

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



MANUAL DE CONTRUCCIÓN DE PUENTES DE CONCRETO

PRESENTADO POR
DENIS ANIBAL AQUINO VASQUEZ
RHINA MARIA HERNANDEZ ALDANA

PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :
Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :
Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :
Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIO :
Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :
Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO CIVIL

Título:

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE PUENTES DE CONCRETO

Presentado por :

DENIS ANIBAL AQUINO VASQUEZ

RHINA MARIA HERNANDEZ ALDANA

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :

ING. M.Sc. ROGELIO ERNESTO GODINEZ GONZALEZ

Docente Director :

ING. HECTOR ALEJANDRO PORTILLO CORTEZ

Docente Director :

ING. ROBERTO OTONIEL BERGANZA ESTRADA

Docente Director :

ING. OSCAR MAURICIO RODRIGUEZ ALVAREZ

San Salvador, septiembre de 2004

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

ING. M.Sc. ROGELIO ERNESTO GODINEZ GONZALEZ

ING. HECTOR ALEJANDRO PORTILLO CORTEZ

ING. ROBERTO OTONIEL BERGANZA ESTRADA

ING. OSCAR MAURICIO RODRIGUEZ ALVAREZ

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestros sinceros agradecimientos a las personas que nos han ayudado en el desarrollo de éste trabajo de graduación al Ing. M.Sc Rogelio Ernesto Godínez González. Un especial agradecimiento a nuestro coordinador y asesor, que nos ha acompañado pacientemente en el desarrollo de este trabajo de graduación, gracias por todo su apoyo.

A nuestros asesores:

Ing. Héctor Alejandro Portillo Cortéz

Ing. Roberto Otoniel Berganza Estrada

Ing. Oscar Mauricio Rodríguez Alvarez

Les agradecemos por todo el tiempo e instrucción brindada en su especialidad, gracias por ayudarnos a terminar con éxito este trabajo de graduación.

Queremos agradecer a personas e instituciones que han aportado datos importantes, conocimientos y experiencia.

- Biblioteca del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC), especialmente al ingeniero Carlos Quintanilla por toda la información brindada.
- Ingeniero Brinder Ignacio Cisneros Menéndez, por su apoyo incondicional y ayuda técnica para dar seguimiento a los procesos constructivos del puente Conchagua y obtención de información particular del proyecto del puente.

- Ingeniero Fernando Escobar por su asesoría y apoyo en el desarrollo de esta investigación.
- Ingeniero Ildelfonso Morales, gracias por sus conocimientos y experiencia brindada en la construcción de puentes de concreto.

DEDICATORIA

Especialmente a:

- Dios nuestro padre celestial.
- Mis padres: mi padre Anselmo Aquino y mi madre Cordelia Vásquez.
- Mis hermanos: William y Yecenia
- Mis amigos: Ing. Fernando Escobar, Luis Chorro, Marvin Cardoza y Rhina Aldana.
- Todas las personas que de una u otra forma han estado conmigo durante la realización de este trabajo de investigación, gracias a todos.

DENIS AQUINO

DEDICATORIA

“Cuando una persona desea algo con todo su corazón, todo el universo se confabula para concedérselo”. Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que forman mi universo y que me ayudaron a terminar con éxito esta meta, especialmente:

- A Dios todopoderoso, aliento de mi vida, por quien puedo alcanzar todo lo que me proponga.
- A toda la familia Aldana, principalmente a Tomás Alberto Aldana. Con mucho cariño para ustedes.
- A mi madre, Rhina Dolores Aldana. Gracias por ser un ejemplo para mí mamá.
- A mis hermanitas, Caty, Laura y Xochitl. Ustedes son la alegría de mi vida.
- A Rafael Eduardo Gutiérrez. Por todo su cariño y apoyo incondicional. Muchas gracias VIDA.
- A mis amigos, Denis Aquino, Mario Díaz, Dinora de Orantes.

RHINA HERNANDEZ

RESUMEN

El manual de construcción de puentes de concreto, orienta metodológicamente, sobre las etapas necesarias para desarrollar la construcción de puentes de uno y dos claros, el uso de los materiales de construcción, por ejemplo, el hierro, concreto reforzado, los prefabricados, concreto presforzado y complementarios, para constituir las diferentes partes de la estructura, el proceso constructivo detallado de cada elemento estructural, los ensayos previos, ensayos de construcción y ensayos finales para garantizar la buena calidad de la obra. Propone una guía de realización para facilitar el planeo, diseño y construcción, tomando como base las normas y reglamentos vigentes que se aplican en el país para garantizar la vida útil o el periodo de diseño previsto para que el puente funcione seguro, en buenas condiciones de serviciabilidad y durabilidad.

En más de 85 años, en El Salvador, los puentes de concreto son los que más se han construido; en la última década ha predominado para pequeñas longitudes la tecnología del concreto reforzado y en puentes de medianas y largas longitudes o complejos, los de concreto presforzado. En el manual se hace la aplicación en un puente típico de dos claros, puente conchagua* al que se le evalúan cada una de las etapas contractivas descritas, llegando a que el uso de tecnologías modernas va en correlación con la buena calidad y la buena obra.

* Construido de enero a abril de 2004, en kilómetro 195 a 195.50, departamento La Unión, monto estimado \$ 300,000.00. M.O.P.

INDICE

INTRODUCCION GENERAL.....	i
CAPITULO I:	
ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA Y TECNICA DE LOS PUENTES DE CONCRETO	1
1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	1
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.4 OBJETIVOS, ALCANCES Y LIMITACIONES.....	7
1.5 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	9
1.6 LOS PUENTES Y LA RED VIAL.....	11
1.7 CLASIFICACION DE LOS PUENTES	12
1.8 TIPOS DE PUENTES Y SU USO	22
1.8.1 PUENTES PRIMITIVOS	22
1.8.2 PUENTES DE MADERA.....	22
1.8.3 PUENTES DE MAMPOSTERIA.....	23
1.8.4 PUENTES METALICOS	25
1.8.5 PUENTES DE CONCRETO REFORZADO	27
1.8.6 PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO	27
1.8.6.1 <i>PUENTE DE LOSA PRESFORZADA.....</i>	<i>28</i>
1.8.6.2 <i>PUENTES DE VIGAS PRESFORZADAS</i>	<i>29</i>
1.8.6.3 <i>PUENTES ATIRANTADOS</i>	<i>30</i>
1.8.6.4 <i>PUENTES DE VIGA CAJON</i>	<i>30</i>
1.8.6.5 <i>PUENTES DE ARCO CONSTRUIDOS SIN ENCOFRADO</i>	<i>31</i>

1.8.8 BOVEDAS	31
1.9 CARACTERIZACION DE LOS PUENTES	32
1.10 PARTES QUE CONSTITUYEN UN PUENTE	34
1.11 CARACTERISTICAS QUE CUMPLEN LOS PUENTES DE CONCRETO ...	35
1.12 NORMAS Y ESPECIFICACIONES DE LA A.S.T.M., A.A.S.T.H.O. Y FP-96 PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES DE CONCRETO	36
1.13 METODOS CONSTRUCTIVOS EN PUENTES DE CONCRETO. CASOS...	37
1.14 PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN PUENTES DE CONCRETO. CASOS	44
1.15 TECNICAS QUE SE USAN EN LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO. CASOS.....	45
1.16 TECNOLOGIA QUE SE APLICA EN LA CONSTRUCCION DE PUENTES	46
1.16.1 PUENTES DE CONCRETO REFORZADO	46
1.16.1.1 MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION	46
1.16.1.2 ELEMENTOS DE SUSTENTACION	47
1.16.1.3 EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.....	47
1.16.1.4 COSTO DE LA TECNOLOGIA UTILIZADA	48
1.16.1.5 CONDICIONES DEL SITIO DE LA OBRA	48
1.16.1.6 OTRAS CONDICIONES CONSTRUCTIVAS	48
1.16.2 PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO	49
1.16.2.1 MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION.....	49
1.16.2.2 ELEMENTOS DE SUSTENTACION	53
EQUIPO HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.....	54
1.16.2.3 COSTO DE LA TECNOLOGIA UTILIZADA.....	54
1.16.2.4. CONDICIONES DEL SITIO DE LA OBRA.....	55

1.16.2.5	<i>OTRAS CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS</i>	55
1.17	COSTOS, PRESUPUESTO Y BENEFICIOS EN LOS PROYECTOS DE PUENTES	56
1.18	CONCLUSIONES	57
CAPITULO II:		
	ESTUDIOS Y REQUISITOS EN PUENTES DE CONCRETO	59
2.1	INTRODUCCION	59
2.2	SISTEMA ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES	60
2.2.1	BASES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS PUENTES.....	60
2.2.1.1	<i>CRITERIOS A SEGUIR EN EL DISEÑO DE PUENTES</i>	61
2.2.2	CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL DISEÑO DE PUENTES	64
2.2.2.1	<i>CARGA MUERTA</i>	65
2.2.2.2	<i>CARGA VIVA O CARGA VIVA MOVIL DE LOS PUENTES</i>	66
2.2.2.3	<i>CARGAS PARA CALZADAS</i>	71
2.2.2.4	<i>CARGAS PARA ACERA</i>	71
2.2.2.5	<i>CARGAS PARA GUARNICIONES</i>	72
2.2.2.6	<i>CARGAS SOBRE PARAPETOS</i>	72
2.2.2.7	<i>CARGAS DE IMPACTO</i>	74
2.2.2.8	<i>FUERZAS LONGITUDINALES</i>	76
2.2.3	PARAMETROS QUE UTILIZA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PUENTES.	76
2.2.3.1	<i>ESPACIAMIENTO ENTRE PILAS, ORIENTACION Y TIPO</i>	76
2.2.3.2	<i>ANCHO DE CALZADAS Y ACERAS</i>	77
2.2.3.3	<i>GALIBOS</i>	77
2.2.3.4	<i>PARAPETOS</i>	78

2.2.3.5	<i>SOBREELEVACION EN PUENTES CURVOS</i>	79
2.3	ESTUDIOS QUE SE REALIZAN EN EL PROYECTO DE PUENTES.....	80
2.3.1	HIDROLOGIA E HIDRAULICA	80
2.3.1.1	<i>INTRODUCCION</i>	80
2.3.1.2	<i>ESTUDIO HIDROLOGICO</i>	80
2.3.1.3	<i>ESTUDIO HIDRAULICO</i>	81
2.3.2	GEOTECNICA Y SUELOS EXISTENTES.....	83
2.3.2.1	<i>INTRODUCCION</i>	83
2.3.2.2	<i>ESTUDIO GEOTECNICO</i>	83
2.3.2.3	<i>ESTUDIO DE SUELOS</i>	84
2.3.3	TOPOGRAFIA Y RELIEVE.....	85
2.3.4	HIDROGRAFIA E HIDROMETRIA	86
2.3.5	PUNTO DE CONTROL	86
2.3.6	ESTUDIOS FINANCIERO-COMERCIALES	86
2.3.7	ESTUDIOS DE RIESGO SISMICO.....	87
2.4	COMPONENTES PRINCIPALES DEL PUENTE DE CONCRETO	87
2.4.1	SUPERFICIE DE DESGASTE O RODAMIENTO	87
2.4.2	LOSA PRINCIPAL.....	88
2.4.3	VIGAS.....	88
2.4.4	DIAFRAGMAS.....	90
2.4.5	JUNTAS	91
2.4.6	ESTRIBOS DE PUENTES	94
2.4.7	PILA DE PUENTES	98
2.4.8	CIMENTACIONES EN PUENTES.....	101

2.4.8.1	INTRODUCCION	101
2.4.8.2	CIMENTACIONES SUPERFICIALES.....	102
2.4.8.3	CIMENTACIONES PROFUNDAS	103
2.4.9	LOSAS DE CIMENTACION.....	105
2.4.10	PROTECCIONES ADYACENTES A LA ESTRUCTURA DE UN PUENTE.....	106
2.4.11.	ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS.....	108
2.4.11.1	BARANDALES.....	108
2.4.11.2	ACERAS	109
2.4.11.3	APARATOS DE APOYO.....	109
2.4.11.4	TOPES ANTISISMICOS	114
2.4.11.5	BARRAS ANTISISMICAS.....	114
2.4.11.6	ILUMINACION EN PUENTES	115
2.4.11.7	PERNOS Y DISPOSITIVOS DE ANCLAJE	116
2.4.11.8	SEÑALIZACION EN PUENTES	116
2.4.11.9	DUCTOS Y DRENAJES.....	117
2.4.13	FUNCIONAMIENTO DE LOS PUENTES DE CONCRETO Y SU USO.....	120
2.4.14	CONCLUSIONES	121
CAPITULO III:		
METODOS Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN PUENTES DE UNO		
Y DOS CLAROS.....122		
3.1	INTRODUCCION.....	122
3.2	PUENTES DE CONCRETO	122
3.2.1	PUENTES DE CONCRETO REFORZADO	122
3.2.1.1	DISEÑO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL	122

3.2.2	MATERIALES PARA LA ELABORACION DEL CONCRETO.....	128
3.2.2.1	AGREGADOS.....	128
3.2.2.2	AGUA.....	130
3.2.2.3	CEMENTO.....	130
3.2.2.4	ADITIVOS.....	131
3.2.3	CONTROL DE AGREGADOS Y CEMENTO.....	134
3.2.4	TECNICAS DE PREPARADO DEL CONCRETO.....	135
3.2.4.1	COLOCACION Y CONSOLIDACION DEL CONCRETO.....	136
3.2.4.2	CURADO DEL CONCRETO.....	139
3.2.4.3	PREPARACION DEL MORTERO.....	141
3.2.4.4	CONTROLES DEL CONCRETO.....	142
3.2.6	MOLDES METALICOS.....	143
3.2.7	REFUERZO ESTRUCTURAL.....	144
3.2.7.1	ALCANCES.....	144
3.2.7.2	RESISTENCIA DEL HIERRO DE REFUERZO.....	145
3.2.7.3	ALMACENAJE Y PROTECCION.....	145
3.2.7.4	DOBLADO DE LAS BARRAS.....	146
3.2.8	VAINAS O DUCTOS.....	147
3.2.9	DISPOSITIVOS PARA SOPORTE.....	148
3.3	PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO.....	150
3.3.1	CONCRETO ESTRUCTURAL.....	150
3.3.1.1	DISEÑO DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA PARA PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO.....	150
3.3.2	MATERIALES PARA LA ELABORACION DEL CONCRETO.....	154

3.3.2.1	AGREGADOS	154
3.3.2.2	CEMENTO	156
3.3.2.3	AGUA.....	157
3.3.2.4	ADITIVOS.....	158
3.3.3	CONTROL DE LOS AGREGADOS Y DEL CONCRETO.....	159
3.3.4	TECNICAS DE PREPARADO DEL CONCRETO	161
3.3.4.1	CARGA, TRANSPORTE Y ENTREGA DEL CONCRETO.....	167
3.3.4.2	ELEMENTOS DE CONCRETO PRECOLADO	168
3.3.4.3	COLOCACION Y CONSOLIDACION DEL CONCRETO FRESCO	172
3.3.4.4	CURADO DEL CONCRETO	174
3.3.4.5	CONTROLES PARA EL CONCRETO.....	175
3.3.5	MOLDEADO	177
3.3.5.1	MOLDES Y FORMALETAS.....	177
3.3.6	REFUERZO ESTRUCTURAL.....	180
3.3.6.1	HIERRO DE ESFUERZO	181
3.3.6.2	HIERRO DE PRESFUERZO.....	181
3.3.6.3	TENDONES DE PREESFUERZO	182
3.3.6.4	TENDONES DE FIBRA DE VIDRIO	184
3.3.7	ANCLAJES	184
3.3.8	DUCTOS.....	187
3.3.9	APOYOS	189
3.3.10	JUNTAS.....	190
3.3.11	EFFECTOS A CONTROLAR EN LA CONSTRUCCION.....	191
3.3.11.1	RELAJACION DE ESFUERZOS.....	191

3.3.11.2	<i>DUCTILIDAD</i>	191
3.3.11.3	<i>CORROSION</i>	191
3.3.11.4	<i>EMBARQUE</i>	192
3.3.11.5	<i>ALMACENAMIENTO</i>	192
3.3.11.6	<i>INSTALACION</i>	193
3.3.11.7	<i>COLADO DE TENDONES PRETENSADOS</i>	193
3.3.11.8	<i>FATIGA</i>	194
3.3.11.9	<i>ADHERENCIA</i>	194
3.3.11.10	<i>TEMPERATURAS MUY BAJAS</i>	195
3.3.11.11	<i>TEMPERATURAS ELEVADAS</i>	195
3.3.11.12	<i>PRECAUCIONES PARA LOS ANCLAJES</i>	195
3.3.11.13	<i>ACCESORIOS AHOGADOS EN EL CONCRETO</i>	196
3.3.11.14	<i>CAMBIOS DE VOLUMEN</i>	196
3.3.11.15	<i>CORROSION</i>	196
3.3.12	<i>ACEPTACION DE LA ESTRUCTURA</i>	197
3.4	CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO CON MOLDES DE MADERA	198
3.5	CONSTRUCCION	199
3.5.1	<i>PLANOS</i>	199
3.5.2	<i>ESPECIFICACIONES PARTICULARES</i>	200
3.5.3	<i>METRADOS</i>	200
3.5.4	<i>REALIZACION DE OBRA</i>	200
3.5.4.1	<i>DOCUMENTOS, REGISTROS, ARCHIVOS O REPORTE</i>	
	<i>UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION</i>	201

3.5.4.2 ESTABLECIMIENTO DE LA COMUNICACION EN LA CONSTRUCCION	
.....	205
3.5.4.3 PLANOS COMO CONSTRUIDO	205
3.5.5 ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION Y ADMINISTRACION DEL	
CONTRATO.....	205
3.5.5.1 CONTENIDO DEL PLAN DE CONTROL DE CALIDAD	207
3.5.5.2 CONTENIDO DEL PLAN DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	
(PHSI).....	209
3.5.6 REQUISITOS DE PERSONAL.....	213
3.5.6.1 GERENTE DE CONTROL DE CALIDAD.....	214
3.5.7 SUPERVISION.....	214
3.5.8 PROGRAMACION	218
3.5.9 COSTOS Y PRESUPUESTOS.....	218
3.5.10 CONTROL DE COSTOS Y PRESUPUESTOS.....	219
3.5.11 CONTROL DE CALIDAD.....	219
3.5.11.1 ENSAYOS PREVIOS (EP)	221
3.5.11.2 ENSAYOS DE CONSTRUCCION (EC)	221
3.5.11.3 ENSAYOS FINALES.....	222
3.5.11.4 ENSAYOS ESPECIALES (EE)	223
3.5.11.5 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.....	228
3.6 CONCLUSIONES	230
CAPITULO IV:	
REALIZACION DE LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE UNO Y DOS	
CLAROS.....	231

4.1 DISEÑO Y PLANOS CONSTRUCTIVOS	122
4.2 DISEÑO CONCEPTUAL.....	231
4.1.2 PLANOS DE TRABAJO.....	232
4.2 LUGAR DE COLOCACION	232
4.2.1 INSPECCION DEL SITIO	233
4.3 PREPARATIVOS DEL SITIO.....	233
4.4 TOPOGRAFIA Y TERRACERIA	236
4.4.1 ALCANCES.....	236
4.4.2 EXCAVACIONES	238
4.4.3 RELLENOS.....	238
4.4.4 ELIMINACION DEL MATERIAL EXCEDENTE.....	239
4.5 ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOLOGIA DEL LUGAR	239
4.6 HIDROLOGIA Y CAUCE DEL PASO, PUNTO DE CONTROL	240
4.6.1 MEMORIA HIDROLOGICA PARA EL DISEÑO.....	240
4.7 CONSTRUCCION	241
4.7.1 INSTALACIONES PROVISIONALES	241
4.7.1.1 <i>PLANTEL DE CONSTRUCCION DEL CONTRATISTA</i>	<i>242</i>
4.7.1.2 <i>FACILIDADES MEDICAS Y SANITARIAS.....</i>	<i>242</i>
4.7.1.3 <i>OFICINA DE CONSTRUCCION</i>	<i>242</i>
4.7.1.4 <i>FACILIDADES PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO.....</i>	<i>243</i>
4.7.2 TRASLADO Y ACOPIO DE MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	243
4.7.2.1 <i>EQUIPO Y HERRAMIENTAS DEL CONTRATISTA.....</i>	<i>243</i>
4.1.1.2 <i>ACOPIO DE MATERIALES</i>	<i>243</i>
4.7.3 OBTENCION DE MANO DE OBRA Y MATERIALES	244

4.7.3.1	<i>PERSONAL DE DIRECCION</i>	244
4.7.3.2	<i>EXPERIENCIA Y CONDUCTA DE LOS TRABAJADORES</i>	244
4.7.3.3	<i>OBTENCION DE MATERIALES</i>	245
4.7.4	CRITERIOS Y LINEAMIENTOS CONSTRUCTIVOS DEL PUENTE	246
4.7.5	NORMAS Y ESPECIFICACIONES DEL PUENTE	247
4.8	CONSTRUCCION DEL PUENTE	248
4.8.1	TRAZO Y NIVELACION.....	248
4.8.2	EXCAVACIONES	250
4.8.2.1	<i>DESCRIPCION Y REALIZACION</i>	250
4.8.2.2	<i>SOBREEXCAVACIONES</i>	251
4.8.2.3	<i>EXCAVACIONES EN ROCA</i>	251
4.8.2.4	<i>ACABADOS</i>	252
4.8.2.5	<i>CONTROLES</i>	252
4.8.2.6	<i>RELLENO Y TERRAPLENES PARA LAS CONSTRUCCIONES</i>	255
4.8.3	COLOCACION DE LA CIMENTACION	257
4.8.3.1	<i>CIMENTACIONES SUPERFICIALES</i>	257
	<i>C. COLADO DEL CONCRETO</i>	262
4.8.3.2	<i>CIMENTACIONES PROFUNDAS</i>	264
4.8.4	COLOCACION DE BASES PARA ESTRIBOS Y PILAS.....	275
4.8.4.1	<i>PREPARADO</i>	275
4.8.4.2	<i>COLADO</i>	275
4.8.5	CONSTRUCCION DEL TABLERO	277
4.8.5.1	<i>PREPARADO</i>	277
4.8.5.2	<i>REFUERZOS</i>	277

4.8.5.3	COLOCACION Y COLADO DE LA LOSA	278
4.8.5.4	VIGAS DE CONCRETO.....	279
4.8.5.5	VIGAS ACARTELADAS	280
4.8.5.6	VIGAS "T".....	280
4.8.5.7	VIGAS CAJON	281
4.8.5.8	ACABADOS DE LA LOSA.....	281
4.8.5.6	CONTROLES	286
4.8.6	CONSTRUCCION DE SUPERFICIE	287
4.8.6.1	EXTENDIDO DE LA CAPA DE RODADURA	287
4.8.7	CONSTRUCCION DE BARANDALES.....	288
4.8.8	CONSTRUCCION DE DRENAJES	289
4.8.8.1	ALCANCES.....	289
4.8.8.2	RECOGIDA Y EVACUACION	289
4.8.8.3	CONTROLES Y MANTENIMIENTO.....	301
4.9.8	CONSTRUCCION DE CUNETAS Y ACERAS.....	302
4.8.9.1	CUNETAS.....	302
4.8.9.2	ACERAS.....	303
4.8.10	CONSTRUCCION DE LOSAS DE APROXIMACION.....	304
4.8.10.1	PREPARACION	304
4.8.11	CONSTRUCCION DE JUNTAS	305
4.8.12	PERNOS Y DISPOSITIVOS DE ANCLAJE.....	308
4.8.13	AGUJEROS DE DRENAJE Y ALIVIADORES	310
4.9	CONCLUSIONES	310

CAPITULO V:**RESULTADOS, ANALISIS E INTERPRETACION DE**

RESULTADOS.....	313
5.1 INTRODUCCION	313
5.2 RESUMEN TABULAR DESCRIPTIVO DE LA TIPOLOGIA DE PUENTES	314
5.3 TABLAS DESCRIPTIVAS DE LOS ELEMENTOS DEL PUENTE	322
5.4 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCIO DE PUENTES DE CONCRETO	330
5.5 EVALUACION TECNICA DE LOS PUENTES DE CONCRETO	354
5.5.1 CRITERIOS RESPECTO A PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....	354
5.6 RESUMEN DE METODOS, TECNICAS Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN PUENTES DE CONCRETO.....	356
5.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN PUENTES DE CONCRETO.....	359
5.8 CONCLUSIONES	362
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	363
6.1 CONSIDERACIONES	363
6.2 CONCLUSIONES	367
6.3 RECOMENDACIONES.....	369
BIBLIOGRAFIA.....	359
ANEXO 1. ACCIONES A CONSIDERAR EN EL PROYECTO DE PUENTES DE CARRETERA.....	359
ANEXO 2. JUNTAS DE EXPANSION	391
ANEXO 3 GLOSARIO	413

ANEXO 4. PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO....	432
ANEXO 5. CRITERIOS DE ACEPTACION DEL AGUA	441
ANEXO 6. ADITIVOS PARA MEZCLAS DE CONCRETO.....	442
ANEXO 7. MEMORIA DE DISEÑO DE PUENTE CONCHAGUA.....	450
APENDICE 1	359

INDICE DE TABLAS

No	Contenido	Pág.
1.1	Tipos de alambre, resistencia y porcentaje de elongación.....	51
1.2	Propiedades elementales que cumplen los alambres sin revestimiento.....	52
1.3	Resistencia y carga mínima para diversos diámetros de varilla de acero.....	53
1.4	Presupuesto del puente sobre el río Julupe.....	56
2.1	Pesos volumétricos para calcular la carga muerta.....	66
2.2	Tipos de pila según tipo de tablero.....	100
2.3	Diámetro de las barras antisísmicas.....	115
3.1	Clases de concreto.....	123
3.2	Proporcionamiento de concreto con base en la relación a/c máxima.....	124
3.3	Relación agua/materiales cementantes, máxima y resistencia a compresión mínima permitida para concretos.....	126

3.4	Tipos de cementos y relación agua/materiales cementantes máxima permitida para concretos expuestos a sulfatos.....	126
3.5	Contenido máximo de cloruro para la protección del refuerzo.....	127
3.6	Recubrimientos mínimos de concreto.....	127
3.7	Graduación de los agregados.....	129
3.8	Normas que regulan el uso de los aditivos utilizados en la construcción.....	133
3.9	Requisitos de los vibradores de inmersión.....	138
3.10	Radio de dobléz según diámetro de la barra.....	147
3.11	Días de ruptura de cilindros.....	176
5.2.1	Resumen de tipos de puentes.....	314
5.2.2	Resumen de tipos de puentes.....	315
5.2.3	Resumen de tipos de puentes.....	317
5.2.4	Resumen de tipos de puentes.....	318
5.2.5	Resumen de tipos de puentes.....	319

5.2.6	Resumen de tipos de puentes.....	321
5.3.1	Partes generales de un puente.....	322
5.3.2	Partes generales de un puente.....	323
5.3.3	Partes generales de un puente.....	324
5.3.4	Partes generales de un puente.....	325
5.3.5	Partes generales de un puente.....	326
5.3.6	Partes generales de un puente.....	327
5.3.7	Partes generales de un puente.....	328
5.3.8	Partes generales de un puente.....	329
5.4.1	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	330
5.4.2	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	332
5.4.3	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	333
5.4.4	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	334

5.4.5	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	335
5.4.6	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	336
5.4.7	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	337
5.4.8	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	338
5.4.9	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	339
5.4.10	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	340
5.4.11	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	341
5.4.12	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	342
5.4.13	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	343
5.4.14	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	344
5.4.15	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	

		345
5.4.16	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	346
5.4.17	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	347
5.4.18	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	348
5.4.19	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	349
5.4.20	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	350
5.4.21	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	351
5.4.22	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	352
5.4.23	Guía de apoyo del manual para la construcción de puentes de concreto.....	353
5.5.1	Criterios respecto a procesos constructivos.....	354
5.6.1	Puentes de concreto.....	356
5.6.2	Puentes de concreto.....	357

5.6.3	Puentes de concreto.....	358
A1	Pesos específicos relativos al agua.....	379
V-8	Agua de mezclado aproximadamente para diferentes revenimientos.....	435
V-9	Relación aproximada entre la relación agua-cemento.....	437
V-10	Agregado grueso apisonado en seco.....	439
5.1	Criterio de aceptación para suministro de agua de calidad dudosa.....	441
5.2	Requisitos químicos del agua de mezclado.....	441

INDICE DE FIGURAS

Fig. No	Contenido	Pág.
1.1	Puente de viga simplemente apoyadas (isostático) un tramo.....	18
1.2	Puente de viga simplemente apoyadas (isostático) varios tramos.....	18
1.3	Puente de losa maciza de concreto reforzado.....	19
1.4	Puente de arco en mampostería.....	19
1.5	Puente de arco de madera.....	19
1.6	Puente atirantado.....	19
1.7	Puente de armadura en cantiliver.....	19
1.8	Puente con armadura metálica y arriostramiento superior.....	20
1.9	Puente con armadura metálica superior tipo bailey.....	20
1.10	Estribo y muro de mampostería.....	32
1.11	Estribo y muro de concreto.....	32
1.12	Estribo de concreto y muro de mampostería.....	32

1.13	Bóveda metálica.....	32
2.1	Camión tipo H15-44 y H20-44.....	69
2.2	Camión tipo HS15-44 y HS20-44.....	70
2.3	Camión tipo HL93.....	71
2.4	Baranda vehicular.....	73
2.5	Combinación de baranda vehicular y peatonal.....	73
2.6	Tipos de barandas peatonales.....	74
2.7	Diagrama de gálibos para puente.....	78
2.8	Vista longitudinal de vigas.....	88
2.9	Secciones tipo, viga “T” y doble “T”	90
2.10	Sección tipo cajón.....	90
2.11	Detalle de diafragma.....	91
2.12	Junta longitudinal de construcción.....	92
2.13	Junta transversal de construcción.....	92

2.14	Detalle de junta transversal en pavimento hidráulico.....	93
2.15	Detalle de junta transversal de expansión.....	93
2.16	Tipos de estribos de concreto con contrafuertes.....	96
2.17	Estribos de mampostería de piedra.....	96
2.18	Estribo de mampostería reforzada.....	96
2.19	Pila columna múltiple construida sobre tierra.....	101
2.20	Pila tipo pared construida en zona marítima.....	101
2.21	Puente Yotaiquim.....	103
2.22	Puente Caramicuas.....	103
2.23	Cimentación superficial en terreno duro.....	103
2.24	Detalle de cajón neumático.....	105
2.25	Muros gaviones en puente “El garrobo”	107
2.26	Muros gaviones en puente “El garrobo”	107
2.27	Barandal metálico, vista transversal.....	108

2.28	Barandal metálico, vista de perfil.....	108
2.29	Barandal de concreto presforzado.....	109
2.30	Acera de concreto, puente “El garrobo”.....	109
2.31	Placa de neopreno.....	112
2.32	Detalle de apoyo y barra antisísmica.....	115
4.1	Equipo topográfico.....	249
4.2.a	Excavación de pila central, puente conchagua.....	258
4.2.b	Cimentación de pila, puente amapalita.....	259
4.2.c	Losa de cimentación, puente amapalita.....	259
4.3	Puente Ixtapa, México.....	265
4.4	Puente Ixtapa, México.....	265
4.5	Puente espuelas I.....	266
4.6	Colado de losa y aceras, puente conchagua.....	278
4.a	Ejemplo de sistema de desagüe en el final del puente.....	290

4.b	Desagüe transversal.....	293
4.c	Terminación en bisel del caz.....	293
4.d	Problemas con tubos de desagües cortos.....	296
4.e	Componentes básicos del drenaje.....	297
4.f	Ejemplo de drenaje normal del tradós de estribo.....	298
4.g	Detalle de perfil drenante.....	299
4.h	Método de recogida de agua bajo la junta.....	300
4.i	Método de recogida de aguas bajo las juntas.....	300
4.j	Método de recogida de agua bajo las juntas.....	301
1	Ancho de apoyo (seating).....	391
2	Rotación por esviaje.....	392
3	Puente Nishinomiya-ko.....	392
4	Fallas.....	393
6	Junta abierta.....	394

7	Junta rellena con sello plástico.....	395
8	Junta de mortero epóxico.....	395
9	Junta de grout expansivo.....	396
10	Junta de grout expansivo.....	397
11	Junta de polímero asfáltico.....	398
12	Junta rellena de silicone.....	399
13	Junta rellena armada con topo de acero y sello elastomérico.....	400
14	Junta rellena armada con cubrejunta y sello elastomérico.....	400
15	Junta rellena con sello en “V”.....	401
16	Junta de sello de neopreno.....	402
17	Gráfico para seleccionar junta de neopreno.....	402
18	Junta de sello de compresión.....	403
19	Junta de placa dentada.....	404
20	Junta de placa de diente de sierra.....	404

21	Juntas modulares.....	405
22	Sistema de fijación comprimible.....	406
23	Junta con placa deslizante.....	406
24	Juntas con sello de expansión.....	407
25	Juntas con sello en franja.....	408
26	Angulares para el sello de franja.....	409
27	Junta de sello de lámina.....	409
28	Junta mixta tipo acerotón.....	410
29	Junta mixta-evalinca01.....	411
30	Junta mixta-evalinca02.....	411
31	Junta mixta-evalinca03.....	412
No.1	Esquema de ubicación del puente conchagua.....	508
A.1	Plantel de construcción.....	508
A.2.1	Proceso de excavación.....	510

A.2.2	Proceso de excavación.....	510
A.3	Armado de zapata de estribo.....	511
A.4	Armado de pilas.....	511
A.5	Moldeado de pilas.....	511
A.6	Moldeado de pilas.....	511
A.7	Moldeado de estribos.....	512
A.8	Montaje de vigas prefabricadas.....	512
A.9	Montaje de vigas prefabricadas.....	512
A.10	Montaje de vigas prefabricadas.....	513
A.11	Vista de colocación final de vigas prefabricadas.....	513
A.12	Colado de diafragmas.....	514
A.13	Armado de losa principal.....	515
A.14	Armado de losa principal.....	515
A.15	Detalle de bomba.....	515

A.16	Proceso de colado de losa.....	515
A.17	Acabado final de superficie de rodadura.....	516
A.18	Colocación de barandales.....	517
A.19	Obras de protección.....	518
A.20	Obras de protección.....	518
A.21	Condiciones finales del proyecto.....	519
A.22	Condiciones finales del proyecto.....	519

ABREVIATURAS

- A.A.S.H.T.O** : “American Association of State Highway and Transportation Officials”, o sea Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes.
- A.C.I.** : “American Concrete Institute” (Instituto Americano del Concreto)
- A.S.T.M.** : “American Society for Testing and Materials” (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
- CaCL₂** : Cloruro de calcio
- CPM** : Critical Path Method, Metodo de la Ruta Critica
- COPRESA** : Concretos Prefabricados S.A.
- D.G.C.** : Dirección General de Caminos
- DIN** : Normas Alemanas
- EP** : Ensayos previos
- EC** : Ensayos de construcción
- EF** : Ensayos finales
- EE** : Ensayos especiales
- RP** : Recomendaciones prácticas
- FISDL** : Fondo de Inversión Social y Desarrollo Local
- F.P-96** : Standard Specifications o sea Especificaciones de Estandar
- H₂S** : Acido sulfúrico

M.O.P	: Ministerio de Obras Públicas
NLT o NE	: Normas Europeas. Es una especificación técnica de aplicación repetitiva o continuada cuya observancia no es obligatoria.
NE	: Normas Europeas.
NAME	: Niveles de aguas máximas extraordinarias
PCC	: Plan de control de calidad
PHSI	: Plan de higiene y seguridad industrial
PTFE	: Polytetrafluoroethylene
SNET	: Servicio Nacional de Estudios Territoriales
TFE	: Tetrafluoroetileno
V.P.I	: Producción de vapor

INTRODUCCION GENERAL

El trabajo de graduación, manual de construcción de puentes de concreto, se refiere al uso y descripción de técnicas, procesos y métodos constructivos, de los elementos constitutivos de un puente, basados en la experiencia, normas internacionales y nacionales vigentes, las de la A.S.T.M., A.A.S.H.T.O. Y FP-96. Expone en una guía resumida, las principales etapas en el proyecto, ilustrado con un caso de aplicación, la construcción del puente conchagua*. Establece cómo la tecnología, el diseño, los materiales de construcción y las técnicas modernas de aplicación, han logrado que se puedan construir puentes con características especiales tales como los puentes presforzados ahorrando tiempo de realización y montos de inversión. Llegando a que los puentes son de gran importancia para el desarrollo económico y social del país, y el concreto es el material de construcción que posibilita su construcción con larga vida útil, los prefabricados también simplifican los procesos y tiempos de realización en puentes de medianos y largos claros; pero la tecnología de construcción posibilita de la mejor manera la consecución del proyecto.

* Construido en período de enero a abril de 2004 y ubicado entre el kilómetro 195 a 195.50, departamento de La Unión con un monto estimado de \$300,000.00

CAPITULO I

ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA Y TECNICA DE LOS PUENTES DE CONCRETO

CAPITULO I

ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA Y TECNICA DE LOS PUENTES DE CONCRETO

1.1 INTRODUCCION

Los puentes son puntos de unión y paso que están íntimamente relacionados con la red vial del país; son estructuras hechas de madera, piedra, concreto reforzado o hierro estructural utilizados para que una vía de comunicación pueda salvar un río, una depresión de terreno u otra vía de comunicación. En El Salvador los puentes de concreto son los que más se han construido en los últimos años. Existen diferentes tipos de puentes construidos, dependiendo de las necesidades de los usuarios. La tecnología ha logrado que se puedan construir puentes con características especiales tales como los puentes presforzados, utilizando normas y técnicas de calidad, internacional para garantizar la estabilidad y seguridad de las obras construidas, donde se hace uso de métodos, procesos y técnicas de construcción muy modernas.

1.2 ANTECEDENTES

Los puentes son una parte importante del patrimonio e infraestructura del país, ya que son puntos de unión y paso en la red vial para la transportación en general y en consecuencia para el desarrollo de los poblados del país. El concreto, es el material de construcción que posibilita la construcción de puentes, localmente; la

mayor parte se hacen de concreto reforzado por su larga vida útil lo cual sólo es posible con el adecuado diseño, construcción y mantenimiento.

El uso del concreto y concreto reforzado, en la construcción de puentes, siguieron al uso del acero 50 años más tarde; hacia fines del siglo XIX la estructura de estos se concebía a imitación de los puentes de piedra. Se conoce que desde la antigüedad ya existían esfuerzos orientados a que estas estructuras fuesen más resistentes ante fenómenos naturales tales como sismos e inundaciones. Los procesos constructivos y materiales fueron evolucionando hasta obtener estructuras más resistentes y duraderas.

Modernamente, desde la década de los años 1950's se han realizado estudios y proyectos¹ en puentes de concreto reforzado, presforzados y postensados, utilizando técnicas constructivas tradicionales, similarmente, en el diseño de puentes de uno o dos claros, sin que sea muy común el de tres claros tanto en el área urbana y rural. También, en la década de los años de 1960's se diseñó un tipo de puente reforzado tal como el paso a dos niveles del Arenal de Candelaria en San Salvador. En la década de los años 1970's se hizo un gran impulso al desarrollo de puentes en las carreteras CA-1 y CA-2, similar a como se había hecho en los años de 1930's cuando se comenzaron a construir carreteras principales con puentes angostos y de un solo claro, de concreto reforzado, para

¹ El desarrollo formal de la red vial del país, al final de la década de los años 1920, incluyó innumerables puentes sencillos de un solo claro para facilitar el tráfico vehicular y el traslado de la población, lo cual significaba desarrollo de país. Estos puentes son de concreto reforzado, de un solo tablero y bóveda, angostos de unos 5 m a 6 m de ancho.

vehículo liviano y pesado. Otros eran de acero estructural, para el paso de la vía férrea.

Los materiales de construcción más importantes para construir puentes son, madera, ladrillo, piedra, concreto reforzado, hierro colado, hierro forjado, hierro dulce, hierro de alta resistencia. La construcción de puentes, pequeños y medianos, de concreto reforzado, tienen la ventaja, que pueden ser elaborados con productos locales fácilmente accesibles y económicos, arena, grava, piedra, agua, cemento, logrando alta resistencia a la compresión.

Según su función, los puentes pueden clasificarse en: puentes de carretera, puentes de ferrocarril, pasarelas y puente canal. Por el tipo y forma de construcción, hay puentes de vigas, armadura, arcos y colgantes.

Por la disposición de los tramos: simples, voladizos o cantiliver y continuos. Según el método utilizado para unir las piezas o secciones, se dividen en: remachados, soldados y empalmados. No obstante, todos los puentes pueden enmarcarse en dos grandes categorías: puentes fijos y puentes móviles.

Entre los puentes fijos se tienen los siguientes:

Puentes de tramo simple. Llamados también independientes. Es el que se extiende de un estribo al otro sin tener otro punto de apoyo, es decir, que tiene sólo un claro. Consiste en vigas sobre las cuales descansa el tablero que sirve de piso.

Puentes de tramo continuo. Son los que descansan sobre tres estribos, por lo menos; es decir, tienen más de un claro.

Puentes de arco. Probablemente sean los más vistosos y pueden construirse con diversos materiales. Los arcos pueden ser de tablero superior, de tablero inferior y de tablero intermedio.

Puentes tipo voladizo o de cantiliver. Se usan a menudo cuando se trata de grandes claros hasta 900m.

Puente colgante o suspendido. Es el más indicado para grandes espacios, se considera que en este tipo de puente, el claro máximo a salvar es de 2100m.

Los puentes móviles se subdividen en: giratorios, levadizos, rodantes, de ascensión vertical y transportadores.

Los puentes con estribos de piedra, además de ser fuertes, resisten los efectos destructivos del calor, la lluvia y la vibración. No sólo se consiguen resultados estéticos, sino que un puente de esta clase, provistos de buena cimentación, dura varios siglos y no demanda gastos de conservación.

Según el inventario de puentes, bóvedas y obras de drenaje mayor de la dirección general de caminos (DGC), las obras de paso que más se realizan en el país son: puentes de concreto reforzado con estribos y aletones de mampostería de piedra, la bóveda de mampostería de piedra, las cajas de mampostería y concreto.

Los puentes de concreto reforzado han sido los más comunes que se han realizado en la industria de la construcción de puentes y según los elementos de soporte que dispone se clasifican en los siguientes tipos:

Puentes de losa. Son de espesor constante, resultan económicos cuando los claros son pequeños del orden de 3m a 8m; pueden estar apoyados sobre pilares o estribos.

Puentes de vigas T. Para claros entre 8m a 35m resulta muy aceptable su uso. Están constituidos por una losa de concreto, soportada por vigas principales paralelas al tránsito.

Puentes de vigas de caja. Resultan convenientes para claros mayores que 30m.

Los grandes proyectos como los puentes postensados, en Colima, Chalatenango, en la década de los años de 1980, sustituyeron al clásico puente de cables colgantes, instalado en la década de los años de 1950. Otros con tecnología de postensión han sido instalados utilizando herramientas más sofisticadas como gato hidráulico para el estirado del refuerzo. Así mismo, el puente pretensado es una tecnología que se aplica actualmente en la construcción de puentes.

Los puentes de uno, dos y tres claros son los que han permitido que la red vial del país cumpla su función y genere la expectativa de desarrollo. Esto, con la mayor cantidad de puentes existente de concreto, debido a la alta funcionalidad, economía y bajo costo de mantenimiento que requieren. No obstante, el aprovechamiento de tecnología y recurso humano especializado para la construcción de estos tipos de puentes, se requieren medios ágiles que faciliten su construcción sin encarecer los proyectos.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para cualquier país, la infraestructura vial y su desarrollo constituyen una plataforma importante para el crecimiento, económico y social. En este contexto, la infraestructura que permite la comunicación por vía terrestre, facilita la integración nacional, al permitir el desplazamiento de su población a lo largo del territorio y al poner en contacto a productores, distribuidores y consumidores para hacer realidad la actividad económica.

En los últimos años, la necesidad de construir obras de paso (puentes y bóvedas), se incrementó no sólo por la sobrepoblación, sino también debido a los desastres naturales que dañan y destruyen gran cantidad de vías y puentes en el país. Las exigencias actuales señalan la necesidad de construir estructuras más resistentes, funcionales y con mayor durabilidad.

Entre los factores que limitan el desarrollo de proyectos en puentes está, el costo elevado, que se requiere invertir para construir obras de este tipo, las circunstancias actuales no permiten la realización de inversiones ilimitadas con un solo punto de vista, necesitando evaluar varias alternativas de la manera más eficaz posible. En este sentido, en el proyecto de un puente, es fundamental resolver cómo va a ser el puente, qué tipo de infraestructura va a tener, qué materiales se van a utilizar, el vano a vencer, el procedimiento a seguir para llevar a buen fin su construcción procurando que la estructura requiera los menores costos de materiales y construcción y la mayor durabilidad y seguridad posible. En la actualidad, los problemas provenientes de los trabajos relacionados con

estructuras complejas, como los puentes, se logran resolver confiando en la experiencia de los profesionales sin que esta esté sistematizada para continuar aplicándola mejoradamente, en concordancia con reglamentos vigentes en el país. Sistematizando los criterios y lineamientos esenciales para construir puentes se revisarán los procesos de construcción, los materiales y su mejor aplicación, y los problemas provenientes de las construcciones pasadas. Para que la tarea de construcción se haga menos compleja y más factible.

El uso generalizado del concreto en la construcción de puentes se debe al buen resultado en el funcionamiento y a su estética; es un material cuyo costo es menor en comparación con otros materiales, localmente, de aquí la necesidad de disponer de un Manual de Construcción de Puentes de Concreto que exponga en forma metodológica las técnicas de construcción, más comunes, en El Salvador; no sólo para los constructores que deben resolver todos los problemas que genera la construcción de un puente, sino también para los que controlan que los proyectos se desarrollen adecuadamente, facilitando la labor de ejecución y supervisión de estos proyectos y a su vez, evaluar nuevas alternativas basadas en la experiencia y el conocimiento de los procesos, materiales y recursos disponibles que consideren proyectos más durables, estéticos, económicos y en concordancia con el medio y el ambiente.

1.4 OBJETIVOS, ALCANCES Y LIMITACIONES

OBJETIVOS GENERALES:

Elaborar un manual práctico para construcción de puentes de concreto en El Salvador, que sirva de guía y apoyo a instituciones del estado, municipales y empresas privadas que se dedican a la construcción de puentes de concreto.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Conocer los diferentes parámetros, características y normas que rigen la construcción de puentes de concreto en el país.
- Estudiar los métodos y técnicas utilizadas en la construcción de puentes de concreto reforzado, en El Salvador.
- Aplicar métodos y técnicas de construcción referidas a un puente característico del país.
- Establecer ventajas y desventajas constructivas en el proyecto de puentes de concreto reforzado de uno y dos claros.

ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES:

Elaborar un manual de construcción de puentes de concreto reforzado con énfasis en uno y dos claros, por ser estos los más demandados en la industria de la construcción. El cual estará dirigido a constructores y técnicos especializados, en apoyo para la construcción de puentes.

LIMITACIONES:

Los estudios hidrológico e hidráulico de la cuenca y el estudio de suelos donde se localice el puente para la aplicación práctica, no se harán, por estar fuera de

alcance de estudio; sin embargo, se tomarán en cuenta para fines constructivos, su revisión.

1.5 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

Los puentes constituyen alrededor del 30% de las inversiones globales camineras, en tanto que son elementos esenciales para el tráfico viario seguro, y tienen gran influencia en la conservación del medio y el ambiente.

Actualmente la industria de la construcción de puentes utiliza tecnología, métodos, materiales, personal, maquinaria y equipo más sofisticados, debido a que hay que resolver las necesidades de tráfico vehicular al mismo nivel que lo hace la modernización; esto, ha venido a cambiar no sólo las técnicas conceptuales aplicables tradicionalmente, sino también los métodos y medios para poder agilizar y poner en funcionamiento las estructuras planeadas, puentes. Por ejemplo, la técnica de la cimbra deslizante apareció en la década de los años 1970's, la cual fue una revolución tecnológica que dió solución a la construcción de puentes de concreto reforzado, presforzado y postensado de gran magnitud; este tipo de adelanto se tiene en la actualidad, pero principalmente con equipo de gran escala, automatizado, muy moderno y digitalizado, donde la moda es llegar a robotizar en los métodos constructivos; sin embargo, esto genera dificultades en la aplicación cuando no se tiene el suficiente conocimiento y experiencia.

En El Salvador, la falta de vías y puentes se ha convertido en una necesidad que va en aumento, no sólo por el incremento de población y el déficit en la cantidad de puentes existentes, hasta la fecha, sino por la destrucción y daños que produjeron

los recientes fenómenos² naturales, sismos y huracanes. Dadas las condiciones económicas y ambientales, las nuevas construcciones requieren mayor durabilidad, seguridad y bajo costo aprovechando al máximo los recursos con los que se dispone. Para satisfacer estos requerimientos, se evalúan varias alternativas basándose en criterios establecidos y aquellos que provengan de la propia experiencia. Para esto, es necesario comprender con precisión el estado actual y futuro de los puentes, considerando su construcción no sólo para satisfacer las necesidades actuales, sino las futuras, así como apropiada inversión. En este proceso, es importante considerar el tipo de estructura basados en condicionamientos físicos, la geometría, el trazado de las carreteras, la naturaleza del suelo, etc., como también lo relativo a las exigencias de los usuarios y población en general y los que se derivan del proyecto y su construcción. Y a partir de estos parámetros, seleccionar el tipo de procedimiento a seguir en la construcción y el tipo de materiales a utilizar para satisfacer las necesidades de los usuarios. Uno de los materiales que ha favorecido la construcción de puentes es el concreto, debido a su economía, para claros cortos y medianos, durabilidad, bajo costo de mantenimiento, fácil adquisición de materiales y acabados arquitectónicos agradables que presenta; por lo cual, es el material más utilizado en la industria de la construcción en el país. Ha sido práctica, que todos los problemas provenientes de la construcción de puentes se resuelvan a partir de la experiencia no sistematizada establecida en reglamentos que fijen normas,

² Entre los fenómenos naturales que durante los últimos años han afectado los puentes en El Salvador podemos mencionar el huracán mitch en 1998 y los terremotos de enero y febrero en el año 2001.

lineamientos y/o criterios propios, adecuados a las condiciones particulares del país que faciliten la labor de diseño, construcción y supervisión de estas estructuras y que generen nuevos planteamientos en cuanto a procesos de construcción adecuados con mínimos materiales adicionales o mínimos medios de fabricación y montaje, así como buena calidad de materiales y su durabilidad. De ahí, la necesidad de disponer de un Manual de Construcción de Puentes de Concreto que facilite la labor de planeo y construcción de estas estructuras de comunicación vial y a la vez, sirva de apoyo y consulta a instituciones estatales que no cuentan con fondos necesarios para obtener ayuda técnica para desarrollar proyectos en puentes de concreto; los cuales pueden llevarse a cabo en vías rurales y carreteras modernas destinadas al movimiento de tráfico vehicular intenso donde se pueden aplicar adecuadamente, y de acuerdo con las condiciones del lugar, estos criterios y parámetros técnicos descritos en el manual de construcción.

1.6 LOS PUENTES Y LA RED VIAL

El desarrollo del país, hace necesaria la realización de obras de ingeniería civil, que requieren esfuerzos técnicos, económicos y sociales que puedan aprovecharse al máximo. La construcción de puentes coadyuva en el desarrollo integral de la población, ya que la construcción de estas obras permite ampliar la red vial del país, logrando que más comunidades puedan acceder a mejores mercados para ampliar sus negocios, ahorrar tiempo y dinero, hasta salvar vidas. Los puentes

son puntos de unión y paso, esenciales en el desarrollo y funcionamiento de la red vial del país.

1.7 CLASIFICACION DE LOS PUENTES

Los Puentes, de acuerdo con sus características constructivas o categoría, por la función que desempeñan, se pueden clasificar por lo siguiente: 1. tipo de material utilizado en su construcción, 2. distancia que salva, 3. sistema estructural predominante, 4. usos que tendrá el puente, 5. sistema constructivo que emplea, 6. la calzada del tablero 7. ubicación de la calzada en la estructura del puente 9. arquitectura más apropiada en el sistema estructural, 10. por la forma directamente relacionada con los esfuerzos que soportan sus elementos constructivos, 11. por otras particularidades propias de los sistemas estructurales y sistemas constructivos que sean más de acuerdo con el avance de la tecnología. Así, la descripción de ellos es la siguiente:

1. Por el tipo de material utilizado en su construcción. Mampostería (ladrillo), madera, concreto reforzado, concreto precomprimido, acero, hierro forjado, compuestos. La estructura de un puente no está constituida por un solo tipo de material. Por ejemplo, los puentes arcos hechos con mampostería de ladrillo, preferiblemente tendrán las bases construidas con mampostería de piedra, con el objeto de darles mayor consistencia y hacerlas más duraderas a la exposición y acción de las aguas de un río. Asimismo, un puente cuyo tablero sea de madera podría tener las fundaciones de mampostería de piedra o de concreto. En los puentes con tableros metálicos, cuando son de alto desempeño (referido al tráfico

intenso con vehículos y peatones) o cuando el suelo es químicamente agresivo al metal, tendrán sus bases construidas con otro material como el concreto. Si las vigas portantes de los tableros son de acero, estos serán de concreto reforzado, aún cuando hallan muchas calzadas constituidas con láminas de acero, recubiertas o no con concreto asfáltico o con compuestos de arena y epóxicos, por ejemplo puentes elevados; en este caso, el recubrimiento serviría para proveer a la calzada un coeficiente de fricción adecuado o para hacerla menos ruidosa al paso de los vehículos. En puentes cuyo tablero sea de concreto precomprimido, las columnas de las pilas y sus fundaciones, así como los estribos y muros, serán de concreto reforzado.

2. Según la distancia que salva. Por ejemplo, acueductos, soportan un canal o conductos de agua; viaductos, son puentes construidos sobre terreno seco o en un valle formados por un conjunto de tramos cortos; pasos elevados, puentes que cruzan las autopistas y las vías de tren; carretera elevada, un puente bajo, pavimentado, sobre aguas pantanosas o en una bahía y formado por muchos tramos cortos; alcantarillas, por debajo del cual transitan las aguas de un río o quebrada.

3. Por el sistema estructural predominante, isostático e hiperestáticos. Puente isostático, sus tableros son estáticamente independientes uno de otro. Puente hiperestático, sus tableros son dependientes uno de otro, desde el punto de vista estático, pudiendo tener o no dependencia entre los tableros y sus apoyos. Otra clasificación según el sistema estructural predominante, es: puentes en

arco, en los cuales el elemento estructural predominante es el arco circular o cualquier curvatura regular simple o compuesta. A su vez, el material de construcción utilizado, es concreto y hierro de refuerzo y pueden ser isostáticos o hiperestáticos. Puentes colgantes. Cuyos elementos portantes principales son cables, de los cuales cuelgan las péndolas que, a su vez, soportan el tablero. Los puentes colgantes pueden ser total o parcialmente suspendidos; estos últimos son los que tienen los tramos de acceso sin péndolas, es decir, el tablero de los tramos secundarios se soporta a sí mismo, sin depender de los cables. Puentes de vigas Gerber, tienen tableros isostáticos apoyados sobre voladizos de otros tramos también isostáticos o hiperestáticos.

4. Según el uso que tendrá el puente. Si su uso es exclusivo para peatones, se le denomina peatonal. El puente Carretero, es el más común, utilizado para el paso de una carretera sobre un curso de agua o el paso sobre otra vía. El puente Ferrocarrilero, para el paso de un ferrocarril. El puente Acueductos, son tuberías para el paso de agua, gas, petróleo o cualquier fluido a conducir.

5. De acuerdo al sistema constructivo empleado en la construcción del tablero. Vaciado en el sitio, si el colado del concreto se hace sobre un encofrado dispuesto en el lugar definitivo; losa de concreto reforzado o postensado sobre vigas prefabricadas, hecho de concreto reforzado, precomprimido, vigas metálicas; tablero construido con voladizo, se hacen en tramos sucesivos con dovelas prefabricadas o vaciadas en el sitio; construidos por adición sucesiva de elementos de acero, soldados o empernados; tableros atirantados en sus bordes;

tableros tipo arpa, con doble fila de soporte o una sola fila; tablero lanzado, en el cual el tablero se construye en uno de los extremos del vano a cubrir y se lleva a su sitio deslizándolo sobre rodillos, suplementando el extremo delantero de la estructura con un elemento estructural auxiliar, llamado "nariz de lanzamiento"; algunas veces se utilizan apoyos auxiliares provisionales para facilitar el lanzamiento; otras veces se enlazan provisionalmente varias estructuras isostáticas para realizar el lanzamiento, después del cual se desacoplan para que trabajen isostáticamente.

6. Según la ubicación de la calzada. Puente de calzada superior, cuando la estructura portante (tablero) está ubicada debajo de la calzada; puente de calzada inferior, con tableros cuya estructura portante está ubicada a los lados de la calzada sobresaliendo de su superficie o ubicada por encima de la misma.

7. Puentes en esviaje. Cuando el tablero del puente esté construido en esviaje³; en planta, el tablero no es rectangular, es decir, que los extremos de los apoyos del tablero forman un ángulo distinto a 90 grados, con el eje longitudinal del tablero. La relación geométrica de ejes calzada superior con vías inferiores, podría resolverse con pilas mono columnas; generalmente, los apoyos de un puente suelen ubicarse paralelos a las vías inferiores por razones de menor molestia a los usuarios de las calzadas que pasan debajo de los tableros, o para facilitar el

³ Generalmente, esta posición del puente se debe a dificultades para mantener coincidentes el eje principal de la vía y el del puente en el punto de paso. En tal caso, el eje del tablero quedará girado un pequeño ángulo, respecto al eje de la vía, que permita adaptarlo a la continuidad adecuada del alineamiento principal.

flujo de agua. Sin embargo, el esviaje en el tablero, complica el diseño y su construcción.

8. Alcantarillas. Constituidas a lo ancho de una vía, están embebidas en terraplenes detectando su presencia por cabezales que asoman en cada extremo. Pueden ser de cuatro tipos:

8.1. Alcantarillas de cajón, formadas por dos paredes laterales, tapa y fondo, generalmente de sección constante y cartelas en las esquinas. Algunas veces no tienen relleno encima, por lo tanto, las cargas rodantes estarán en contacto con la tapa; otras veces tienen relleno encima, cuando son no mayores que 8m de largo.

8.2. Alcantarillas circulares. Son tubos enterrados, de diámetros no menores que 90 cm para facilitar su limpieza; los tubos de diámetros grandes son muy costosos.

8.3. Bóvedas de concreto reforzado. Son estructuras que resisten grandes rellenos encima de su techo. Casi siempre formadas por secciones con geometría de arcos circulares, parabólicos, elipsoidales o geometría compuesta.

8.4. Alcantarillas metálicas (túnel estructural), formadas por chapas(láminas) acanaladas, de acero galvanizado, premoldeadas para formar tubos de diámetro previsto. Funcionan como placas curvadas estructurales, cuya rigidez responde a esfuerzos elásticos de trabajo, de tal forma que se adaptan a las presiones del relleno que soportan, el tráfico, y demás cargas incidentes.

9. Según el fundamento arquitectónico utilizado los puentes pueden ser:

9.1. Atirantados. En forma de arpa, abanico o en forma de haz de rayos.

9.2. En arco. El cual puede ser superior, inferior e intermedio.

9.3. Móviles. Giratorios, basculantes y levadizos

9.4. Losa maciza de un solo tramo, de varios tramos (isostáticos e hiperestáticos) y articulados o gerber.

9.5. Con vigas simplemente apoyadas de un solo tramo, de varios tramos y articuladas, gerber, articuladas o gerber con pilas tipo consolas y losas apoyadas en vigas cajón.

9.6. Pórticos empotrados, trilátero biarticulado, con soportes inclinados, de pórticos triangulados

9.7. Armadura metálica que se clasifican a su vez en armadura y arriostramiento inferior, armadura y arriostramiento superior y tipo bailey.

10. Por la forma del puente directamente relacionada con los esfuerzos que soportan sus elementos constructivos se clasifican en: puentes viga, formados por elementos horizontales que se apoyan en sus extremos sobre soportes o pilares; mientras que la fuerza que se transmite a través de los pilares es vertical y hacia abajo y, por lo tanto, éstos se ven sometidos a esfuerzos de compresión, las vigas o elementos horizontales tienden a flexionarse como consecuencia de las cargas que soportan. El esfuerzo de flexión supone una compresión en la zona superior de las vigas y una tracción en la inferior. Puentes de arco, constituidos por una sección curvada hacia arriba que se apoya en unos soportes o estribos y que abarca una luz o espacio vacío. En ciertas ocasiones el arco es el que soporta el tablero (arco bajo tablero) del puente sobre el que se circula, mediante una serie de soportes

auxiliares, mientras que en otras, de él pende el tablero (arco sobre tablero) mediante la utilización de tirantes. La sección curvada del puente está siempre sometida a esfuerzos de compresión, igual que los soportes, tanto del arco como los auxiliares que sustentan el tablero. Los tirantes soportan esfuerzos de tracción. Puentes colgantes, formados por un tablero por el que se circula, que pende, mediante un gran número de tirantes, de dos grandes cables que forman catenarias y que están anclados en los extremos del puente y sujetos por grandes torres de concreto o acero. Con excepción de las torres o pilares que soportan los grandes cables portantes y que están sometidos a esfuerzos de compresión, los demás elementos del puente, es decir, cables y tirantes, están sometidos a esfuerzos de tracción.

11. Por tiempo de vida previsto, pueden ser definitivos o provisionales.

Las 1.1 a 1.9 muestran algunos tipos de puentes.

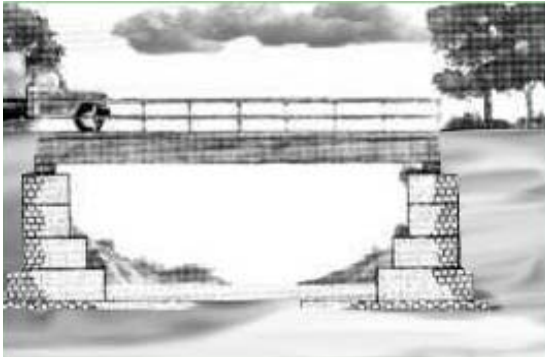


Figura 1.1 Puente de vigas simplemente apoyadas (isostático) un tramo.

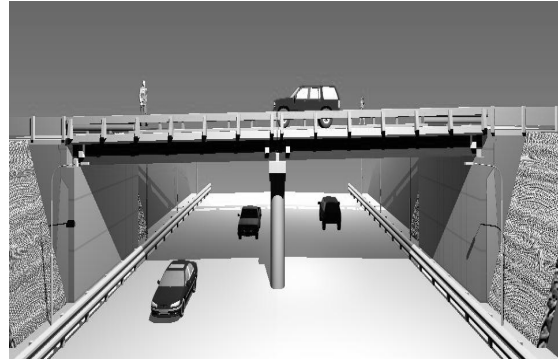


Figura 1.2 Puente de vigas simplemente apoyadas (isostático) varios tramos.



Figura 1.3 Puente de losa maciza de concreto reforzado.



Figura 1.4 Puente de arco en mampostería.

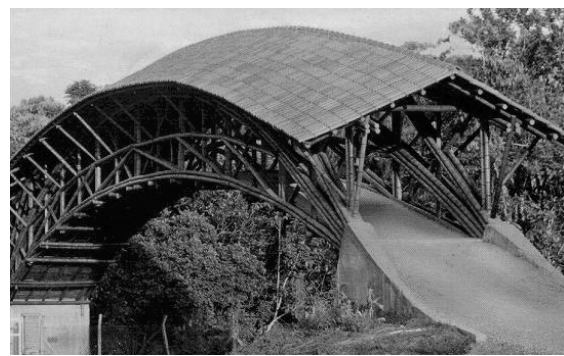


Figura 1.5 Puente de arco de madera.



Figura 1.6 Puente atirantado.



Figura 1.7 Puente de armadura en Cantiver.



Figura 1.8 Puente con armadura metálica y arriostramiento superior .



Figura 1.9 Puente con armadura metálica superior tipo bailey.

En el país, el Ministerio de Obras Públicas, tiene la siguiente clasificación de los tipos de puentes:

Puente vicon. El elemento principal de soporte es la viga de concreto reforzado.

Puente vipres. Puente cuyo elemento principal de soporte es la viga de concreto presforzado.

Puente bóveda. Generalmente de geometría ovoidal o rectangular, pueden ser de concreto o mampostería de ladrillos, piedra u otro material; especifican el elemento predominante del cual están fabricados o prefabricados.

Puente super-span. Son puentes tipo bóveda cuya estructura es una lámina metálica y sobre la cual se construye un relleno.

Puente de caja o puentes tipo cajón. Su geometría es rectangular tubular, y en la mayoría de casos hecha de concreto.

Puente de arco. Son puentes cuyo elemento principal es un arco que sirve de sustentación a los otros elementos.

Puente de cercha. Son puentes cuyo elemento principal es una estructura metálica reticular.

Puente colgante. Son puentes cuyos elementos principales son los cables a los cuales se sujeta principalmente el tablero de acceso.

Puente de madera. Son puentes cuyos elementos principales son el tablero y barandales de madera.

Puente mixto. Son puentes cuyo elemento principal es la viga metálica de alma llena y tablero de concreto.

Puente de losa. Son puentes cuyo elemento principal es la losa de concreto y sirve de tablero al mismo tiempo.

Puente vicajón. Son puentes cuyo elemento principal es la viga cajón.

Puente bailey⁴. Son puentes hechos con módulos de tirantes metálicos angulares entramados mediante articulaciones; sus piezas rectas, pines, y demás accesorios se prefabrican para su montaje en el lugar, por muy difícil que esto sea. Su construcción es muy rápida, se colocan para períodos relativamente cortos pero no son de uso permanente.

⁴ Hechos con piezas angulares de corta longitud unidas con pernos entre sí para formar triángulos moduladores, transmisores de fuerzas axiales, son adaptables para cualquier situación de urgencia o emergencia, para el funcionamiento casi inmediato de la parte de la vía interrumpida por cualquier situación de desastre o daño intencionalmente causado a cualquier tramo de vía. Aunque su uso es para periodos cortos; la experiencia en el país es haber provisto esto y alargar los periodos de su uso en tramos muy largos como en el río Lempa, que sobrepasado el periodo de éste se derrumbó sobre el río y el paso quedo inhabilitado por algunos días mientras se reparaba para volver a ponerlo en funcionamiento y consecuentemente mejorando la vigilancia de su funcionamiento estructural y mantenimiento.

1.8 TIPOS DE PUENTES Y SU USO

1.8.1 PUENTES PRIMITIVOS

La función más primitiva de un puente es salvar un tramo; largo o corto, para el paso de un camino. Antiguamente, los puentes que se usaron fueron troncos de árboles derribados para dar paso de un lado a otro de un río o abismo. Las empalizadas, eran estructuras simples o pasarelas que funcionaban como vigas; estas dieron origen a los puentes de madera, también a las pasarelas colgantes, fabricadas con cuerdas y bejucos, con las que podían pasar distancias mayores, este puente dio origen al puente colgante. Otro tipo de puentes se hacía con un solo apoyo en voladizo, el cual se utilizaba cuando era imposible la construcción de apoyos intermedios, y, la longitud de los troncos era menor que la longitud del tramo que se quería cruzar. El caso particular era el uso del cable hecho de bejucos trenzados en el cable único, del que pendía un cesto para que se desplazara por gravedad. Posteriormente se construyó un entablado colgando por medio de cables que tiraban de un extremo a otro, como en una hamaca, con lo que se tenía la suspensión para el paso de personas.⁵

1.8.2 PUENTES DE MADERA

Entre los tipos de puentes construidos con madera están los arcos, pórticos y vigas trianguladas. En el siglo XIX se construyeron tres puentes de más de 100m de luz, el mayor de ellos fue el de Mc Calss Ferry sobre el río Susquehanna de

⁵ Actualmente, año 2004 en Sur América, Colombia, Perú, Bolivia, todavía se realiza este sistema pero más moderno. El cable es metálico de 200m a 300m de largo, la cesta es una caja metálica y la potencia es un motor de camión.

110m. Este puente fue el de mayor luz del mundo hasta que fue superado en 1820 por el Unión Bridge, un puente colgante de 137m de luz.

En los primeros puentes de ferrocarril se hicieron vigas trianguladas de madera, posteriormente vigas mixtas de madera y hierro hasta que a mediados del siglo XIX prácticamente desaparecieron.

En general, los puentes de madera, se caracterizan por que su construcción es rápida y de bajo costo, pero presentan problemas por su baja resistencia y poca durabilidad ya que son muy sensibles a los agentes atmosféricos como la lluvia y el viento y vulnerables a incendios, grandes inundaciones y a la degradación del ambiente, por lo que requieren un mantenimiento continuado y costoso.

1.8.3 PUENTES DE MAMPOSTERIA

Los puentes de piedra están formados por bóvedas cilíndricas, análogas al medio cañón románico, aunque en ellas predomina la dimensión longitudinal sobre la transversal, y por ello el efecto bóveda es mínimo, en analogía con los arcos lineales. Las formas de las estructuras de piedra que sirven para salvar luces de cierta importancia, se derivan del arco formado por dovelas yuxtapuestas; son las bóvedas y cúpulas. Por ello los puentes de piedra, que atraviesan ríos, utilizan siempre bóveda como estructura resistente.

Además de la piedra, se han utilizado materiales como el ladrillo, este es un pequeño bloque con el que se pueden hacer arcos de dovelas yuxtapuestas; por tanto la morfología de los puentes de ladrillo es la misma que la de los puentes de piedra.

En comparación con sus antecesores los puentes de madera son más resistentes, compactos y requieren poco mantenimiento ya que resisten a los agentes climáticos y por consiguiente tienen mayor periodo de vida útil. El dominio de la técnica del arco, de este tipo de puentes, prevaleció durante siglos. Sólo la revolución industrial con las nacientes técnicas de construcción con hierro pudo amortiguar este dominio. Actualmente el arco de piedra como técnica para hacer puentes es solamente historia; ya no se construyen puentes de este tipo porque resultan excesivamente costosos, salvo casos excepcionales en parques o lugares naturales protegidos, con una intención puramente paisajística, y muchos de ellos son de concreto chapados con piedra, generando más ambiente estético y de arquitectura singular.

Sin embargo, se conserva la construcción de estribos elaborados de mampostería de piedra⁶, por su bajo costo de construcción y mantenimiento. La resistencia de la mampostería depende principalmente de la resistencia de la pieza y en menor grado de la del mortero; por tanto, es importante utilizar piezas sanas cuando no se conoce la resistencia a la compresión de la piedra a través de ensayos, la cual varía de 100kg/cm² (areniscas suaves) hasta 2000kg/cm² o más, para granitos y basaltos.

⁶ Es importante hacer notar, que a la fecha en el país en áreas rurales principalmente, se practica el uso de estribos de mampostería de piedra y lo que fundamentalmente ha hecho cambiar la tecnología moderna es el tablero, barandales y drenaje y la filosofía de diseño para más cobertura extendida, en longitud, seguridad, estética, adaptación, simplificación, etc.

1.8.4 PUENTES METALICOS

Aparecieron a final del siglo XVIII, y la mayoría de estos tuvieron una vida relativamente corta, por ser un material frágil y con débil resistencia a la tracción, respecto a las máximas cargas que soportaban, debido a esfuerzos producidos en sus enlaces, tales como dilataciones diferenciales, choques y vibraciones debidas a la circulación; también, se producían numerosas roturas en las triangulaciones y en los arcos principales. La mayoría de estos puentes fueron demolidos para evitar posibles tragedias, sólo subsistieron aquellos en los cuales se hicieron mejoras en sus disposiciones constructivas y consistencia estructural.

El rápido desarrollo de los puentes metálicos a principios del siglo XIX se debió a dos causas fundamentales:

- Mayor capacidad resistente que los materiales utilizados anteriormente como la madera y la mampostería.
- La facilidad que este nuevo material ofrecía para dimensionar los elementos del puente cuantificando su seguridad y permitiendo el ajuste de sus dimensiones.

Los materiales derivados del hierro utilizados sucesivamente han sido la fundición, el hierro forjado y el acero.

Puentes de hierro fundido. Fueron los primeros puentes que se construyeron con hierro con estructura similar a los de mampostería y madera. Uno de los mejores ejemplares de este tipo de puentes es el Southwark sobre el río Támesis en Londres, el puente de hierro más largo construido en el mundo.

Puentes de hierro forjado. El forjado del hierro aumenta su resistencia y mejora su homogeneidad. Actualmente se laminan en caliente fabricando chapas y perfiles metálicos. El hierro forjado es el material de los puentes de la segunda mitad del siglo XIX, época de los grandes viaductos de ferrocarril en viga triangulada; de este material son las vigas en celosía y los arcos de la torre Eiffel en Francia. El uso del hierro forjado en la construcción, se desarrolló rápidamente ya que éste poseía alta resistencia a la tracción, comparada con la que tenían los elementos de fundición. Así, en la época se utilizó para construir puentes colgantes, de vigas, vigas cajón y de arco.

Puentes de acero. Se empezó a utilizar a finales del siglo XIX, cien años después de la iniciación de los puentes de hierro fundido. Su resistencia y demás características permitieron emplearlo en la construcción de puentes, sustituyendo totalmente a la fundición y al hierro. Por primera vez, se utilizó el acero en la construcción del gran puente de Saint-Louis con tres arcos, de 153 m, 159 y 153 m de claro, sobre el río Misissipi, construido entre los años de 1868 a 1874. Los puentes de Brooklin, Firth of Forth y Saint Louis, ilustran los tres grandes tipos de puentes de acero: puentes colgantes, puentes de vigas y de arco. El hierro permitió desarrollar los tres tipos, pero el acero posibilitó hacer largueros mayores para claros más grandes. Con el acero se han construido puentes en cantiliver y de vigas continuas, como los de hierro. Los puentes con arco de acero se han utilizado para franquear grandes alturas, valles importantes, cuando el claro y el rebajamiento resultan excesivos para una bóveda hecha de piedra o con

arcos de concreto reforzado, de tal forma que su empleo ha quedado limitado a casos arquitectura muy particular.

A pesar de su utilidad para salvar grandes claros, presentan el inconveniente de que son costosos y están expuestos a la acción corrosiva, tanto de los agentes atmosféricos como de gases y humos de fabricas y ciudades lo que se traduce en un mantenimiento costoso.

1.8.5 PUENTES DE CONCRETO REFORZADO

El concreto reforzado apareció a finales del siglo XIX y principios del siglo XX como resultado de la combinación del hierro y el concreto. Permiten alcanzar claros mayores que los de mampostería pero menores que los de hierro. Los gastos de mantenimiento son escasos ya que son muy resistentes a los agentes atmosféricos. Adoptan los tipos de forma siguiente:

El concreto reforzado se utiliza con frecuencia en puentes de cualquier tipo de carretera, desde caminos rurales hasta autopistas, por su economía para claros cortos y medianos, durabilidad, bajo costo en mantenimiento y fácil adquisición de materiales; así, se construyen puentes de losa, de vigas T y de vigas caja. Sin embargo su utilización para claros largos requiere secciones gruesas y peraltadas, así como mayor armadura y encofrados lo que se traduce en mayores costos.

1.8.6 PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO

Freyssinet (en 1939), desarrolló de la técnica del concreto pretensado, como consecuencia de reflexiones y experiencias desarrolladas por él durante largos años acerca del uso del concreto reforzado; en el que las fisuraciones fueron

siempre temidas por los constructores desde la época de las construcciones de mampostería de ladrillo, ya que se consideraba un índice de mala calidad de construcción. Con el transcurso del tiempo se fue estableciendo que la fisuración era “un fenómeno común relacionado con su forma de funcionar”, por tanto, no procedería intentar suprimirla, sino tratar de limitar la abertura de las mismas.

Con el desarrollo de hierros de alta resistencia y el estudio de los efectos dependientes del tiempo en el concreto (deformación plástica, contracción, etc.) surgió la idea del presfrozado, donde el concreto se presolicita, sometiéndolo a compresiones iniciales elevadas, mediante la utilización de armaduras activas (presforzado) en lugar de las pasivas (armado) utilizando concretos de mayor resistencia a compresión y hierro de refuerzo de mayor límite elástico. Para el anclaje de los cables, Freyssinet adoptó el sistema de los conos macho y hembra que él había inventado en 1939.

Los tipos de puentes presforzados más utilizados en la construcción de puentes son los siguientes:

1.8.6.1 PUENTE DE LOSA PRESFORZADA

Es un tipo de puente muy utilizado por su relativa facilidad de construcción. Consta de una placa consistente y continua, de sección rectangular, peralte constante; o bien con voladizos. Por su condición de apoyo simple se emplean en claros pequeños y medianos (que no sean mayores que 20m). Cuando el claro es más largo se modifica la losa a un tipo de losa que contiene cavidades

longitudinales para reducir el peso propio; este sistema es conocido como “de bovedillas” o de losa aligerada.

1.8.6.2 PUENTES DE VIGAS PRESFORZADAS

En este tipo de puentes la estructura primaria consiste en unidades de concreto precolado, en general vigas “I”, o vigas “T” pretensadas o postensadas las cuales a su vez pueden ser prefabricadas o coladas en el sitio.

Las vigas presforzadas precoladas se usan, generalmente, en claros cortos y medianos, donde el montaje con obra falsa no sea factible y son económicas particularmente en construcciones masivas; por ejemplo, en viaductos de claros múltiples. Con el precolado es fácil mantener el control de calidad y producir concreto de mayor resistencia que el colado en obra. El encofrado es más sencillo y puede reducirse gran cantidad de obra falsa. Sin embargo, estas ventajas pueden quedar anuladas cuando el costo de transporte, manejo y montaje de las unidades excedan el costo de elaborarlas en el sitio. Otro elemento que puede causar problemas y costos elevados es el relacionado con las juntas. Es posible cubrir claros más largos, pero requieren equipo de montaje cada vez más pesado.

Las vigas presforzadas coladas en el sitio, se usan cuando se requieren varios vanos, porque mejoran la continuidad del tablero en los apoyos; cuando el acceso al proyecto no es adecuado para transportar elementos precolados; en postensado se usan para reforzar, ampliar o remodelar estructuras de concreto ya existentes; cuando el nivel del puente es bajo y las condiciones del terreno favorecen el armado de la obra falsa.

Generalmente las vigas “I” y “T” se unen en la parte superior a una losa, en un colado monolítico de concreto para conformar una sola sección de trabajo con la losa, que puede ser armada o presforzada.

1.8.6.3 PUENTES ATIRANTADOS

Los tirantes forman el sistema portante. El puente consta de tramos articulados y sostenidos por fuertes tirantes rectilíneos en ambos lados de las pilas. El tablero se construye comúnmente con secciones prefabricadas pretensadas, tal que el sistema resultante es colgante-presforzado. Se utilizan generalmente para claros largos.

1.8.6.4 PUENTES DE VIGA CAJON

El tablero se forma a base de dóvelas prefabricadas o coladas en el sitio. Su sección es una viga cajón (puede ser cajón múltiple) del ancho del puente y con aleros salientes en su parte superior. Las vigas cajón prefabricadas, se utilizan en puentes con claros largos, sin embargo, son utilizado en claros pequeños de 15.0m cuando el peralte de la estructura sea limitado severamente⁷ y cuando la geometría en planta del puente sea curva, donde los segmentos rectos no logren adaptarse a la forma. La utilización de vigas cajón favorece el ahorro de tiempo y dinero, siempre que se cuente con el equipo necesario para el transporte, manejo e instalación de las piezas.

⁷ La relación peralte-claro en vigas cajón, para claros continuos es de 0.055, y en claros simples 0.065 mientras que en las vigas “I” e “T” la relación peralte-claro varía de 0.065 a 0.075 por lo que se obtienen menores peraltes con vigas cajón.

1.8.6.5 PUENTES DE ARCO CONSTRUIDOS SIN ENCOFRADO

Se desarrollan utilizando dovelas sucesivas que siguen la guía de un arco soportado por tirantes anclados a los estribos. Tales tirantes se van sumando según sea la sujeción necesaria al incrementarse el peso de la estructura.

1.8.8 BOVEDAS

Una bóveda, generalmente es un arco que soporta las cargas que actúan sobre ella, tales como el tráfico y el relleno de suelo; a través de él, esas cargas son transferidas a los muros que lo soportan, en cada extremo, los cuales se encargan de transferir todas las cargas al suelo soportante. La bóveda se considera una estructura especial que funciona a flexocompresión, y su sección transversal tiene espesor reducido con respecto a sus demás dimensiones. Los componentes principales de una bóveda son: un arco o cascarón, apoyado directamente en sus extremos sobre la subestructura, este soporta las cargas, por el relleno o colchón de tierra, el tráfico, tanto vehicular como peatonal, el peso propio de la superestructura. La geometría que adopta es parabólica, circular, elíptica o la combinación de ellas. Todas estas formas, dependerán de las condiciones y magnitudes de las cargas a soportar, así como del material a base del cual estará construida, el cual puede ser, concreto simple, concreto reforzado, mampostería de piedra o bloque de concreto. La estructura puede ser prefabricada o realizada en el lugar de la obra, in situ. Los apoyos en ambos extremos del arco son los estribos cuya función primordial es transmitir las cargas provenientes de la superestructura al suelo soportante. Las cargas que actúan sobre la subestructura

son, las reacciones provenientes del arco o cascarón, las reacciones de la tierra sobre los estribos, y el peso propio de la subestructura. Basados en las cargas descritas, se decide el material del cual se construirán los estribos, estos son, mampostería de piedra, concreto reforzado y mampostería reforzada. En el diseño de la bóveda, es fundamental, la geometría, el material y su estabilidad. Una bóveda puede ser construida, prefabricadas y fabricada “in-situ”. Según su material constitutivo, pueden ser: de mampostería de piedra, de concreto simple o concreto reforzado y metálicas, ver figuras de 1.10 a 1.13.

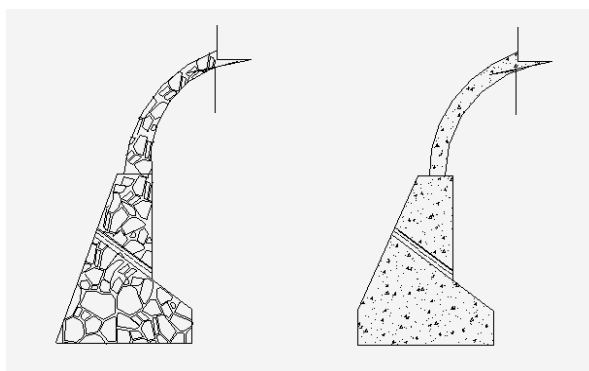


Figura 1.10 Estribo y muro de mampostería .

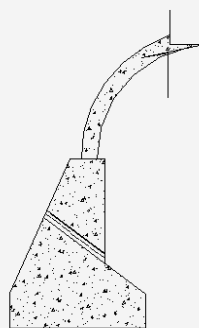


Figura 1.11 Estribo y muro de concreto.

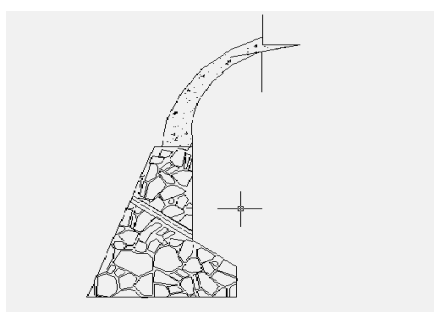


Figura 1.12 Estribo de concreto y muro de mampostería.

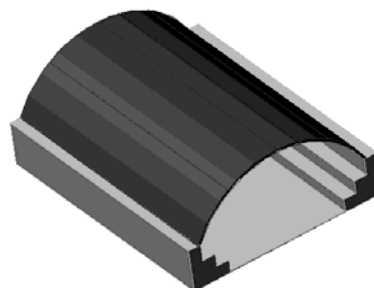


Figura 1.13 Bóveda metálica.

1.9 CARACTERIZACION DE LOS PUENTES

En general, un puente tiene las características siguientes:

Supera el paso de un tramo discontinuo, es una estructura que se utiliza para que una vía de comunicación pueda salvar un río, una depresión de terreno u otra vía de comunicación. El alineamiento es igual o conformativo al camino o vía en la cual dan paso; lo cual significa, que en ciertas ocasiones el puente es construido en la formación de un camino ya existente y es conformativo cuando existen condiciones que obligan a cambiar la dirección del eje de la estructura. La morfología, hidrografía, topografía del terreno, aguas subterráneas y el fin de uso son condiciones que hacen modificar el curso original de la estructura, adaptándola para lograr una mejor funcionalidad de la obra. Los elementos esenciales que lo constituyen son, estribos, tableros y barandales, utilizados para dar estabilidad estructural y seguridad a los usuarios que se trasladan a través de estas obras.

La rigidez es una característica estructural fundamental en los puentes para juzgar la deformación de los elementos estructurales sometidos a las cargas de funcionamiento. La rigidez, permite evitar posibles colapsos en el funcionamiento futuro de estas obras.

La facilidad para obtener los materiales de construcción hace que se adopten de madera, concreto, metálicos y la tecnología. Por ejemplo, puentes de concreto reforzado y puentes de concreto presforzado. Combinando materiales y tecnología se hacen puentes de concreto reforzado y metálicos u otros.

Las condiciones tecnológicas y los materiales generan diferentes formas y tipos de puentes; pero en general, estos cumplen con acople geométrico adecuado, el

vehículo de proyecto, capacidad de tráfico y seguridad para las personas que hacen uso de ellos.

1.10 PARTES QUE CONSTITUYEN UN PUENTE

En general, los puentes constan de las siguientes partes:

Barandal, es la estructura ubicada generalmente en los bordes más extremos de la cubierta de un puente, cuya función principal es proteger a vehículos y peatones.

Capa de rodamiento, es la capa superficial del puente que absorbe el desgaste producido por el paso de automóviles y peatones, y que a la vez protege al tablero. Puede ser revestido de asfalto o concreto.

Tablero, es la parte horizontal del puente, que recibe directamente y principalmente las cargas del tráfico por el paso de los vehículos.

Vigas longitudinales, son vigas que se encargan de transmitir las cargas de la superestructura a la subestructura y que siguen la dirección del tráfico del puente, soportan la losa o tablero principal.

Diafragmas, son los elementos transversales que unen lateralmente a las vigas longitudinales entre sí y contribuyen a rigidizar la superestructura, de tal manera, que ésta trabaje como un todo y controlan el pandeo lateral de las vigas longitudinales (principalmente vigas esbeltas y de gran peralte, de acero) y el alabeo; y en general, las distorsiones longitudinales y laterales u otras debidas a cargas dinámicas incidentes. Ayudan a reducir el efecto de concentración de esfuerzos a lo largo del centro de las vigas largueros así como el control de

deflexiones o efectos locales localizados en cualquier punto alma o canto de largueros.

Apoyo, es el elemento que se coloca entre las vigas y la superficie sobre la que descansa el canto extremo de las losas y vigas, generalmente está integrado formando en el cabezal del estribo.

Estribos, son los soportes del puente, que se encuentran en los extremos del claro a vencer; generalmente, tienen función adicional de actuar como muros de retención.

Pilas, son los soportes intermedios de la superestructura de un puente, cuando este posee más de un claro al sobrepasar longitudes posibles de cumplir con un solo tramo.

Cimentaciones y obras de protección. Las obras de protección, pueden ser taludes, muros, emplantillados, que protegen de la erosión e impactos.

1.11 CARACTERISTICAS QUE CUMPLEN LOS PUENTES DE CONCRETO

Los puentes de concreto reforzado se caracterizan por cumplir con los requisitos de construcción establecidos por el Ministerio de Obras Públicas en su reglamento para la seguridad estructural de las construcciones en El Salvador, además, son supervisados durante todas las etapas de la obra. El control de calidad se lleva a cabo en los procesos de construcción y los materiales utilizados, para lo cual, cumplen con la “Norma Técnica para control de calidad de materiales

estructurales”. La normativa que se aplica en el país está basada en las normas internacionales, de la A.S.T.M., A.A.S.H.T.O. y FP-96 principalmente.

1.12 NORMAS Y ESPECIFICACIONES DE LA A.S.T.M., A.A.S.T.H.O. Y FP-96 PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES DE CONCRETO

La construcción de puentes está en armonía con las normativas internacionales que garantizan la calidad de los materiales, procesos construcción y realización de estas estructuras.

Normas de la A.S.T.M. (Sociedad Americana para el ensayo de materiales.) Esta normativa se refiere al control de calidad del concreto, con el cual se llevan a cabo estas obras, a los áridos (arena, gravas), cemento, agua y el hierro de refuerzo, y en general, a todos los materiales tomados en cuenta en la construcción tales como alambres, cables, madera, conectores, clavos, etc.

Normas de la A.A.S.T.H.O (American Association of State Highway and Transportation Officials) contenidas en el documento titulado Standard Specification for Highway Bridges. Esta normativa está orientada a dos fines esenciales, para fines de diseño, especificando los requerimientos de diseño de los diferentes tipos de puentes, los métodos y técnicas, el vehículo de proyecto; y delimita las características constructivas paralelamente al diseño y viceversa en la construcción en base al diseño.

Standard Specifications FP-96 (USA). Se refieren al diseño a cumplir en la realización de un puente a través de la contratación, administración y formas técnicas que se llevan a cabo en la evolución de la construcción y sus

procedimientos. La principal característica que poseen estas normas, es la especificidad técnica y el carácter legal que ofrece a las construcciones que cumplen tal normativa.

1.13 METODOS CONSTRUCTIVOS EN PUENTES DE CONCRETO. CASOS

Históricamente, se han desarrollado diversas y variadas formas de construcción en los elementos que conforman los puentes de concreto. Los constructores, a través de experiencias han creado los métodos constructivos y criterios propios donde se describen sistemáticamente los pasos a seguir para construir cada elemento que forma parte de una estructura. En procesos de construcción, existen dos factores muy importantes que definen el tipo de proceso a realizar, tiempo de realización y costo del puente. En El Salvador se han utilizado diferentes métodos de construcción dependiendo de la época y los recursos disponibles. Algunos métodos de construcción utilizados en las obras más notables en las principales carreteras del país son los siguientes casos:

Caso I. Construcción de puentes de concreto con moldes de madera. La madera, es el material principal ocupado para la elaboración de los moldes que dan la forma que requieren los elementos que constituyen a un puente, estribos, aletones, pilas, vigas, losas, similarmente, los elementos de soporte de los moldes o cimbras son construidas de madera, con los cuales se garantiza la estabilidad de la obra que se está realizando. Los puentes construidos así, hoy son bastante caros y sólo es recomendable usar este método para claros cortos y medianos. La

madera puede usarse de una a tres veces, por tanto, la cantidad demandada en cada proyecto puede aumentar su costo.

Caso II. Construcción de puentes de concreto con moldes metálicos. Los moldes metálicos, debido a su durabilidad dieron una gran revolución tecnológica en la construcción de puentes, ya que estos pueden utilizarse muchas veces; a pesar de su costo inicial, con el tiempo resultan económicos y seguros en la construcción de los elementos que forman parte de la obra. Pero las diferentes formas y dimensiones mediante las cuales son diseñados los miembros de la superestructura y subestructura, siempre hace necesario utilizar madera para cubrir espacios pequeños en donde no es posible colocar partes metálicas. Así, se logra disminuir el costo y el tiempo de la construcción, beneficiando a los vecinos y usuarios de los puentes.

Caso III. Construcción de puentes de concreto presforzado. La modernización y la tecnología han logrado desarrollar métodos de construcción, dejando atrás inconvenientes de tiempo y recursos necesarios para instalar la obra falsa de los puentes. Respecto a estructuras de concreto se han desarrollado dos métodos generales para presforzado: el pretensado y el postensado y que a su vez se pueden utilizar ambos para el mismo elemento. Así mismo, según sea el método y la secuencia de fabricación, el concreto presforzado puede ser precolado y pretensado; colado “in situ” y pretensado; precolado y postensado; colado en el sitio y postensado; compuesto, o en forma parcialmente presforzada.

En la construcción de puentes de concreto pretensado el tensado de los cables o torones se realiza antes de colar el concreto y la secuencia de las actividades principales son las siguientes:

- Colocación de los alambres, torones o barras de preesfuerzo en un banco especial para aplicación de la tensión siguiendo la localización y trayectoria especificadas.
- Fijado de los alambres, torones o barras a los extremos del banco por medio de anclajes adecuados y tensado de los primeros hasta alcanzar la fuerza inicial especificada, manteniendo por medio de gatos hidráulicos la fuerza inducida en los mismos.
- Colocación de la armadura de acero de refuerzo y de las formaletas.
- Colocación del concreto y curado del mismo.
- Destensado de los alambres, torones o barras de preesfuerzo.
- Cortado de los alambres, torones o barras en los extremos de los miembros.
- Almacenamiento y transporte de los miembros.

En el pretensado el esfuerzo se transmite al concreto por adherencia, o sea, mediante esfuerzos de fricción que se desarrollan entre la superficie de los cables y el concreto.

En la construcción con concreto postensado, la secuencia de actividades son las siguientes:

- Preparación y colocación de la formaleta.
- Preparación y colocación de la armadura de acero de refuerzo del elemento estructural.
- Colocación y fijación de los ductos o bien de los alambres, torones o barras ya envainados.
- Colocación y fijación de los anclajes y sus aditamentos en los extremos de los ductos.
- Alineamiento y ajuste final de las formaletas.
- Colocación y curado del concreto.
- Tensado de los alambres, torones o barras de preesfuerzo previa confirmación que la resistencia especificada del concreto para realizar la operación, ha sido alcanzada.
- Protección del acero de preesfuerzo, mediante la inyección de lechada basada en mortero o lechada de cemento u otro elemento protector de calidad y eficacia comprobadas.
- Protección de los anclajes con concreto o mortero.

En el postensado, el presfuerzo es transmitido al concreto a través de unas placas especiales de anclaje, colocadas en los extremos de la estructura.

En general, las estructuras de concreto presforzado son sometidas a esfuerzos mayores durante su construcción, que a los que serán sometidas durante su uso. Esto constituye una garantía inobjetable a su buen funcionamiento futuro. Entre las ventajas que ofrece este sistema están las siguientes:

- Control sobre las deflexiones y el agrietamiento en la sección.
- Construir sobre claros de luces más amplias, sin que implique (en la misma proporción) aumentos crecientes en los costos.
- Reducir la magnitud de las vibraciones dinámicas de la estructura.
- Los costos de mantenimiento son reducidos en comparación con los que necesita una obra similar metálica.
- Reducir la carga muerta, en general, lo cual hace posible utilizar claros más largos con concreto haciéndolo un material competitivo con el hierro.

Sin embargo, el concreto presforzado requiere mayor complejidad de diseño, una calidad mayor de los materiales (tanto del concreto como del acero), mayor control en los procesos de fabricación del concreto que el concreto reforzado y contar con equipo apropiado para realizar el colado o transporte y carreteras en buen estado para transportar las piezas prefabricadas, lo cual no siempre es posible por limitaciones en las carreteras y construcciones en la zona de la obra. Las geometrías más comunes de elementos presforzados son las vigas “I”, vigas “T” o vigas caja. Las vigas precoladas “T” no tienen ninguna ventaja sobre las vigas “I”, las cuales son más compactas y fáciles de fabricar.

Ejemplos de puentes presforzados construidos en el país son Colima en los años 1980´s y actualmente los puentes del río Jiboa, Cuscatlán, San Marcos Lempa, Cangrejera. En 1994 se construyeron puentes utilizando concreto reforzado para la elaboración de la subestructura y elementos de concreto pretensado, postensado, elaborados “in situ” y prefabricados para la realización de la

superestructura. Lo cual, sigue ahorrando tiempo e interrupciones al tráfico. Los elementos prefabricados se elaboraron fuera del sitio de la obra y fueron llevados en camiones de volteo en el momento justo de su instalación en el punto de emplazamiento de la obra.

En cuanto a la construcción de puentes con vigas cajón modulares postensados, con la utilización de este tipo de elemento se simplifica, principalmente, la engorrosa colocación y fijación de los cables de presfuerzo dentro de las angostas almas de las vigas tipo AASHTO o de otras parecidas; además, reduce el costo de moldeo de las vigas al ocupar repetidamente elementos que se acoplan entre sí mediante juntas macho-hembra y pegamento epóxico. Por ejemplo, el puente de una sola vía de 22 m de longitud sobre el Río Sucio, situado entre San Bartolomé Perulapía y Oratorio de Concepción, postensado mediante cables de 12 alambres de 5 mm y anclajes Freyssinet. Este puente funciona desde junio de 1990. Otro ejemplo es el puente de 12.50 m de longitud, de una vía, 3.5 metros de ancho, salvando un riachuelo costero en la comunidad Nueva Esperanza en Usulután y funciona desde marzo de 1993. El tercer puente tiene 11 m de ancho, longitud de 24 m ubicado sobre el Río Colón en Lourdes, para acceso a la urbanización “Campos Verdes”. En estos puentes, los estribos y alas se construyeron usando un sistema de muros de retención con tensores de concreto presforzado; y la superestructura, mediante vigas cajón moduladas a 50 cm y unidas mediante postensión, tanto para cargas de servicio como al límite, se usaron cables de 0.6” de diámetro forrados con plástico y engrasados, para evitar colocar ductos y su

posterior inyección con lechada para evitar su corrosión. Se utilizaron anclajes tipo DYWIDAG de 4" x 0.6". El uso de vigas cajón no solamente reduce el costo del moldeo, sino que adicionalmente protege en su interior a las fuerzas o cargas artificiales que le dan las propiedades especiales del concreto presforzado, proporcionando además a la sección transversal, un rendimiento geométrico superior al de las vigas "I", generalmente usadas, lo cual reduce la cantidad (%) de preesfuerzo para una sollicitación dada. La modulación de las vigas permite la fabricación fraccionada de las mismas y facilita su transporte y montaje, lo cual es muy importante en la construcción de puentes, donde el peso de las vigas tipo AASHTO o similar requiere el uso de grúas de alta capacidad, lo cual a su vez encarece su costo.

En la construcción de las vigas con elementos modulares, el concreto ya tiene la resistencia requerida y basta alinear y acoplar los diferentes elementos para el postensado y poder recuperar de inmediato la obra falsa y ocuparla en la fabricación de otra viga. Además, para agilizar aún más la construcción, en los puentes, se han utilizado losetas pretensadas (COPRESA) para servir de obra falsa perdida y como refuerzo positivo de la losa. Una vez se hallan puesto las losetas entre las vigas, se procede a la colocación del refuerzo y el moldeo del perímetro para así proceder a colar el concreto de la losa y obtener una sección compuesta capaz de resistir su peso propio y el paso de los vehículos.

1.14 PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN PUENTES DE CONCRETO. CASOS

Antes de iniciar la realización de un proyecto de puente, se define un proceso de construcción, donde la supervisión, el contratista y el dueño del proyecto llegan a un acuerdo con respecto al tipo de proceso constructivo a desarrollar. Así, cada construcción tiene sus propias particularidades, de acuerdo con las condiciones del lugar donde se desarrolla el proyecto. Algunos procesos de construcción realizados en puentes recientes como el del río Jiboa y Cangrejera, desarrollados en los años 2002-2003, son como sigue:

El diseño estructural de los puentes define la secuencia de los pasos a seguir en su construcción. Generalmente, al inicio se hace una inspección del lugar de la obra, acomodando las instalaciones provisionales y luego hay que hacer el trazo de las fundaciones; si el diseño exige hacer pilotes, entonces se hace la perforación de los pilotes; el suelo del lugar en profundidad, define la técnica de construcción del pilote de tal forma que puede hacerse con encamisado total o sin él. Hechos los pilotes se procede a la elaboración de una losa de nivelación para colocar la zapata de las pilas y estribos del puente; tanto las pilas como los estribos pueden hacerse simultáneamente por etapas hasta llegar a los cabezales, terminados estos hay que instalar los apoyos elastoméricos, dejando siempre las conexiones de hierro de la parte anterior a la siguiente para que los elementos sean monolíticos; la obra falsa para dar forma a estos elementos se construye con madera o metal. Terminada la subestructura, es necesario tener listas las vigas y proceder a su instalación para

que posteriormente se haga el colado de los diafragmas y las losas; simultáneamente, se construyen las obras de protección, las aceras, barandales y losas de aproximación, luego, es necesario realizar una losa de nivelación para poder dar el bombeo adecuado a la calle cuando se coloque el asfalto; las juntas de expansión son selladas y al final se colocan las señales de tránsito; los acabados superficiales, son dados a la estructura antes de ser puesta en servicio.

1.15 TECNICAS QUE SE USAN EN LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO. CASOS

La calidad y eficiencia del proceso constructivo de los elementos que constituyen la estructura de un puente dependen de la tecnología utilizada, y las técnicas empleadas; por esta razón, hay variedad de técnicas para conseguir menores tiempos de construcción y más bajos costos de inversión. Por ejemplo, en la década de los años de 1970's apareció la cimbra metálica deslizante, la cual revolucionó completamente la construcción de los grandes puentes en todo el mundo. En la construcción, colada en la obra, la cimbra deslizante se apoya en una estructura que se desplaza en voladizo desde una sección adyacente ya terminada del tablero. Conforme la sección es colada, curada y postensada, la obra falsa se desplaza y se repite el proceso. En la construcción precolada el proceso es el mismo, excepto que los elementos son prefabricados.

Otra técnica empleada en puentes de gran longitud es, construir vanos de luces aproximadamente iguales unidos entre sí mediante pretensado, también en este caso, la cimbra se va desplazando a medida que se van construyendo los distintos

vanos. Cuando no sea posible utilizar estas técnicas por condiciones naturales de la obra, por ejemplo en paso sobre un río caudaloso o sobre zonas marítimas, la técnica del empuje del dintel es aplicable. Con esta técnica lo que se mueve es la zona construida. El desplazamiento del puente se consigue mediante un sistema de gatos hidráulicos que por una parte levantan el puente, y por otra, empujan al mismo.

De igual forma, las empresas pequeñas han desarrollado técnicas sencillas como la de obra falsa perdida usando losetas presforzadas evitando hacer obra falsa para colar las losas de puentes pequeños. En general, la aplicación de técnicas de construcción determinadas tienen el fin de lograr mayor eficacia en la realización de las estructuras que conforman los puentes.

1.16 TECNOLOGIA QUE SE APLICA EN LA CONSTRUCCION DE PUENTES

1.16.1 PUENTES DE CONCRETO REFORZADO

1.16.1.1 MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION

Concreto reforzado. Su uso es funcional y económico, en puentes, por sus importantes propiedades mecánicas y físicas.

Hierro de refuerzo. Las varillas de hierro estructural para el refuerzo de estructuras de concreto reforzado tienen que cumplir con lo especificado en la norma de la A.S.T.M. A-615(varilla de hierro de lingotes corrugadas y lisas para concreto reforzado), A-616 "Varillas de hierro de Riel Relaminado Corrugadas y Lisas para Refuerzo de Concreto", o la A-617 "Varillas de hierro de Eje Corrugado

y Lisas Para concreto Reforzado". Las varillas son fabricadas en diámetros nominales que van desde 3/8 de pulgada hasta 1 3/8 de pulgada, con incrementos de 1/8 de pulgada, y también en dos tamaños más grandes de más a menos 1 3/4 y 2 1/4 de pulgadas. Es importante, que entre el hierro de refuerzo y el concreto exista suficiente adherencia, entre los dos materiales, la cual proviene de la rugosidad natural de las corrugaciones poco espaciadas en la superficie de las varillas. Las varillas se pueden conseguir en diferentes resistencias. Los grados 40, 50 y 60 tienen resistencias mínimas especificadas para la fluencia, de 2800kg/cm², 3500kg/cm² y 4200kg/cm² respectivamente. La tendencia actual es hacia el uso de varillas de hierro grado 60.

1.16.1.2 ELEMENTOS DE SUSTENTACION

Los puentes de concreto reforzado son construidos utilizando moldes con sus respectivos elementos de soporte (cimbra) los cuales pueden ser de madera, metal o una combinación de ambos, cuya finalidad es garantizar la estabilidad de los miembros que se construyen.

1.16.1.3 EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA

La construcción de puentes de concreto utiliza maquinaria como grúas, tractores, plumas, camiones de volteo, para realizar trabajos pesados; herramientas pequeñas como palas, carretillas, vibro-compactadores, compactadoras. La mano de obra, generalmente, se obtiene localmente sin recurrir a personal especializado.

1.16.1.4 COSTO DE LA TECNOLOGIA UTILIZADA

En términos generales, la construcción de puentes de concreto es económica en claros cortos (6m - 15m) y claros medianos (15m – 50m) donde es factible el uso de obra falsa, cuando se disponga de espacio para operar maquinaria localmente y donde no sea posible utilizar elementos prefabricados por mal estado de carreteras para su transporte y manejo o porque los costos del traslado son superiores a los esperados con el colado “in situ”. También, es una solución estética y económica en puentes curvos de claros cortos, por su facilidad de adaptarse a curvas verticales y horizontales. Sin embargo, para claros largos es necesario la utilización de mayor cantidad de refuerzo y secciones más peraltadas; por lo cual, resultan mayores costos con la necesidad de buscar otras alternativas de construcción.

1.16.1.5 CONDICIONES DEL SITIO DE LA OBRA

Existen condiciones climáticas que predominan en determinada región, inherentes a la realización de un proyecto. En el país hay dos estaciones (invierno y verano), dependiendo de cada estación, así son los procedimientos adoptados para la construcción. Además, son consideradas las condiciones sociales de la población, ya que no es igual construir en la zona urbana que hacerlo en zona rural.

1.16.1.6 OTRAS CONDICIONES CONSTRUCTIVAS

Las condiciones financieras hacen que una obra progrese rápido o se desarrolle lentamente, debido a que el constructor depende del desembolso realizado por la

institución propietaria, y de acuerdo con esto, así será el avance de la obra. Si el constructor dispone de recursos propios, es posible el avance de la obra sin ningún retraso en el tiempo estipulado en el contrato. Lo indicado por la supervisión va determinando el cumplimiento de esto en la realización del proyecto, lo cual conlleva conciliaciones entre contratista, supervisor y propietario; por ejemplo, la calidad de los materiales (hierro y concreto) y el proceso constructivo en cada etapa de la obra.

1.16.2 PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO

1.16.2.1 MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION

Para el Comité de Concreto Presforzado, del ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE), concreto presforzado es el concreto al cual le han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes de las cargas externas dadas, se equilibran hasta un grado deseado.

Tipos de concreto utilizados para el concreto presforzado. Generalmente se requiere un concreto de mayor resistencia para el trabajo de presforzado que para el reforzado. La práctica actual en puentes pide una resistencia, de los cilindros a los 28 días, de 280 Kg/cm² a 350 Kg/cm² para el concreto presforzado, mientras que el valor correspondiente para el concreto reforzado es de 170 Kg/cm², aproximadamente. Un factor por el que es determinante la necesidad de concretos más resistentes, es, que el concreto de alta resistencia está menos expuesto a las grietas por contracción, los cuales aparecen frecuentemente en el concreto de baja resistencia antes de la aplicación del presfuerzo. Es importante, seguir todas las

recomendaciones y especificaciones de cada proyecto, a fin de cumplir con las solicitudes de cargas requeridas. Por lo general, para obtener una resistencia de 350 Kg/cm^2 , es necesario usar una relación de agua-cemento no mayor que 0.45. Con el objeto de facilitar el colado, se necesita un revenimiento de 5cm a 10cm. Para obtener un revenimiento de 7.5 cm con una relación agua-cemento de 0.45 se requerirían alrededor de 10 sacos de cemento por metro cúbico de concreto. Si es posible, un vibrado adecuado⁸, se puede emplear concreto con un revenimiento de 1.2 cm o cero, y serían suficientes poco menos de 9 sacos por metro cúbico de concreto. Puesto que con una cantidad excesiva de cemento se tiende a aumentar la contracción, es deseable siempre un factor bajo de cemento. Con este fin, se hace un vibrado adecuado, siempre que sea posible, y para aumentar la trabajabilidad pueden emplearse ventajosamente aditivos apropiados (ejemplo de ellos se presenta en el capítulo IV).

Tipos de hierro utilizados para el concreto presforzado:

Los alambres redondos que se usan en la construcción de concreto presforzado postensado y ocasionalmente en obras pretensadas se fabrican en forma tal que cumplan con los requisitos de la especificación ASTM A-421, "Alambres sin Revestimiento, Relevados de Esfuerzo, para Concreto Presforzado". Los alambres individuales se fabrican laminando en caliente lingotes de acero hasta obtener varillas redondas. Después del enfriamiento, las varillas se pasan a través de troqueles para reducir su diámetro hasta el tamaño requerido. El proceso de

⁸ Ver tabla 3.9 del capítulo III

estirado, se hace trabajando en frío sobre el acero, lo cual modifica sus propiedades mecánicas incrementando su resistencia. Los alambres se fabrican en cuatro diámetros tal como se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Tipos de alambres, resistencia y porcentajes de elongación.

* Estos tamaños no se suministran comúnmente para el alambre tipo BA. Fuente:

Diámetro nominal (mm)	Mínima resistencia Tracción (kg/cm ²)		Mínimo Esfuerzo para Elongación de 1% (kg/cm ²)	
	TipoBA	Tipo WA	Tipo BA	Tipo WA
4.88	*	176031	*	14082
4.98	16888	176031	13520	14082
6.35	16888	16888	13520	13520
7.01	*	16551	*	13214

www.construaprende.com/Tesis2/CAP2/CAP2_2html

El cable trenzado. Se usa casi siempre en miembros pretensados, y a menudo se usa también en construcción postensada. El cable trenzado se fabrica de acuerdo con la especificación de la ASTM A-416, "cable trenzado, sin revestimiento, de siete alambres, relevado de esfuerzos, para concreto presforzado". Es fabricado con siete alambres firmemente torcidos alrededor de un séptimo de diámetro ligeramente mayor. El paso de la espiral del torcido es de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable. Los cables pueden obtenerse en tamaños desde 6.35 mm hasta 0.60 mm de diámetro, se fabrican en grado 250 y grado 270, los cuales tienen resistencia última mínima de 17551 kg/cm² y 18980 kg/cm² respectivamente,

basadas en el área nominal del cable. La tabla 1.2 muestra las propiedades del cable de siete alambres sin revestimiento.

Tabla 1.2 propiedades elementales que cumplen los alambres sin revestimiento.

Díámetro Nominal (mm)	Resistencia a la Ruptura (kg)		Area Nominal del Cable (mm ²)	Carga mínima para Elongación de 1% (kg)
		Grado 250		
6.35	4082		23.22	3469
7.94	6582		37.42	5582
9.53	9082		51.61	7714
11.11	12255		69.68	10439
12.70	16337		92.90	13898
15.24	24510		139.35	20837
		Grado 270		
9.53	11359		54.84	888
11.11	14071		74.19	11959
12.70	18745		98.71	15929
15.24	26602		140.00	22602

Fuente: www.construaprende.com/Tesis2/CAP2/CAP2_2html

En el caso de varillas con aleación de acero, la alta resistencia que se necesita se obtiene mediante la introducción de elementos de ligazón, principalmente manganeso, silicón y cromo, durante la fabricación del acero. Las varillas son fabricadas de tal forma que cumplan con los requisitos de la especificación de la ASTM A-277, "varillas de acero de alta resistencia, sin revestimientos, para concreto presforzado". Las varillas de acero de aleación son fabricadas en diámetros que varían de 12.7mm hasta 34.93mm de diámetro y en dos grados,

grado 145 y grado 160, teniendo resistencias últimas mínimas de 10204 kg/cm² y 11224 kg/cm², respectivamente, tal como se muestra en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Resistencia y carga mínima para diversos diámetros de varilla de acero.

Diámetro Nominal (mm)	Area Nominal de la Varilla (mm ²)		Resistencia a la Ruptura (kg)	Mínima Carga para Elongación de 0.7 % (kg)
		Grado 145		
12.70	127		12755	11326
15.88	198		20408	18163
19.05	285		29082	26326
22.23	388		39490	35408
25.40	507		51735	46326
28.58	642		65408	58571
31.75	792		80816	72653
34.93	958		97653	87653
Diámetro Nominal (mm)	Area Nominal de la Varilla (mm ²)		Resistencia a la Ruptura (kg)	Mínima Carga para Elongación de 0.7 % (kg)
		Grado 160		
12.70	127		14082	12245
15.88	198		22245	19490
19.05	285		32245	28163
22.23	388		43571	38163
25.40	507		57245	50000
28.58	642		72245	63163
31.75	792		88980	78061
34.93	958		108061	94490

Fuente: www.construaprende.com/Tesis2/CAP2/CAP2_2html

1.16.2.2 ELEMENTOS DE SUSTENTACION

El concreto es un material que trabaja esencialmente a compresión. La resistencia a la compresión en el concreto representa aproximadamente el 10% de la

compresión. Consecuentemente, el presfuerzo del concreto implica naturalmente, la aplicación de una carga de compresión previa a la aplicación de las cargas previstas en la etapa de diseño, de manera que se reduzcan y hasta eliminen los esfuerzos de tensión que de otra forma ocurrirían.⁹ Actualmente las estructuras se diseñan admitiendo cierto grado de tensión, e incluso agrietamiento limitado en el concreto. Variando los niveles de presfuerzo parcial se puede controlar el número y ancho de las grietas en el concreto, así como las deflexiones de los miembros presforzados. De esta forma, los altos esfuerzos de tensión se inducen al hierro antes de que se transmitan al concreto, evitando el agrietamiento masivo en la estructura.

EQUIPO HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA

El equipo, máquinas y herramientas utilizadas con tecnología sofisticada lleva, consecuentemente, a disponer de personal humano que pueda manejar las máquinas y que tenga conocimientos especializados en la tecnología requerida. En la construcción son utilizados, cimbras deslizantes, gatos hidráulicos, manómetros, grúas de gran capacidad, carros especializados para las cimbras móviles en tierra y programas sofisticados para la elaboración del concreto.

1.16.2.3 COSTO DE LA TECNOLOGIA UTILIZADA

Con la construcción de puentes presforzados, se aprovechan al máximo las características de los materiales, es decir, la alta capacidad de resistencia a la compresión del concreto, y el elevado valor resistente a la tracción del hierro de

⁹ Arthur H. Nilson. Diseño de estructuras de concreto presforzado. Editorial LIMUSA, México D.F, 1982

refuerzo, alambres o cables, se eliminan esfuerzos indeseables en una estructura, introduciendo en ella fuerzas artificiales que se opondrán a las deformaciones creadas por las cargas externas. La eliminación de esos esfuerzos, trae consigo un ahorro notable de hierro de refuerzo y concreto. Resultan económicos en construcción de claros medianos cuando no se dispone de suficiente espacio para la utilización de equipo para el colado “in situ”, cuando se requiere optimizar el tiempo de construcción y se construyen claros continuos. Algunos inconvenientes de esta tecnología es la falta de disponibilidad, en el país, de materiales tales como los apoyos de neopreno, cables, torones; equipo como gatos hidráulicos, los cuales hay que importarlos. Sin embargo, aunque la inversión inicial puede ser mayor que la inversión en puentes de concreto, finalmente se optimizan recursos, tiempo y costos.

1.16.2.4. CONDICIONES DEL SITIO DE LA OBRA.

El contrato de construcción de puentes considera la época de lluvia y el verano con respecto a los tiempos de realización, la construcción en el sitio o la prefabricación de los elementos para disponerlos en el lugar, en el momento justo de su instalación.

1.16.2.5 OTRAS CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS.

La supervisión de los procesos constructivos lleva el control de calidad, tal como lo establezcan las especificaciones técnicas del proyecto; el constructor y el supervisor, se apegarán para la consecución de la buena obra.

1.17 COSTOS, PRESUPUESTO Y BENEFICIOS EN LOS PROYECTOS DE PUENTES

La construcción de puentes considera lo económico, seguridad y estética, preferentemente; en lo posible, se hace uso intensivo de los materiales locales, así como de los recursos humanos disponibles en el lugar de la obra, tal que el proyecto no se recargue en costo y no se transformen en antibenéficos para el futuro, se logre factibilidad del proyecto, y predominancia de beneficios en el transcurso de su vida útil. El presupuesto de construcción de un puente (ver tabla 1.4) tiene sus propias partidas, varían de un proyecto a otro. La tabla 1.4 ilustra un resumen de las partidas principales en el presupuesto del puente vehicular sobre el río Julupe, colonia Atonalt Departamento de Sonsonate.

Tabla 1.4 Presupuesto del puente sobre el río Julupe, departamento de Sonsonate.

Partida de pago	Descripción
1.0	Demoliciones, desalojos y talas
1.1	Demolición de muro de mampostería
1.2	Desmontaje y demolición de pasarela
1.3	Demolición de gradas
1.4	Demolición de cordón cuneta
1.5	Demolición de adoquinado existente
1.6	Demolición de rampa de concreto
1.7	Corte y desalojo de árboles
2.0	Terracerías, trazo y nivelación
2.1	Limpieza y chapeo
2.2	Trazo y nivelación lineal

2.3	Trazo por unidad de área
2.4	Trazo para pozo
2.5	Excavación en material blando hasta 1.50 m
2.6	Relleno compactado con suelo cemento 20:1
3.0	Concreto estructural y rodajes
3.1	Estribos de concreto
3.2	Cabezales de estribo de concreto reforzado
3.3	Aceras peatonales sobre puente
4.0	Partes de losa principal
4.1	Vigas pretensadas tipo PreCon "T"
4.2	Diafragmas
4.3	Juntas de dilatación
5.0	Tubería y pozos
5.1	Tubería de concreto de 24" y 18"
5.2	Sellado de tubería existente en pozo de A. LL.
5.3	Fundación para pozo de A. LL.
6.0	Mampostería
6.1	Muros de mampostería para aletones y terraplenes
7.0	Electricidad
8.0	Otros

1.18 CONCLUSIONES.

Es necesario actualizar la tecnología y las técnicas a usar en la construcción de los puentes y hacer apropiada aplicación de las normas técnicas en los métodos y procesos de construcción concordantes con los costos, presupuesto y beneficios.

Consecuentemente, el recurso humano para ser competitivos en el desarrollo tecnológico y de país; se requiere buena de calidad de las obras y rendimientos de inversión requeridos.

Las ventajas que se tienen con la tecnología que actualmente se aplica, en la construcción de puentes son, desde el punto de vista estrictamente tecnológicas y del funcionamiento.

CAPITULO II

ESTUDIOS Y REQUISITOS EN PUENTES DE CONCRETO

CAPITULO II

ESTUDIOS Y REQUISITOS EN PUENTES DE CONCRETO

2.1 INTRODUCCION

El proyecto, diseño y construcción de puentes, se apega a criterios como seguridad, funcionabilidad y factibilidad, establecidos en normas y reglamentos, con el propósito que las construcciones no representen peligro alguno. El código de Hammurabi, Rey de Babilonia, año 2,400 A.C., fue el primer reglamento que apareció para controlar las construcciones, el cual establecía normas estrictas, pero sólo se refería a resultados, sin mencionar detalles ni métodos¹⁰. En la actualidad, las normas y reglamentos proporcionan requisitos mínimos de los detalles estructurales y métodos de análisis y proyecto o previenen el funcionamiento de las estructuras. El diseño de puentes está basado en datos o información meteorológica, agronómica, geológica, topográfica, geotécnica y económica. De ahí que sea importante el criterio del proyectista, sobre todo, en casos muy particulares del diseño, construcción o funcionamiento, además, la experiencia y conocimiento de los sistemas constructivos que se puedan adaptar en las soluciones atípicas.

¹⁰ White, Gergely, Sexsmith. Ingeniería Estructural. Vol. 1 Pág. 68.

2.2 SISTEMA ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES

Es la estructura conjuntamente articulada como unidad, que resiste las cargas aplicadas transmitiendo las fuerzas a través de cada componente del sistema hasta llegar al suelo de cimentación. Algunos sistemas estructurales utilizados en el diseño y construcción de puentes son marcos, arcos, armaduras, cables colgantes, viga continua, viga en cada claro, articulados desmontables o bailey; otros conceptualmente son los llamados “integrados”.

2.2.1 BASES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS PUENTES

El proyecto de un puente se apoya en los siguientes elementos:

- Información de ingeniería básica: estudios que se requieren para la concepción (arquitectura y estructuración adecuada) al caso de interés para las alternativas de diseño del proyecto y los estudios a realizar, topográficos, hidráulicos, hidrológicos, geológicos, geotécnicos, de trazo del eje, etc.
- Dimensiones y las características de detalle del proyecto considerando normas y reglamentos vigentes, como la especificación y existencia de los materiales.

Se hace que el diseño del sistema estructural responda adecuadamente a las cargas impuestas y a los materiales disponibles.

Los siguientes aspectos serán considerados:

- Definición de necesidades y especificaciones de objetivos (planeación general), por ejemplo, desarrollar comercio con otras comunidades o explotar algún recurso natural que se encuentre en un lugar inaccesible, se determinan los objetivos del diseño del puente, carretera o presa; se establece

la finalidad general de las instalaciones necesarias para satisfacer los requisitos; se investiga el financiamiento del proyecto y se valora la justificación de la obra que se plantea.

- Alternativas para la solución. Se proponen diferentes sistemas estructurales que sean (formas) adecuadas para el caso. Es necesario, entender los procedimientos de construcción para realización satisfactoria, al costo previsible.
- Evaluación de las alternativas (análisis). Se hacen valoraciones entre alternativas con cualidades semejantes donde se determinen ventajas de cada una con relación a los requerimientos del proyecto, procesos de construcción, costos y estética.
- Proyecto o ingeniería del proyecto, es el resultado de la determinación de las propiedades de los miembros, conexiones y ensayo de las dimensiones preliminares del sistema estructural elegido. En esta etapa, se hacen modificaciones y correcciones en el diseño.
- Realización. Es el proceso de construcción del proyecto; en esta etapa se termina y evalúa el diseño ya que durante el proceso, generalmente, se hacen correcciones o modificaciones que permiten completar la construcción.

2.2.1.1 CRITERIOS A SEGUIR EN EL DISEÑO DE PUENTES

Algunos criterios que se siguen en el diseño de puentes son:

- Dimensionar racionalmente la longitud de la estructura suficientemente larga respecto a los límites más extendidos de la rivera del cauce en el punto de

emplazamiento en la historia del mismo, para no restringir el cauce el mayor desborde o inundación.

- Reducir al mínimo, el número de pilastras que queden en el cauce mismo del río.
- Disponer de suficiente altura sobre el cauce, altura libre, respecto al nivel de aguas máximas extraordinarias a fin de evitar que en las crecidas máximas el agua alcance el nivel inferior de las vigas del puente. se controla el tirante crítico, tirante de diseño o para el periodo de duración esperado, incluyendo el azolve debajo del tablero o en proximidades aguas arriba y aguas abajo inmediatas al puente.
- En las aproximaciones, dejar tramos con la rasante a menor altura que la parte inferior de las vigas para que por estos sitios desborden las aguas en caso de inundaciones.
- Previo al diseño de la cimentación, efectuar sondeos exploratorios del suelo, a profundidad adecuada para verificar el tipo y calidad del subsuelo existente de los estratos subyacentes a la superficie.
- Cimentar zapatas a profundidad mínima de cinco metros bajo el cauce del río o según indique el estudio geológico geotécnico y las recomendaciones del estructurista.
- En caso de cimentación sobre pilotes, su empotramiento mínimo será de 0.50 m dentro de las zapatas; además, descubrir el hierro de refuerzo de la parte superior de los pilotes para poder anclarlo al hierro de refuerzo de la zapata.

El lecho de cimentación tendrá las características competentes de soporte de todas las cargas transmitidas sobre lecho rocoso o siendo altamente consolidado a generar la función suficiente para buen funcionamiento.

- Dejar el fondo de las zapatas a 3 m mínimos abajo del lecho del cauce, en el caso de cimentación sobre pilotes.
- Diseñar pilastras circulares por ser más favorables en el caso de corrientes divagantes y turbulentas.
- En las pilastras, el diámetro mínimo es de 1.50 m.
- Evitar en lo posible pilastras tipo caballete.
- Construir estribos cerrados con alas suficientemente largas para protegerlos de la erosión y socavación y disminuir su altura hasta que intercepten las orillas exteriores de los espaldones.
- Unir los diafragmas del tablero monolíticamente con las vigas; en vigas prefabricadas los diafragmas son anclados a ellas.
- Los anclajes para dar unidad al sistema estructural en los elementos donde se requiera no siempre están referido a que éste quede monolíticamente unido.
- En todo diseño de puentes se realiza estudio hidrológico e hidráulico y de impacto ambiental.
- Utilizar losas de aproximación a cada lado del puente.
- Los puentes de poca longitud (menor que 50 m) cuentan con la anchura total de la calzada, incluyendo los espaldones y llevan además guarda-caminos en ambas aproximaciones.

- Cuando las pendientes en los taludes de relleno sean de 1 ½:1, estos se suavizan a 2:1.
- Cuando el cauce del río tienda a ser socavado por la corriente del agua, por ejemplo, se construye una plancha de concreto sobre el cauce bajo el área del puente, con dientes de protección, aguas arriba de la plancha.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL DISEÑO DE PUENTES

Una estructura se diseña y construye para que sea capaz de soportar todas las acciones (fuerzas, deformaciones o aceleraciones) que puedan solicitarla durante su construcción y uso en el período de vida útil previsto, y cumplir la función para la que ha sido construida con costos de mantenimiento aceptables. Así como también, para que las consecuencias de acciones excepcionales, como sismos o impactos, no produzcan daños desproporcionados por la causa que los ha originado.

El diseño estructural¹¹ y construcción de un puente considera factores como la forma y tamaño de este, y supone el previo conocimiento de todas las acciones a soportar y la aplicación de métodos de análisis estructural para llegar a establecer las dimensiones que conformen la estructura final del puente. Así, las cargas dinámicas por viento, son importantes en puentes de gran longitud, con poca rigidez, como los puentes colgantes, mientras la presión estática equivalente por viento es importante en puentes metálicos de celosía; la fuerza

¹¹ Es importante que el diseño estructural tenga un modelo de base, el cual sirve de pauta más importante par las demás conceptualizaciones que se hagan, donde se prevea la reconstrucción real del puente respecto a métodos, técnicas, procesos constructivos y demás detalles de realización de la obra; consecuentemente obtener un prototipo acorde al modelo previsto coherentemente.

centrífuga es importante en puentes de eje curvo, la presión hidrodinámica es importante en puentes sobre ríos correntosos, con pilas intermedias, las palizadas son importantes en puentes con pilas intermedias ubicadas a distancias pequeñas entre sí. En general, es importante conocer cargas y fuerzas y sus posibles combinaciones, debido a carga muerta, carga viva, impacto o efecto dinámico de la carga viva, cargas por viento, carga sísmica. Otras fuerzas, cuando existan, son las fuerzas longitudinales debidas a la aceleración o frenado de los vehículos, fuerza centrífuga, presente en puentes con curvatura en planta; fuerzas resultantes de las deformaciones térmicas y por contracción del concreto; empujes de tierra; empuje hidrodinámico del agua, proveniente de la velocidad con que circula el agua por los cauces de río o de la velocidad con que impacta el agua de mar; fuerzas de flotación, al sumergir en agua componente del puente, como las pilas centrales; fuerzas resultantes de las palizadas provocadas por la acumulación de restos vegetales en épocas de máximo caudal que actúan sobre tablero, pilas y estribos; esfuerzos de montaje o de instalación, ver anexo 1. Algunos factores que determinan el tipo de acciones sobre un puente son, el tipo de puente, su geometría, materiales de construcción, el uso para el que ha sido proyectado, el sitio en que se va a construir la estructura.

2.2.2.1 CARGA MUERTA

La carga muerta, está constituida por el peso propio de la estructura, incluyendo la carpeta asfáltica, aceras, parapetos, tuberías, conductos, cables y demás instalaciones para servicios públicos. Cuando, al construir el puente, se coloque

sobre la carpeta, una capa adicional para desgaste, o cuando se piense ponerla en el futuro, esta se toma en cuenta al calcular la carga muerta, este factor es particularmente importante en las regiones en donde se requiera el uso de cadenas sobre las llantas, o llantas con grapas para la nieve. Para calcular la carga muerta se asignan los siguientes pesos volumétricos. (Ver la tabla 2.1)

Tabla.2.1 Pesos volumétricos para calcular la carga muerta.

DESCRIPCION	PESO VOLUMETRICO
Hierro fundido	7,800 Kg/m ³
Aleaciones de aluminio	2,800 Kg/m ³
Madera (tratada o sin tratar)	800 Kg/m ³
Acero estructural	7,850 Kg/m ³
Concreto simple	2,300 Kg/m ³
Concreto reforzado	2,400 Kg/m ³
Arena, tierra, grava o balasto compactados	1,920 Kg/m ³
Arena, tierra o grava suelta	1,600 Kg/m ³
Macadam o grava compactadas con aplanadora	2,240 Kg/m ³
Relleno de escorias	960 Kg/m ³
Pavimento (excluyendo adoquinado de madera)	2,300 Kg/m ³
Vía de FF.CC. (riel, guardariel, accesorios de vía)	3,200 Kg/m ³
Mampostería	2,720 Kg/m ³
Tablón asfáltico de 2.5 cm de espesor	22 Kg/m ²

2.2.2.2 CARGA VIVA O CARGA VIVA MOVIL DE LOS PUENTES

La carga viva consiste en el peso de la carga móvil aplicada, se expresa en términos de carriles de diseño y carriles de carga. El número de carriles de diseño depende del ancho de las carreteras. Cada carril de carga está representado por un

tipo de camión con remolque o como una carga uniforme de 10 pies de ancho en combinación con una carga concentrada.

La A.A.S.H.T.O. (American Association of State Highway and Transportation Officials) define diversos tipos de cargas móviles que actúan sobre los diferentes componentes de los puentes como sigue, camiones de 2 ejes (H20-44, H15-44), camiones de 3 ejes (HS15-44, HS20-44) y cargas distribuidas equivalentes al flujo vehicular, con eje de cargas concentradas como otro tipo de carga móvil. Así, mientras los camiones de carga idealizados simulan el efecto de la presencia de vehículos sumamente pesados de dos y tres ejes, la carga distribuida equivalente, simula el efecto de un congestionamiento vehicular sobre el puente. Ambos tipos de cargas móviles se presupone que actúan en el puente sobre un carril de 10 pies (3.05 m) de ancho.

Cargas móviles. Los camiones tipo H tienen dos ejes y el número que le sigue en la denominación, indica el peso total del camión cargado, en toneladas inglesas. Así el camión H20 pesa 20 toneladas equivalentes a 18.14 toneladas métricas donde cada rueda del eje posterior concentra el 80% de la carga de referencia ($0.8 \times 20,000 \text{ lb} = 16,000 \text{ lb}$), mientras cada rueda del eje delantero concentra el 20% de la carga de referencia ($0.2 \times 20,000 \text{ lb} = 4,000 \text{ lb}$). La carga de referencia del H20 es de 20,000 libras. El Eje de ruedas, longitudinal, pesa 20,000 libras, siendo éste el origen de su identificación numérica.

Los camiones HS son vehículos tipo camión y semiremolque, con dos ejes en el primero y un eje en el segundo. El número que sigue la denominación HS es el

peso del tractor en toneladas inglesas. Cada rueda de cada eje posterior concentra el 80% de la carga de referencia ($0.8 \times 20,000 \text{ lb} = 16,000 \text{ lb}$), mientras cada rueda del eje delantero concentra el 20% de la carga de referencia ($0.2 \times 20,000 \text{ lb} = 4,000 \text{ lb}$). La carga de referencia es de 20,000 libras. En la práctica, el camión HS20-44 es un HS20 al que se le ha añadido un tercer eje transversal de iguales características al eje transversal más pesado. El HS20-44 es el camión para el diseño de los puentes para autopistas y carreteras de primero, segundo y tercer orden, aunque ocasionalmente pueden utilizarse camiones menos pesados para vías de comunicación internas en grandes extensiones privadas. Cada carril del puente (de 10 pies de ancho) es cargado con un camión HS20-44, ubicado en distintas posiciones para obtener el efecto máximo sobre cada elemento del puente. Generalmente, el tren de cargas concentradas HS20-44 domina el diseño de los elementos estructurales con distancias, entre apoyos, pequeñas y moderadas, en vigas y losas longitudinales hasta 35 m de luz. Para grandes luces, las cargas distribuidas equivalentes son las que definen el diseño.

Carga distribuida equivalente y eje transversal de carga concentrada. A través de la carga distribuida equivalente y del eje transversal de carga concentrada se modela el efecto de un congestionamiento vehicular sobre el puente. Al igual que los camiones de carga, se supone que la carga distribuida actúa sobre un ancho de carril de 10 pies. Este tipo de carga se utiliza para diseñar los elementos de desarrollo longitudinal de los puentes, así como los elementos de apoyo de tales elementos longitudinales. El Código de la A.A.S.H.T.O. establece que todos los

elementos estructurales se diseñen para soportar tanto los camiones de carga como las cargas distribuidas equivalentes. Existen varios tipos de sobrecargas que se utilizan en el diseño de puentes los cuales son especificados en reglamentos y normas siguientes: AASHTO Estándar: HS20, HS15; (Ver Fig. 2.1 y Fig. 2.2); AASHTO LRFD: HL-93; (ver Fig. 2.3); Reglamento Francés: Sistema A, C-30; Reglamento Mexicano: T3S3, T3-S3-R4.

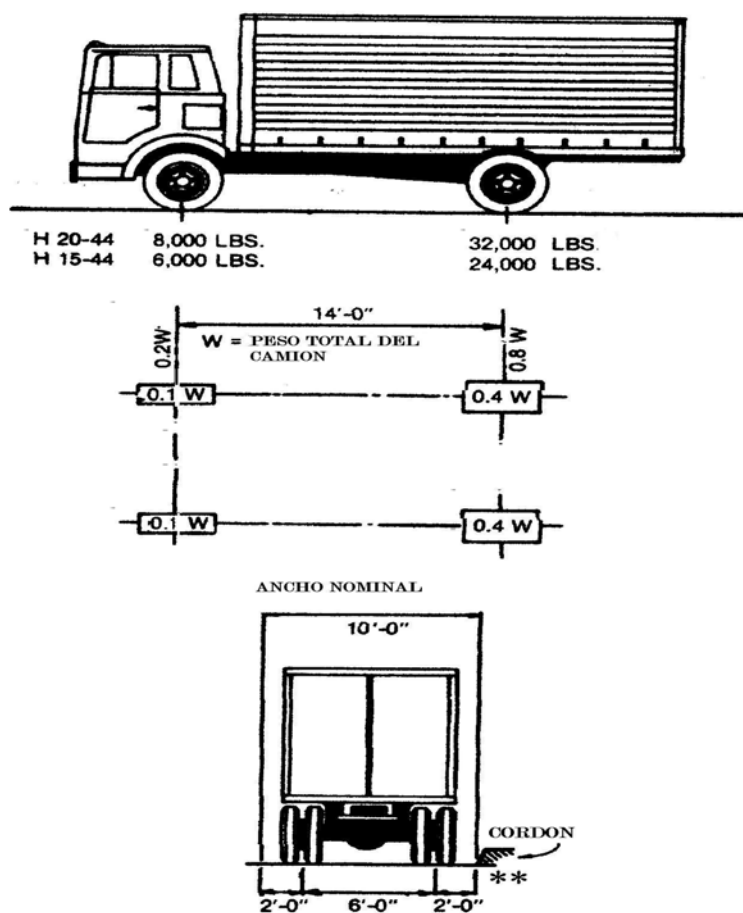
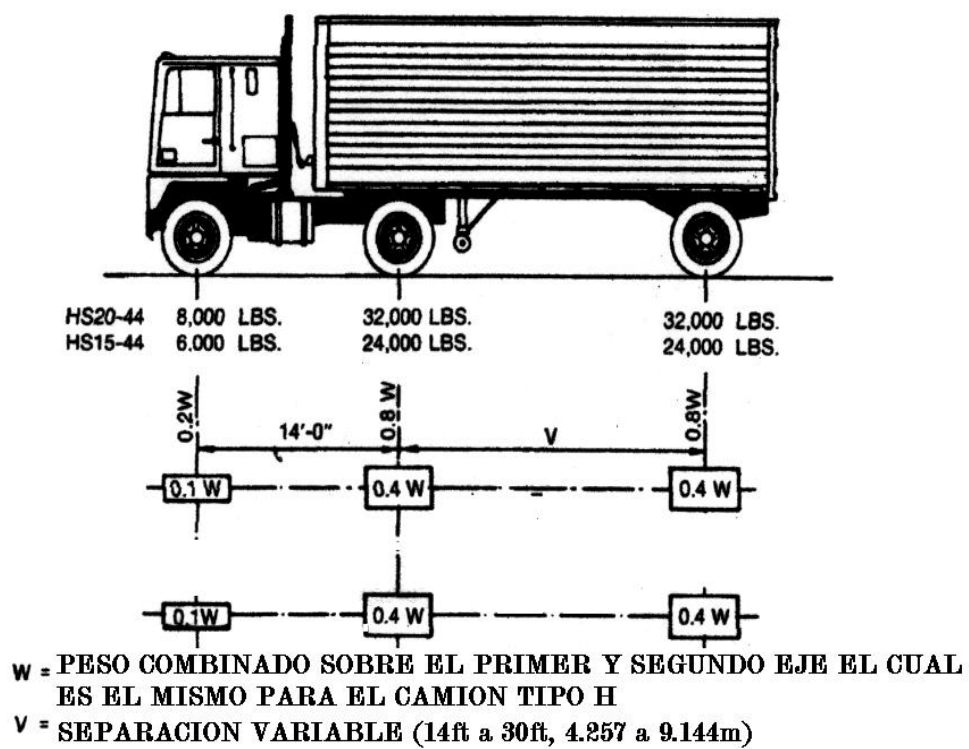


Figura 2.1 Camión tipo H20 y H15



ANCHO NOMINAL

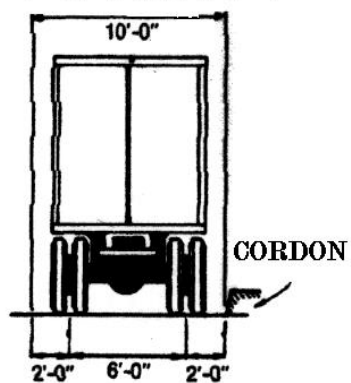


Figura 2.2 Camión tipo HS20 y HS15



Figura 2.3 Camión tipo HL93

2.2.2.3 CARGAS PARA CALZADAS

Los elementos portantes y piezas de puentes se diseñan con la carga de camión HS-20, tomando como carga de diseño la que produzca las mayores condiciones de carga de acuerdo con la distribución de claros.

2.2.2.4 CARGAS PARA ACERA

Los pisos, largueros y apoyos inmediatos a las aceras, se proyectan para carga viva de 415 Kg/m². Las vigas de sección compuesta, armaduras, arcos y otros miembros, se proyectan para las siguientes cargas vivas sobre la acera:

Claros de hasta 7.62 m de longitud 415 Kg/m²

Claros de 7.62 m a 30.48 m de longitud293 Kg/m²

Claros mayores que 30.48 m de longitud, de acuerdo con la Ecuación 2.1:

$$P = [(146.46 + (4,464.48 / L) + (1,676 - A)] / 15.24 \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

P: Carga viva por metro cuadrado con un valor máximo de 293 Kg/m².

L: Longitud de acera cargada, en metros.

A: Ancho de acera, en metros.

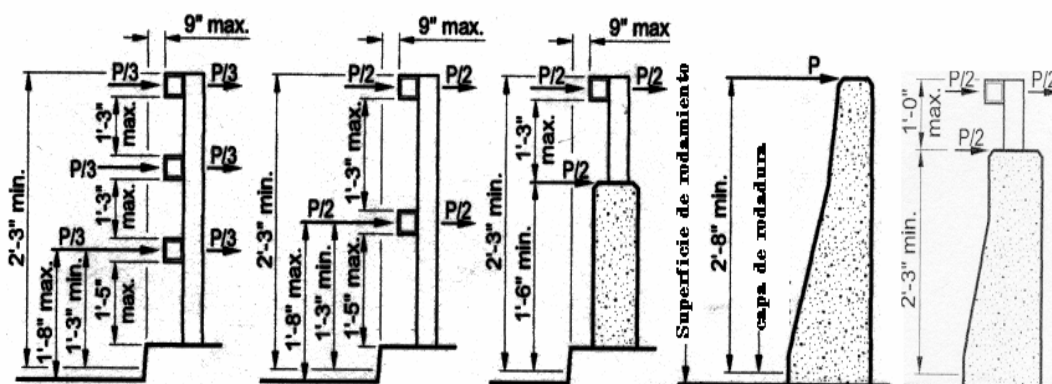
Al calcular los esfuerzos en estructuras en voladizo, que soporten las aceras, se considera la acera cargada completamente en un solo lado de la estructura, si esa condición es la que producirá los esfuerzos máximos en la misma.

2.2.2.5 CARGAS PARA GUARNICIONES

Las guarniciones, comúnmente conocidas como cordones, se proyectan para que resistan una fuerza lateral no menor que 774 Kg por metro lineal de guarnición, aplicada en la parte superior de la guarnición, o a 0.25m arriba del piso, si la guarnición es mayor que 0.25 m

2.2.2.6 CARGAS SOBRE PARAPETOS

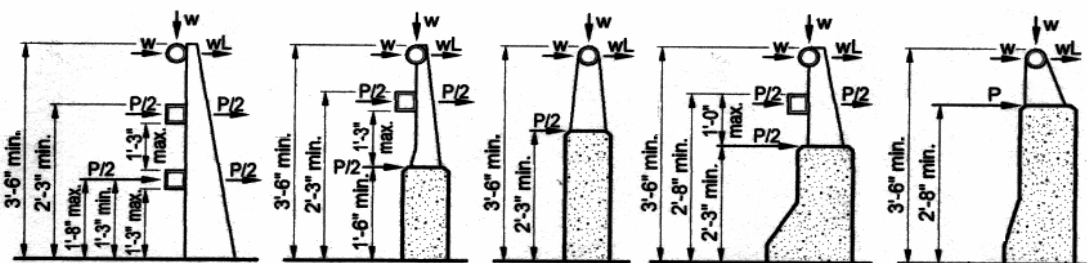
1) Parapetos para calzadas. Las piezas del parapeto se proyectan para resistir una fuerza lateral horizontal (P) de 4,536 Kg dividida entre los diversos miembros situados a 0.38m o más, arriba del piso del puente (o en remate de la guarnición con un ancho mayor que 0.15 m.). Todos los miembros entre los que se distribuya esta carga lateral, tendrán sus caras del lado de la calzada, en un plano vertical común que pase 2.5 cm del extremo. Los miembros del parapeto que se encuentren a más de 0.25 m de este plano, o a menos de 0.38 m arriba del piso del puente (o en el remate de la guarnición con un ancho mayor que 0.15 m), se proyectan para resistir una carga lateral igual a la aplicada en los parapetos para calzada adyacentes, siempre que esa carga no sea mayor que 2,268 Kg. (ver figura 2.4)



Usar cuando no exista cordón o su altura sea de 9" sobre la capa de rodadura

Figura 2.4 Baranda Vehicular

- 2) Parapetos para acera. Los parapetos para aceras se proyectan para resistir una carga mínima (W) de 7,404 Kg por metro lineal, aplicada simultáneamente, tanto en sentido transversal como en sentido vertical, sobre los miembros longitudinales del parapeto. Quedan excluidos de estos requerimientos los miembros que se hallen colocados a más de 1.54 m arriba de la acera. Los postes se proyectan para resistir una carga transversal, que actúa en el centro de gravedad del barrote superior, o a una altura máxima de 1.54m arriba de la acera, cuando se trate de parapetos altos. Ver figura 2.5 y 2.6.



Usar cuando el cordón se proyecta mayor que 9" sobre la capa de rodadura.

Figura 2.5 Combinación de baranda vehicular y peatonal

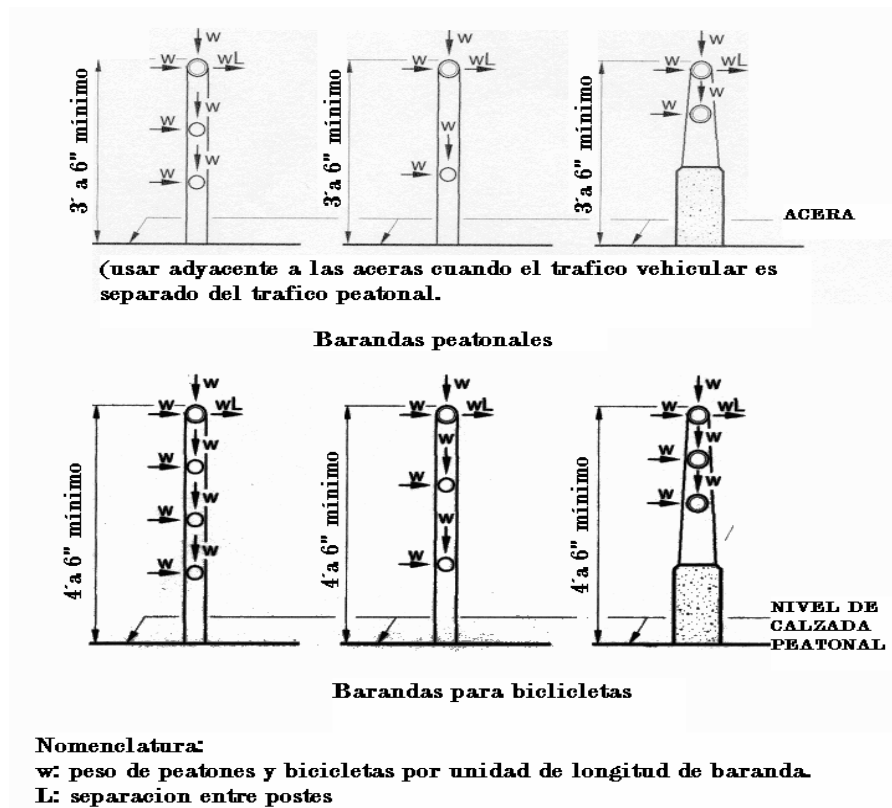


Figura 2.6 Tipos de barandas peatonales

2.2.2.7 CARGAS DE IMPACTO

Se deben al efecto dinámico de las cargas de un vehículo pasando sobre la estructura. En las estructuras comprendidas en el grupo A, los esfuerzos por carga viva producidos por las cargas H y HS, se incrementan de acuerdo con la formula de impacto (Ecuación 2.2), efectos dinámico, desviaciones e impacto. El impacto no se aplica a los elementos del grupo B. Estos son:

- Grupo A. Lo constituyen las partes de la estructura que se prolonguen hasta la cimentación principal, incluyendo columnas de acero o de concreto, torres de acero, columnas de marcos rígidos, y la parte de los pilotes de concreto o de acero que sobresalgan del nivel del terreno y que se hallen rígidamente

conectados a la superestructura, ya sea formando marcos rígidos o como parte de la estructura misma.

- Grupo B. Constituido por estribos, muros de contención, pilas, pilotes (exceptuando lo especificado en el grupo A), cimentaciones y presiones en las cimentaciones, estructuras de madera, cargas para aceras, alcantarillas y estructuras que tengan un colchón de tierra de 0.91 m de espesor o mayor.

La cantidad permisible en que se incrementan los esfuerzos se expresa como una fracción de los esfuerzos por carga viva, y se determinan con la formula siguiente:

$$I = 50 / (L + 125) \quad \text{(Ecuación 2.2)}$$

Donde:

I: Impacto, en porcentaje (máximo 30%).

L: Longitud, en metros, de la parte del claro a cargar para producir el máximo esfuerzo en el miembro.

Para uniformizar la aplicación de la formula de impacto, la longitud cargada, "L", se considera como sigue:

- En pisos de calzada, emplear la longitud del claro marcada en el proyecto.
- En miembros transversales, tales como piezas de puente, usar la longitud del claro del miembro, entre centros de apoyo.
- Para calcular momentos debidos a cargas de camión, se usa la longitud del claro.
- Tramos en voladizo, se usa la longitud desde el centro de momentos hasta el eje más alejado del camión.

- Para esfuerzo cortante debido a cargas de camión, se usa la longitud de la parte cargada del claro, desde el punto en consideración hasta la reacción más alejada. Para tramos en voladizo, considerar el 30%.
- En claros continuos, emplear la longitud del claro considerado, para momento positivo y para momento negativo, el promedio de los dos claros adyacentes cargados.

2.2.2.8. FUERZAS LONGITUDINALES

Las fuerzas longitudinales se producen por la aceleración o frenado de los vehículos y se considera el efecto de una fuerza longitudinal como el 5% de la carga viva en todos los carriles destinados al tránsito en una misma dirección; a los puentes cuyo tránsito pueda llegar a ser en una sola dirección, se les considerará cargados en todos sus carriles.

2.2.3 PARAMETROS QUE UTILIZA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PUENTES

2.2.3.1 ESPACIAMIENTO ENTRE PILAS, ORIENTACION Y TIPO

Las pilas de un puente se ubican de acuerdo con requerimientos de navegación, sin que estas produzcan la mínima obstrucción a la corriente de agua a su paso. En general, se colocan paralelamente a la dirección de la misma en épocas de avenidas. Para dar paso a los materiales de arrastre y a los hielos, los claros del puente y el espacio libre vertical tienen la amplitud adecuada, de acuerdo con el tipo de pila. En caso necesario emplear desviadores de materiales de arrastre.

2.2.3.2 ANCHO DE CALZADAS Y ACERAS

El ancho de la calzada será el ancho libre entre las partes inferiores de las guarniciones medida respecto al eje longitudinal del puente; si las guarniciones no existen, el ancho libre será la distancia mínima entre las caras interiores del parapeto del puente. El ancho de la acera será el ancho libre entre la cara interior del parapeto y la parte extrema de la guarnición o guardarruedas exterior medida respecto al eje longitudinal del puente, salvo que exista una armadura, viga o parapeto adyacente a la guarnición, en cuyo caso, el ancho se medirá hasta la orilla exterior de la acera. La cara de la guarnición se define como el paramento interior, vertical o inclinado de la propia guarnición. Las dimensiones horizontales del ancho de la calzada y de la guarnición se toman desde la base, o desde la base del paño inferior, si se trata de guarniciones escalonadas. El ancho máximo de las guarniciones redondeadas será de 0.23 m En los tramos de acceso con guarnición y cuneta, ya sea en uno o en ambos extremos del puente, la altura de la guarnición del puente coincide con la de acceso, o preferentemente es mayor. Cuando no se asignen guarniciones en el acceso, la altura de la guarnición en el puente no será menor que 0.20 m y de preferencia no mayor que 0.25 m Cuando se requieran aceras para el tránsito de peatones en las vías rápidas, urbanas, estos se aíslan de la calzada del puente por medio de parapetos.

2.2.3.3 GALIBOS.

A) De navegación. La autorización para la construcción de un paso sobre una vía navegable, se obtiene de la comandancia de la guardia costera y demás

autoridades competentes, excepto los que por su categoría sean autorizados por la comandancia.

B) Vehicular. Para la circulación de vehículos, el gálibo horizontal será el ancho libre, en tanto que el gálibo vertical será la altura libre, tal como se muestra en la figura 2.4. siguiente:

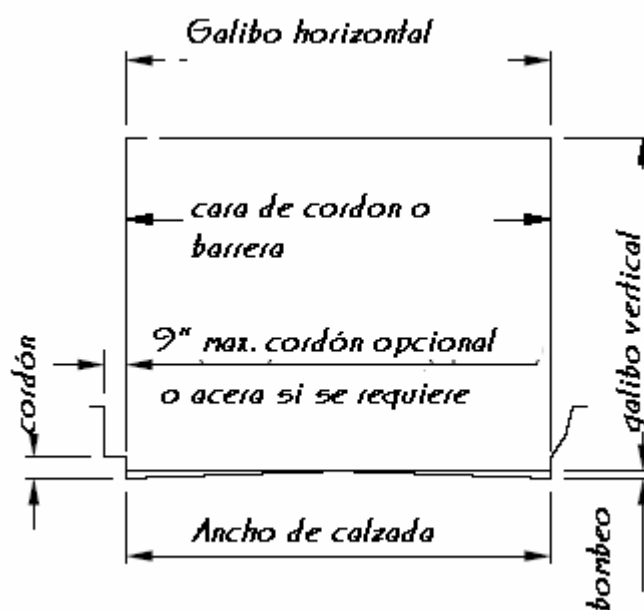


Figura 2.7 Diagrama de Galibo Vertical y Horizontal

2.2.3.4 PARAPETOS

Los parapetos se instalan en ambos lados de la estructura del puente para protección tanto del tránsito como de los peatones, cuando existan aceras. En los puentes que no pertenezcan a vías rápidas urbanas y que dispongan de aceras adyacentes a las calzadas, se instala entre estas dos, el parapeto o barrera para calzada, además de un parapeto para acera en el lado exterior.

A) Parapetos para calzada. Aunque el propósito principal de los parapetos para calzada es controlar el tránsito que circula por la estructura, se toman en cuenta otros factores, como la protección de los ocupantes del vehículo en caso de colisión, los peatones que circulan en el puente, la buena apariencia y la suficiente visibilidad para los vehículos que lo transiten. Los materiales empleados en los parapetos para calzada serán: concreto, hierro o una combinación de ellos. La altura del parapeto para calzada no será menor que 0.69 m, medida desde la corona de la calzada, o guarnición, al remate superior del parapeto.

B) Parapetos para aceras. Los elementos de los parapetos se calcularán de acuerdo con el tipo y volumen del tránsito de peatones calculado en el proyecto, tomando en cuenta la buena apariencia, seguridad y suficiente visibilidad por parte de los conductores. Los materiales empleados en estos parapetos serán: concreto, hierro o una combinación de estos materiales. La altura mínima será de 0.91 m (preferentemente 1.07 m), medida desde la superficie de la acera hasta el remate del barrote superior del parapeto.

2.2.3.5 SOBREELEVACION EN PUENTES CURVOS

En un puente sobre una curva horizontal, la sobreelevación se da de acuerdo con las especificaciones establecidas para la construcción de la vía, pero en ningún caso excede al 10% del ancho de la calzada.

2.3 ESTUDIOS QUE SE REALIZAN EN EL PROYECTO DE PUENTES

2.3.1 HIDROLOGIA E HIDRAULICA

2.3.1.1 INTRODUCCION

Estos estudios tienen los objetivos siguientes: establecer la correcta ubicación del cruce; caudal máximo de diseño en la ubicación del cruce; hidráulica del río en un tramo que comprende el cruce; área de flujo que confinará el puente; nivel máximo extraordinario, del agua, en la ubicación del puente; nivel mínimo recomendable para la ubicación del tablero del puente; profundidades de socavación general, por contracción y local; profundidad mínima recomendable según el tipo de cimentación; obras de protección necesarias y las provisiones para la construcción del puente en función de los niveles de seguridad o riesgos permitidos o aceptables para las características particulares de la estructura. Para hacer el informe de los correspondientes estudios, se recopila la información a través de trabajo de campo y de gabinete, los cuales se incrementarán en la medida que lo requiera, por ejemplo, el proyecto, la longitud del puente, el nivel de riesgo considerado y el propietario.

2.3.1.2 ESTUDIO HIDROLOGICO

El estudio hidrológico permite conocer las cantidades de agua, caudal, que fluyen superficialmente en un área de recogimiento determinada o cuenca, evaluando para ello parámetros físicos de la región como: área, perímetro, pendientes, elevaciones. etc. En El Salvador, las crecidas máximas ocurren entre el 21 de mayo y 16 de octubre que corresponde a la estación lluviosa. Para prevenir inundaciones

con las aguas de remanso de una obra de paso, es necesario conocer el caudal y el nivel de aguas máximas extraordinarias en la sección natural del río, y en la sección del cauce con el puente donde se interceptan los ríos o quebradas con los alineamientos de los caminos. Dentro del estudio hidrológico que se realiza para puentes se establece el punto de control, se hace un estudio climatológico para determinar el tipo de zona en que se encuentra la cuenca y se hace un estudio de la cuenca y sus características para estimar los caudales máximos.

2.3.1.3 ESTUDIO HIDRAULICO

Sirve para determinar el nivel de aguas máximas extraordinarias en el punto de interés y el área hidráulica más eficiente, con el fin de obtener el dimensionamiento hidráulico o predimensionamiento de la obra de paso. En el estudio hidráulico se llega a determinar la sección hidráulica crítica, la que es capaz de dar paso, sin rebalsar al caudal de la cuenca, en la cual se utilizan parámetros de diseño que comparan un factor geométrico calculado a partir de sus dimensiones, con el factor hidráulico calculado en base al caudal de la cuenca, la rugosidad del cauce y la pendiente del río.

Algunos datos hidrológicos e hidráulicos de mayor importancia pueden resumirse así:

1. - El plano topográfico, escala 1:200, para marcar una sección en el cruce y dos secciones auxiliares aguas arriba y aguas abajo; delimitar el nivel de aguas mínimas, nivel de aguas máximas ordinarias y nivel de aguas máximas

extraordinarias; indicar la pendiente del fondo del cauce o de la superficie del agua en una extensión de 200 m a cada lado del eje del puente.

2.- Datos sobre puentes construidos aguas abajo y aguas arriba próximos al cruce, tales como su longitud mínima de tramo, altura de la subrasante sobre el fondo, área hidráulica, si es o no suficiente, separación entre pilas y estribos, y pendiente longitudinal del cauce en el cruce.

3. - Estabilidad de la posición y anchura del cauce y estabilidad de su sección transversal en un tramo largo del río donde se encuentra el punto de emplazamiento del puente, estableciendo si es río divagante o con tendencia a divagar.

4. - Delimitación del claro mínimo de los tramos y espacio libre vertical para el paso de los cuerpos flotantes durante las mayores crecidas que determinan los niveles de aguas máximas extraordinarias (NAME) producidas cuando hay temporales, huracanes, tormentas tropicales o influencia de sistemas de huracanes dentro de la región centroamericana o norte y suramericana.

5. - Frecuencia y duración de las crecientes máximas extraordinarias. Epoca del año en que se efectúan y dimensiones aproximadas del material de arrastre.

6. - Velocidad superficial, indicando el procedimiento usado.

7. - Si el remanso producido por el emplazamiento del puente, afectará propiedades vecinas con inundaciones u otro impacto en flora y fauna; origina empujes laterales excesivos o represado inaceptable debido a la mala

estimación de la longitud del punto y el consecuente estrechamiento del cauce en ese paso..

8. - Grado de erosión en lecho y laterales estableciendo el grado de socavación o depositación que tenga el río debido al flujo de agua en los diferentes caudales que transporta; similarmente, en la época invernal.

9. - Coeficiente de rugosidad del cauce.

10. - Si hay que efectuar alguna canalización.

2.3.2 GEOTECNICA Y SUELOS EXISTENTES

2.3.2.1 INTRODUCCION

Los puentes transmiten cargas importantes al terreno; las distancias entre los apoyos son importantes, el peso de las vigas y elementos de concreto y acero también; además, las cargas que producen el tráfico de camiones, trenes, canales e incluso aviones son cada vez mayores. Los apoyos y pilares de los puentes, transmiten al terreno grandes cargas y muchas veces se localizan en puntos complicados como suelos blandos en la orilla y en el interior de ríos, en el mar, embalses y otros lugares en que no es fácil construir.

2.3.2.2 ESTUDIO GEOTECNICO

Considera aspectos morfológicos, por ejemplo zona de planicie o zona con pendiente muy pronunciada; geomorfológicos, permiten conocer qué tipo de formación tiene la cuenca, por ejemplo depósitos aluviales o erosivos, influencia hidrológica, principalmente agua subterránea en la cuenca, forma de la cuenca; tectónicos, el tipo de fallas geológicas que se encuentra en la zona de estudio;

sismicidad de la zona donde se encuentra el proyecto; geológicos, geotécnicos, donde se obtiene información sobre el tipo de suelo.

2.3.2.3 ESTUDIO DE SUELOS

El propósito del estudio de suelos es determinar los parámetros geotécnicos y las condiciones que tiene el subsuelo en el punto de emplazamiento del puente, donde se colocan los estribos y losas de aproximación y pilas u otro elemento requerido para la cimentación del puente así como la estabilización del suelo de cimentación. Las características que se buscan en los suelos son: tipo de suelo, humedad, compacidad, densidad seca máxima, ángulo de fricción interna del suelo, cohesión del suelo, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, coeficiente de permeabilidad, k , del suelo. Para obtener esta información se hacen sondeos profundos a través de investigaciones exploratorias, donde se establece el número y profundidad de perforaciones. Se utilizan métodos de sondeo definitivo eligiendo entre pozos a cielo abierto, métodos rotatorios de perforación para roca, métodos de perforación con tubo de pared delgada. Los métodos geofísicos, utilizan ondas de tipo eléctrico, magnético, sónico o de radar para obtener una estimación de algunas propiedades del terreno investigado. Con las muestras obtenidas en los sondeos, se realizan ensayos en laboratorio, de cuyos resultados se pueden obtener los parámetros necesarios para el cálculo de las cimentaciones. El estudio geotécnico también considera lo siguiente:

- Obtención de muestras inalteradas y alteradas de los suelos de sustentación.

- Características generales de los materiales que formen el fondo y taludes de la corriente del cauce del río.
- Corte geológico, indicando los materiales del subsuelo para considerar su génesis, tipos y características generales; el nivel de aguas freáticas.
- Carga admisible que puede soportar cada estrato del suelo en el punto del sondeo o en cada extremo donde se colocarán los estribos.

2.3.3 TOPOGRAFIA Y RELIEVE

Los estudios topográficos tienen como objetivos:

- Realizar trabajos de campo que permitan elaborar los planos topográficos.
- Proporcionar información de base para los estudios de hidrología e hidráulica, geología, geotecnia, así como de ecología y su efecto sobre el medio ambiente.
- Posibilitar la definición precisa de la ubicación y las dimensiones de los elementos estructurales.
- Establecer puntos de referencia para el replanteo durante la construcción.

En un informe sobre los estudios topográficos llevados a cabo para la construcción de un puente, se reporta el nombre del río o barranca, camino correspondiente, tramos del camino en el cual se encuentra; origen del kilometraje; plano en planta, a escala 1:200, mostrando el eje del camino, curvas de nivel, dirección del cauce, construcciones cercanas y datos importantes; ángulo que forma el eje del camino con el eje de la corriente; elevación y descripción del banco de nivel más próximo; planos de localización correspondiente a un kilómetro a cada lado de la obra; elevación de la subrasante que resulte más

adecuada; importe de las indemnizaciones que tendrían que hacerse en el proceso de realización de las obras.

2.3.4 HIDROGRAFIA E HIDROMETRIA

El país cuenta con una importante red fluvial, que agrupa diversas cuencas hidrográficas que tienen características morfológicas y fisiográficas particulares. El río más largo y caudaloso del país es el Río Lempa; sin embargo, existen ríos cuyas cuencas tienen gran cantidad de cauces y tributaciones entre las cuales están el Río Grande de San Miguel, el Río Jiboa, el Río Sumpul, el Río Paz, el Río Sensunapán o Río Grande de Sonsonate y otros como el Río Roldan que es un afluente del Río Lempa, en San Marcos Lempa.

2.3.5 PUNTO DE CONTROL

Es el sitio de interés de todo el estudio, donde se cruza un camino con el cauce. En este punto, el camino se encuentra discontinuo, el agua del río obstaculiza el paso de vehículos y personas; por este punto pasa el agua que es recogida y drenada por toda la cuenca, permitiendo determinar los caudales de agua por medio del estudio hidrológico y llegar a establecer la altura que alcanza en los taludes. Posteriormente se estima la longitud y altura del puente en el punto de emplazamiento.

2.3.6 ESTUDIOS FINANCIERO-COMERCIALES

Estos estudios contienen lo siguiente:

- Jornales medios en la región para diferentes categorías de empleo.
- Precios unitarios de los diversos materiales en el lugar de la obra.

- Ubicación de los diferentes bancos de materiales.
- Vías de comunicación más próximas.
- Enfermedades comunes de la región.

Es recomendable que este informe esté documentado con fotografías del lugar donde se va a efectuar el cruce de alineamientos, así como de puentes cercanos y de los sondeos a cielo abierto realizados para el estudio del subsuelo.

2.3.7 ESTUDIOS DE RIESGO SISMICO

Tiene como finalidad determinar los espectros de diseño que definen la componente horizontal y vertical del sismo, al nivel de la cota de cimentación. El alcance de estos estudios depende de la zona sísmica donde se ubique el puente, el tipo de puente y su longitud y las características del suelo.

2.4 COMPONENTES PRINCIPALES DEL PUENTE DE CONCRETO

2.4.1 SUPERFICIE DE DESGASTE O RODAMIENTO

La pavimentación de la superficie superior del puente y accesos es realizada mediante el uso de pavimentos rígidos o flexibles. En la elección del tipo de pavimento se consideran aspectos como la facilidad de obtención de los materiales, disponibilidad de los equipos adecuados y la continuidad con el pavimento de la carretera. El espesor del pavimento se define en función del tráfico esperado en la vía y la ubicación de las juntas se alinean con la ubicación de las juntas de dilatación de la superestructura. El espesor varía de 2 pulgadas a 4 pulgadas (51 mm a 102 mm), sin embargo, este puede incrementarse por el recarpeteo durante su ciclo de vida.

2.4.2 LOSA PRINCIPAL

Las losas son miembros estructurales de superficie plana y continua, apoyadas sobre un conjunto de vigas, formando los tableros del puente. Su función principal consiste en recibir directamente las cargas impuestas por el tráfico vehicular y peatonal, por esta razón, las estructuras han de resistir la flexocompresión y de igual forma sus respectivos elementos de apoyo, (vigas, diafragmas). Las losas, por ejemplo, son hechas de concreto armado, hierro y concreto pretensado. Las partes que soportan y conforman la estructura del tablero son vigas y diafragmas.

2.4.3 VIGAS

Son elementos estructurales rectos, generalmente colocados en forma horizontal, o con algún grado de inclinación, sus dimensiones dependen de la magnitud de las cargas que soportan. Se denominan vigas longitudinales porque su colocación está dispuesta siguiendo la dirección del tráfico del puente y son primarias o principales y secundarias; distinguiendo entre perimetrales e intermedias respectivamente y los diafragmas. En la estructura de un puente, en ningún caso una viga exterior tiene menor capacidad soportante que una viga interior. Ver figura 2.8.

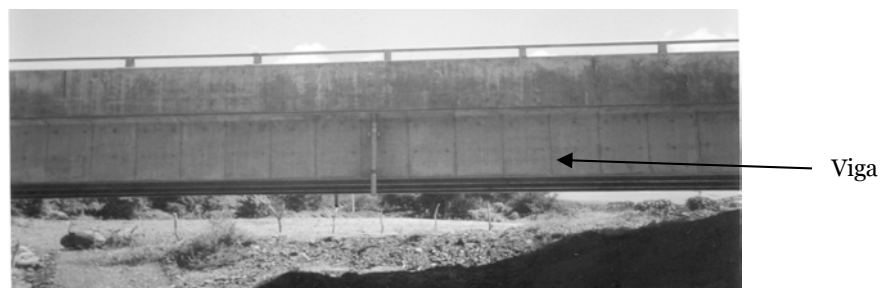


Figura 2.8 Vista longitudinal de vigas

El tipo de viga más utilizada en la actualidad son las vigas de concreto presforzado. El concreto presforzado utiliza una fuerza aplicada que aumenta la compresión interior en la viga de concreto reduciendo o eliminando los esfuerzos de tensión en la viga cuando está cargada. La fuerza de preesfuerzo se aplica comúnmente utilizando cables de acero o tendones embebidos dentro de la viga y anclados en los extremos del miembro. Existen dos clases de vigas presforzadas, las vigas pretensadas y vigas postensadas.

- Vigas pretensadas: el proceso de tensado de los tendones se realiza antes de la colocación del concreto por la aplicación de una fuerza de tensión, con “jacks hidráulicos. Al endurecer el concreto alrededor de los tendones, estos son liberados y buscan restaurar su longitud original, esta es la respuesta que introduce la fuerza compresiva que a su vez elimina la tensión a las fibras del fondo de la viga. Una ventaja mayor del procedimiento de pretensado es que permite la construcción masiva de vigas.
- Vigas Postensadas. Los tendones son tensados después de que el concreto ha tenido tiempo para endurecer y son incorporados en la viga de dos formas: adheridos, cuando son colocados dentro de agujeros hechos en el miembro de concreto que pueden formarse de conductos de metal o P.V.C. Después de que el concreto ha endurecido y la tensión de postensado es aplicada, el espacio entre el agujero y el tendón se llena con lechada de cemento para unirlo al concreto circundante de la viga; y no adheridos, cuando los tendones simplemente se engrasan y se envuelven en papel sin utilizar

lechada para unirlos al concreto circundante de la viga, una vez que la fuerza de postensado es aplicada.

La sección transversal de las vigas de concreto preforzado tiene geometría regular simétrica como se muestra en la Figura 2.9 y 2.10.

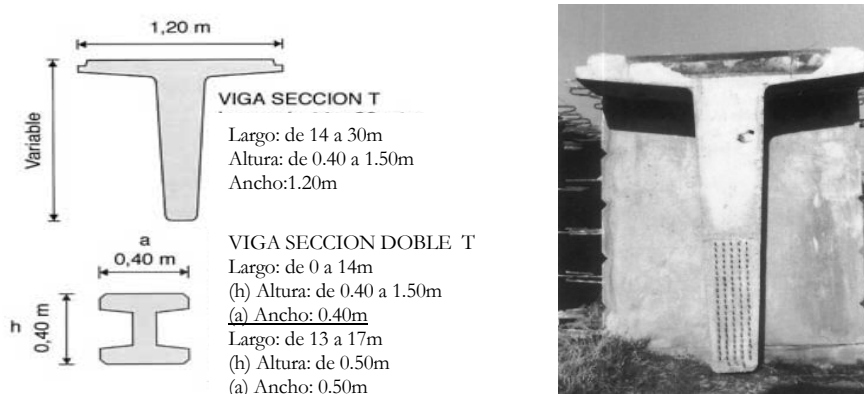


Figura 2.9 Secciones tipo de vigas T y doble T



Figura 2.10 Sección tipo cajón.

2.4.4 DIAFRAGMAS

Son elementos rectos rigidizadores de las vigas longitudinales que a la vez les transmiten fuerzas de cortante vertical, el cual se transmite por apoyo directo de la losa sobre la viga por medio de varillas de hierro que traspasan la viga longitudinal. Según el artículo 8.12.2 de la AASHTO, estos elementos se colocan

uno en cada extremo del puente, a distancia más o menos de 50 cm del borde del tablero y en puntos intermedios donde no se rompa la continuidad de la losa y sea necesario apoyar los bordes de esta sobre el diafragma. Por lo general, tienen entre 6 pulgadas a 8 pulgadas de espesor. Los materiales más comunes con los que se construyen los diafragmas son: hierro, concreto armado, concreto pretensado (ver figura 2.11) y madera, cuando la estructura así sea.

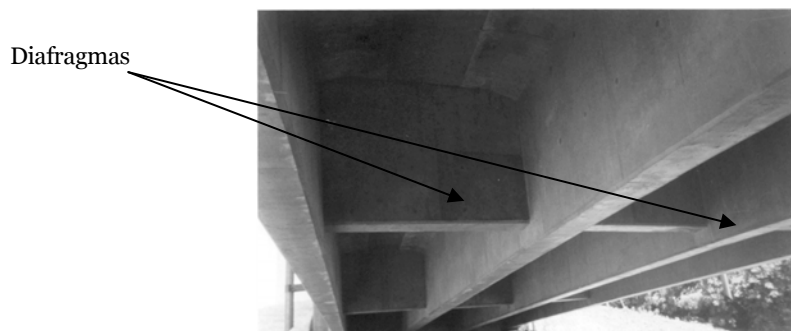


Figura 2.11 Detalle de Diafragmas

2.4.5 JUNTAS

Las juntas de dilatación, son dispositivos que permiten los movimientos relativos entre dos partes de una estructura. En algunos proyectos de puentes se interrumpen los tableros para cubrir requerimientos estructurales de diseño y construcción, para garantizar los movimientos reológicos como cambios de temperatura, efectos de retracción o flujo plástico de los materiales, acortamientos por pretensado, cargas de tráfico, asentamientos diferenciales o tolerancias requeridas, compatibles con las condiciones de apoyo. En tales casos, en la estructura se consideran movimientos permisibles que garanticen un desempeño adecuado para los diferentes estados límites de utilización del puente, donde el deterioro o la falla de las juntas pueden comprometer su seguridad. Las

juntas y las interrupciones superficiales del pavimento consideran, además del confort de los usuarios vehiculares, el desplazamiento pedestre, y el movimiento de bicicletas y de motos. Las juntas, de acuerdo con la ubicación en que se encuentren, se tienen juntas longitudinales, tales como las juntas de contracción, juntas de construcción y juntas transversales; estas de igual forma pueden ser de construcción, contracción y/o expansión.

Juntas longitudinales de construcción. Son las que se forman entre franjas longitudinales adyacentes. (Ver Figura 2.12)

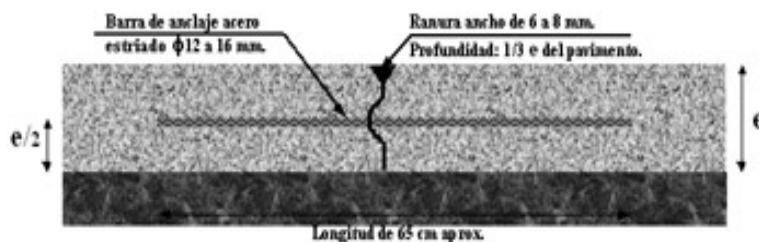


Figura 2.12 Junta longitudinal de construcción

Juntas transversales de construcción. Son las que se forman al final de la jornada de trabajo o bien cuando se requiere suspender temporalmente la colocación del concreto. En la construcción de pavimentos rígidos (Ver Figura 2.13) son utilizadas cuando hay interrupciones de más de 30 minutos durante el proceso del concreteado.

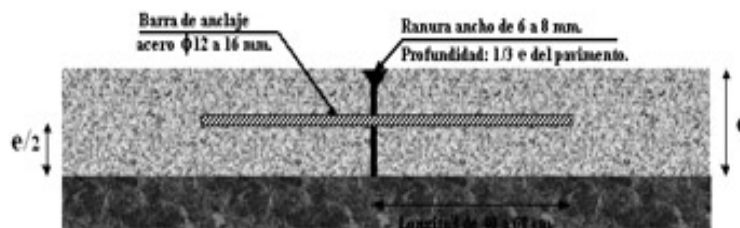


Figura 2.13 Junta transversal de Construcción

Junta transversal de contracción. Responden a la necesidad de mantener los esfuerzos del concreto dentro de ciertos rangos de seguridad e impedir la formación de grietas. Por lo general, son perpendiculares a la dirección de la circulación; sin embargo, en algunos casos pueden hacerse con cierta desviación. Ver figura 2.14.

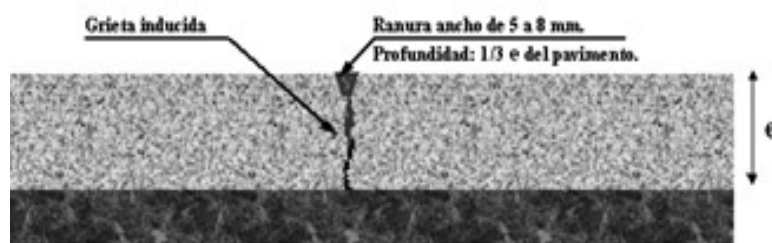


Figura 2.14 Detalle de junta transversal en Pavimento hidráulico

Juntas de expansión: se usan solamente en determinados casos; empalmes con pavimentos existentes, empalmes con puentes o losas, o en los contornos de cámaras o sumideros (ver figura 2.15). En puentes, se utilizan para separar el tablero de otras estructuras, permitiendo que exista movimiento libre del mismo sin que este produzca daños. Dependiendo del proceso constructivo y su conformación se tienen juntas abiertas, rellenas moldeadas (vaciadas en el sitio), juntas rellenas premoldeadas (preensambladas) y juntas mixtas. (Ver anexo 2).

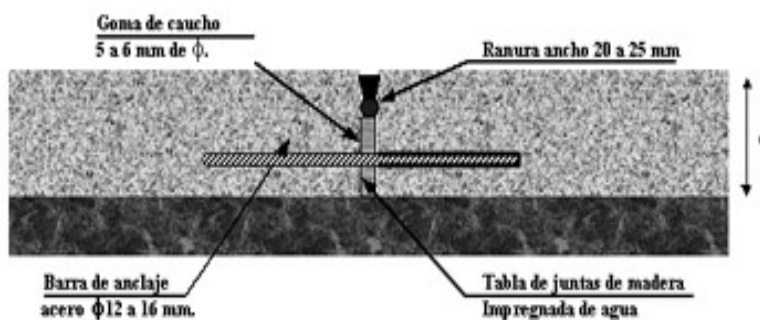


Figura 2.15 Detalle de junta transversal de expansión.

Independientemente del tipo de juntas, las funciones principales de estas son las siguientes:

- Asegurar que los movimientos totales del puente, proyectados sobre las juntas, se cumplan sin golpear o deteriorar los elementos estructurales.
- Asegurar la continuidad de la capa de rodamiento del puente, para dar mayor confort a los usuarios vehiculares, pedestres, bicicletas y motos.
- Ser impermeables y evacuar las aguas sobre el tablero en forma rápida y segura.
- No deben ser fuente de ruidos, impactos y vibraciones al soportar las cargas del tráfico¹².

2.4.6 ESTRIBOS DE PUENTES

Los estribos de un puente son estructuras en los extremos de un puente, usados con el propósito de transmitir las cargas del tablero hacia la cimentación, dar un soporte lateral al terraplén y además ofrecer protección contra la erosión; por lo cual, en muchos casos son utilizados como muros de retención. Tales como el muro en voladizo, utilizado para resistir la presión activa del suelo en lugares con terraplenes, la altura de estas estructuras no excede los 10 m; el muro de anclas es utilizado para retener el suelo en lugares donde se han realizado cortes en el terreno y utilizan cables de alta resistencia que son extendidos hasta encontrar una zona estable actuando como anclas para los elementos de la cara del muro; el

¹² Sin embargo, independientemente a los buenos acabados de las juntas y la buena calidad de la obra como el buen diseño previsto, el uso, el tráfico, el aumento de tráfico, el envejecimiento de la vía y demás factores que influyan en la superficie del pavimento como el clima, inundaciones, sismicidad, grandes impactos y otras acciones no previstas que generan en las juntas el fenómeno de golpeteo y esto ocasiona daños a los vehículos y desagrado a conductores usuarios.

muro soil nail, utiliza puntas dentro del cuerpo de tierra que resisten el movimiento lateral de las secciones cortadas del terreno y, los muros rellenos de tierra mecánicamente estabilizados cuando son un tipo de estructura de retención de “tierra reforzada”, se le colocan múltiples capas de fibra de alta resistencia dentro de la sección de relleno para restringir la desviación lateral del suelo.

Los estribos constan de un cabezal o parte superior del estribo que recibe directamente las cargas del tablero y vigas de soporte para transmitir las a los estribos o pilas y permiten la creación de junta entre la calzada y el puente y entre dos losas sucesivas. También sirven, para formar el encierro de la zona de apoyo de las vigas, evitando que la tierra del relleno invada esa zona; muro frontal que conforma el cuerpo principal del estribo; muro lateral o aleton, que es la prolongación del muro frontal en los costados del estribo.

Los estribos tienen la apariencia de un muro de contención, y en la mayoría de los casos consisten en una pared frontal y dos paredes en forma de alas. Pueden ser construidos de concreto reforzado (Ver Figura 2.16), mampostería reforzada (Ver Figura 2.17 y Figura 2.18), mampostería de piedra, hierro y madera; estos dos últimos no son muy utilizados en el país. La construcción de los estribos considera la instalación de drenajes, que sirven para escurrir el agua que se infiltra en el terraplén, los cuales se colocan dejando un espacio no mayor que 30 m entre sí y con diámetros no menores que 3”. Generalmente, la superestructura es independiente de los estribos, pero en algunos casos forma parte de un marco rígido y transmite, además, fuerzas y momentos a ella. Las formas más comunes

son: estribo con “aleros”, las paredes están en cualquier ángulo, los más usados son a 30° y 45° . ; estribos en forma de “U”; estribos en forma de “T” (aplicación limitada a puentes de un solo carril.)

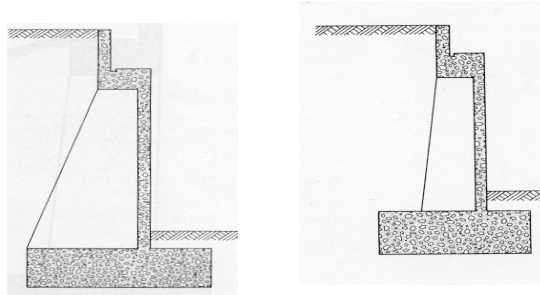


Figura 2.16 Tipos de estribos de concreto con contrafuertes



Figura 2.17 Estribo de Mampostería de piedra.



Figura 2.18 Estribo de Mampostería de piedra.

Es posible establecer una clasificación por categorías de los estribos de acuerdo con la relación entre el estribo del puente y la carretera o flujo de agua que el puente cruza:

- Estribo de extremo abierto. Se caracterizan por tener pendientes entre la cara frontal del estribo y el borde de la carretera o canal de agua. Las cuales proporcionan un área abierta adicional entre la calzada o río debajo del puente y el rostro frontal del estribo. Este tipo de estribo permite ajustar las proporciones de las pendientes para el ensanchamiento de la carretera o canal de flujo de agua en el futuro. Sin embargo, la existencia de estas pendientes

requiere que los claros sean largos y algún terraplén extra que puede producir un aumento en el costo de construcción.

- Estribo de extremo cerrado. Se construye cerca del borde de las vías o canales de agua. Debido a los requisitos de claros libres verticales y restricciones de derecho de vía de la construcción, no se permite construir pendientes entre la cara frontal del estribo y el borde de vías o canales de agua, y las paredes del estribo se construyen altas. En este tipo de estribo, no es posible hacer un ensanchamiento futuro a las carreteras y al flujo de agua debajo del puente.

Y según las conexiones entre estribo y tablero, los estribos pueden agruparse en las categorías siguientes:

- Estribo monolítico. Se le llama así cuando el estribo es construido monolíticamente con el tablero y no se permite ningún desplazamiento relativo entre el tablero y el estribo. Sus ventajas son bajo costo inicial de construcción y acoplamiento al suelo de relleno que absorbe la energía, cuando el puente está sujeto a movimientos transitorios. En la práctica, es muy utilizado para puentes de claros cortos y un ejemplo de ellos son los puentes cajón.
- Estribo tipo asiento. La construcción del estribo es independiente del tablero. Este tipo de estribo permite que el diseñador controle las fuerzas que son transmitidas al estribo mediante el ajuste de dispositivos de apoyo entre el tablero y el estribo. La disponibilidad de dispositivos de conexión permite

construcciones de puentes largos, particularmente, para puentes de concreto presforzado y de acero.

2.4.7 PILA DE PUENTES

Las pilas de un puente, constan de un fuste o cuerpo principal, cuya función es ligar y transmitir las cargas horizontales y verticales a la zapata de fundación, reciben la acción de dos tramos continuos del tablero del paso vehicular, de tal forma que no excedan al esfuerzo admisible del suelo. Además, causarán la menor perturbación posible al paso del agua, por lo que su forma generalmente empleada es rectangular con triángulos o segmentos de círculo en los extremos en dirección a la corriente del río, oponiéndose y favoreciéndola respectivamente, aguas arriba y aguas abajo, estos extremos frontales a la dirección de la corriente reciben el nombre de “tajamares”, y tienen por objeto hacer a la pila más hidrodinámica. La ventaja de hacer iguales los tajamares estriba en que la cimentación se hace simétrica con las cargas verticales de la pila. Es importante tomar en cuenta en la cimentación de las pilas de puente, el efecto de socavación debida a la acción erosiva del agua. Una vez consideradas las cargas, para garantizar la estabilidad de la pila, se hacen proyecciones contra volcamiento, deslizamiento y aplastamiento. Entre los materiales más utilizados en la construcción de pilas está el concreto, hierro, madera, mampostería y combinaciones de los anteriores. Actualmente, se está haciendo más común diseñar las pilas para resistir altas cargas laterales causadas por eventos sísmicos, ver norma técnica del M.O.P; y desde el punto de vista estético, las pilas son uno

de los componentes más visibles y pueden representar la diferencia entre una estructura agradable y una poco atractiva.

Las fuerzas que soporta cualquier plano horizontal de una pila son:

- Fuerzas verticales. Carga muerta de la superestructura; carga móvil de la superestructura; peso propio de la pila arriba del plano considerado; carga por impacto.
- Fuerzas laterales. Presión debida al viento sobre la superestructura; presión debido al viento sobre la pila, se tomará intensidad de 100 Kg/m² sobre el área expuesta (considerando los niveles de aguas máximas y mínimas); presión de hielo (si hay); presión debida al agua.
- Fuerzas longitudinales. Frenaje, se considera un 5% de la carga móvil aplicada a la distancia de 1.20 m sobre la rasante del camino (A.A.S.H.T.O); presión de viento, se considera intensidad de 100kg/m² sobre el área expuesta (generalmente despreciable).

Los tipos de pilas se establecen de acuerdo con la conectividad estructural que tienen con el tablero, su forma y su configuración de marco. Según su conectividad con el tablero, se clasifican en monolíticas o en voladizo, según la forma se clasifican en sólida o hueca; redonda, octogonal, hexagonal, o rectangular y según su configuración de marco se tipifican en columna simple, cabeza de martillo, marco de múltiples columnas y tipo pared. La selección del tipo de pila está basada en los requisitos funcionales, estructurales, geométricos y estéticos y depende de muchos factores como el tipo de tablero (ver figura 2.19 y

2.20); por ejemplo, los tableros de acero son normalmente soportados por pilas en voladizo, mientras que los tableros de concreto, colados en el lugar, son soportados por marcos monolíticos. Otro factor a considerar es, si está sobre un canal o no; así por ejemplo, las pilas tipo pared son preferibles en cauces de río, ya que permiten construirse en proporciones delgadas e hidrodinámicas, mientras que las pilas marco de columnas son utilizadas en puentes carreteros. La altura de las pilas, es otro factor a considerar para su selección ya que las pilas más altas a menudo requieren secciones transversales huecas para reducir el peso de la misma. La tabla 2.2 resume una guía general para seleccionar el tipo de pila.

Tabla 2.2 Tipos de Pilas según tipo de tablero.

TABLERO DE CONCRETO COLADO EN EL SITIO		
Sobre el agua	Pilas altas	Pila simple pilar; secciones transversales huecas; monolítica; fija en el fondo
	Pilas cortas	Pilas tipo pared; sección transversal sólida; monolítica; fija en el fondo.
Sobre tierra	Pilas altas	Marcos de columna simple o columnas múltiples; secciones transversales sólidas para la mayoría de los casos; monolítica; fija en el fondo.
	Pilas cortas	Marcos de columna simple o columna múltiples; sección transversal sólida; monolítica; fija en el fondo
TABLERO PREFABRICADO DE CONCRETO PRESFORZADO		
Sobre el agua	Pilas altas	Pila tipo pared o cabeza de martillo; secciones transversales huecas para la mayoría de los casos; en voladizo; podría utilizar la combinación de pilas cabeza de martillo con base de pila tipo pared y pilar gradualmente reducido.

	Pilas cortas	Pilas tipo pared o cabeza de martillo; secciones transversales sólidas; en voladizo.
Sobre tierra	Pilas altas	Pilas de martillo y posiblemente marcos rígidos de columnas múltiples: (Figura 2.14) secciones transversales huecas para pilar simple y secciones transversales sólidas para marcos rígidos; en voladizo.
	Pilas cortas	Pilas cabeza de martillo y marcos rígidos (marcos columnas múltiples); secciones transversales sólidas; en voladizo



Figura 2.19 Pila Columnas Múltiples construida sobre tierra Figura 2.20 Pila tipo pared construida en zona marítima.

2.4.8 CIMENTACIONES EN PUENTES

2.4.8.1 INTRODUCCION

A través de la cimentación del puente se transmiten las cargas al terreno, sin que sean mayores a las que este pueda soportar, garantizando estabilidad permanente de la estructura. El proyecto de cimentación para un puente requiere el estudio geotécnico del terreno, determinando, tipo de suelo, granulometría, plasticidad, humedad relativa, consistencia, resistencia, deformabilidad, nivel freático. Esta puede ser superficial: zapatas, vigas flotantes, losas y emparrillados profundos, pozos y pilotes.

2.4.8.2 CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Para los constructores de puentes, una cimentación es superficial si es posible tener acceso a ella, poder construirla y observarla directamente en una excavación a cielo abierto, aún, cuando el nivel de desplante se encuentre, en ocasiones, a gran profundidad (ver figura 2. 21 y 2.22). Tienen su profundidad de apoyo en el suelo de cimentación entre una y una y media veces el ancho del cimientto, desarrollando su capacidad de carga y un mecanismo de falla en el que la fricción, por contacto lateral con el terreno, es despreciable. Cuando hay terrenos resistentes que permiten apoyar la zapata a poca profundidad, el nivel de desplante suele quedar determinado por la prevención ante erosiones ocasionadas por el flujo eventual del agua, para evitar socavaciones, por el ataque erosivo a las márgenes (en el caso de estribos), por lo cual, es conveniente colocar las zapatas a profundidades no menores que 2 m. Otras consideraciones que suelen interesar, al fijar el nivel de desplante en la cimentación superficial de un puente, son, la posibilidad de que existan cavernas y oquedades en el terreno de manera natural, o bien, la presencia de ductos, colectores, y minas de arena. Asimismo, la profundidad de desplante da protección al elemento estructural por intemperismo atmosférico.



Figura 2.21 Puente Yotaiquim, México.



Figura 2.22 Puente Caramicuas, México

La utilización de cimentaciones superficiales se justifica en terrenos con suficiente resistencia al corte y sin socavaciones; tienen costos relativamente bajos que implica su realización y desempeño correcto, comparada con las cimentaciones profundas (ver figura 2.23).

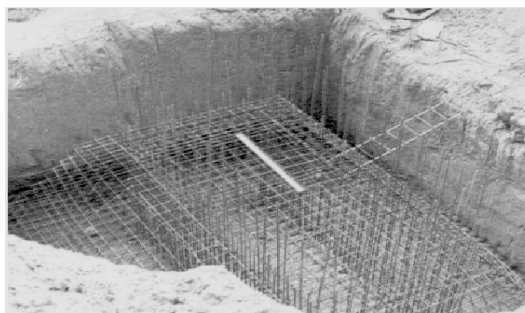


Figura 2.23 Cimentación superficial en terreno duro

2.4.8.3 CIMENTACIONES PROFUNDAS

Constituidas por pilotes, cilindros o cajones de grandes dimensiones que funcionan estructuralmente, se emplean para transmitir cargas a estratos profundos del terreno de cimentación. Su utilización se justifica al evaluar y concluir, que el terreno no cumple, estructural y económicamente, por ser suelos blandos, sueltos no aptos para portar las cargas de imposición, y/o expuestos a socavación, típica de los cauces de los ríos, tubificación o licuación del suelo.

Pilotes y pilas. Los pilotes, son elementos estructurales de cimentación profunda que transmiten al subsuelo las cargas provenientes del sistema estructural, y que, generalmente, se limitan a un diámetro o ancho, igual o menor que 60 cm. Las pilas son elementos estructurales de cimentación profunda con dimensión mayor que la de los pilotes, con longitud máxima aproximada de 3 m. En el Ministerio de Obras Públicas, pilote, es el elemento de cimentación profunda de ancho de sección mayor que 60cm que se cuela en el sitio en perforaciones previas en el terreno; en caso contrario, se trata de un pilote hincado. Y pila, es la parte vertical de la subestructura, generalmente visible, que se encuentra al aire libre y se apoya directamente en la cimentación.

Cilindros y cajones de cimentación. Son elementos hechos de concreto reforzado, de sección transversal cilíndrica, rectangular, elipsoidal o similar (huecos al centro de la sección), se colocan verticalmente en el suelo de apoyo, utilizando técnicas apropiadas de excavación. Sirven de apoyo bajo depósitos de suelo mecánicamente deficientes y alcanza profundidades económicas máximas de 65 m. Los cilindros y cajones de cimentación se pueden clasificar, atendiendo a su funcionamiento geotécnico y a la forma de construirlos, en cilindros y cajones de fondo abierto o neumáticos (actualmente en desuso) ver figura 2.24.

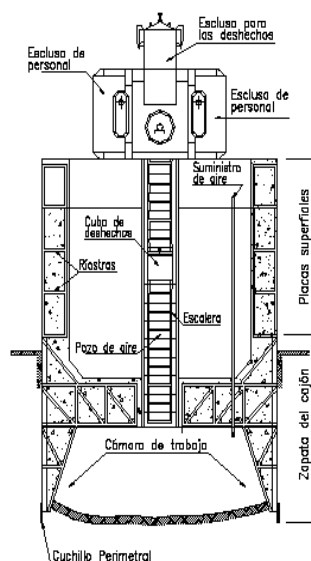


Figura 2.24 Esquema típico de un cajón neumático (utilizado a principios del siglo XX)

2.4.9 LOSAS DE CIMENTACION

Son elementos estructurales de concreto armado cuyas dimensiones en planta respecto a su espesor son mucho mayores. Definen un plano normal a la dirección de los soportes. Los tipos de losas que existen son: de espesor constante, con refuerzos o capiteles, nervadas, aligeradas, en forma de cajón; los materiales utilizados para su construcción son: concreto hidráulico, hierro estructural de refuerzo, cimbra de contacto y aditamentos. En general, se estructuran apoyándose en vigas de cimentaciones interiores y perimetrales; definiendo tableros de losa. Se utilizan losas de cimentación cuando se prevean asentamientos diferenciales en el terreno; para aumentar la superficie de contacto y cuando se cimienta debajo del nivel freático. Es frecuente su aplicación, cuando la tensión admisible del terreno es menor que 0.80 Kg/cm^2 . Las losas de cimentación en toda la superficie de la estructura, se emplean en terrenos con

bajas o muy bajas resistencias y compacidad, debido a estructuras más pesadas y suelos no resistentes.

2.4.10 PROTECCIONES ADYACENTES A LA ESTRUCTURA DE UN PUENTE

Los puentes de concreto son diseñados para períodos de vida útil de hasta 100 años. Por esta razón, su construcción requiere un estricto control de calidad y supervisión continua durante el proceso de construcción, con la finalidad de garantizar la estabilidad y seguridad de la obra durante su período de diseño. Las obras de protección adyacentes a la estructura de un puente son la base para poder mantener en buen estado las partes del puente para cuando estén amenazadas por fenómenos naturales y de funcionamiento según transcurra el tiempo. Las principales obras de protección son:

- Taludes, elaborados con la finalidad de evitar que la tierra pueda caer en el lecho del río y de esta forma desviar la corriente natural del cauce, provocando erosión en los cimientos de los estribos; asimismo, en las vías pero sin interrumpir el tráfico. Pueden ser de roca o suelo compactado.
- Muros, cuando el terreno posee características físicas inestables de tal forma que no es posible construir taludes, entonces es necesaria la construcción de muros enrocados, de mampostería de piedra, de concreto reforzado o muros gaviones (Ver figura 2.25 y Figura 2.26), para evitar deslaves de tierra en la periferia del puente y el desvío del cauce del río.



Figura 2.25 Muros Gaviones en Puente El Garrobo, Colonia Costa Rica, San Salvador, El Salvador



Figura 2.26 Muros Gaviones en Puente El Garrobo, Col. Costa Rica, San Salvador, El Salvador

- Losas de aproximación, se encuentran inmediatamente antes de entrar al punto y después en la salida del puente, sirven para empalmar el tablero con el camino, sus dimensiones pueden ser de unos 5m a 6 m de largo y su función principal es proteger los estribos, del impacto producido por los automotores en el momento de ingresar al tablero del puente; de este modo, se evitan desfiguraciones en los estribos que a futuro puedan causar el colapso. El recubrimiento utilizado en las losas de aproximación puede ser de asfalto, concreto, madera o balasto.
- Emplantillados y badenes, son elaborados con la finalidad de evitar erosión en los cimientos del puente, confinando las partes adyacentes a las pilas y estribos en el lecho del río.

Con la ayuda de estas obras, es posible disminuir el impacto producido por el agua, troncos y piedras que golpean, mediante choques espontáneos, la estructura de los puentes durante su periodo de vida.

2.4.11. ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS

2.4.11.1 BARANDALES

Un puente, lateralmente, va previsto con defensas que están destinadas a proteger a los peatones, evitándoles una eventual caída, además, que los vehículos ligeros abandonen la calzada invadiendo las aceras. Los barandales, según el material principal del que están hechos, pueden ser de los siguientes tipos:

1. Barandales metálicos. Consisten en barreras de dos o tres rejas (ver figura 2.27 y 2.28) soportadas por postes de acero soldadas, las cuales van ancladas en el tablero. También se construyen de armaduras en forma de cerchas metálicas tipo pratt.



Figura 2.27
Barandal Metálico vista transversal.

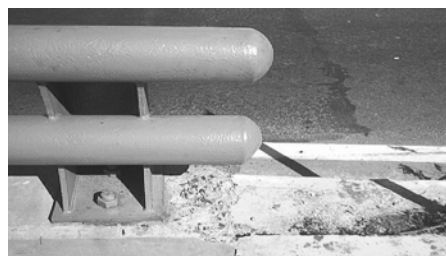


Figura 2.28
Barandal Metálico vista de perfil

2. Barandales con postes de concreto reforzado y largueros metálicos.

Generalmente los postes son forjados de concreto reforzado en forma cuadrada o cilíndrica y los pasamanos o rejas horizontales son de metal, hierro o aluminio.

3. Barandales de concreto pretensado, prefabricados tipo “New Jersey”. Estos han sido utilizados en los pasos a desnivel para uso vehicular en

rampas y ramales de derivación. Son barandales que tienen función estructural y arquitectónica, decorando la parte superior de los puentes. (Ver figura 2.29)



Figura 2.29 Barandal de concreto presforzado.

2.4.11.2 ACERAS

Las aceras, están colocadas a los costados de la calzada y permiten el tránsito peatonal proporcionando un grado de seguridad. Se construyen monolíticamente con la losa, las cuales están separadas por un cordón a un nivel superior a esta. Se hacen de concreto armado, mampostería, metálicas y madera. (Ver figura 2.30)



Figura 2.30 Acera de concreto, Puente “El Garrobo, Col. Costa Rica, San Salvador

2.4.11.3 APARATOS DE APOYO

Los aparatos de apoyo son dispositivos que soportan el tablero. Proporcionan la conexión para controlar la interacción de las cargas y movimientos entre el tablero y las pilas y/o estribos del puente. Las fuerzas aplicadas en los apoyos

incluyen el peso del tablero y accesorios, cargas del tráfico, cargas de viento y cargas producidas por sismos. Los movimientos en los apoyos incluyen traslaciones y rotaciones. Las traslaciones son causadas comúnmente por contracciones y efectos por temperatura y pueden ocurrir en dirección transversal y longitudinal. Los movimientos de rotación son producidos por las cargas de tráfico, las tolerancias de construcción, y los asentamientos desiguales de la fundación. En el diseño de estos se toma en cuenta, que la carga admisible y la capacidad de movimiento del apoyo sea compatible con los requerimientos de carga y los desplazamientos esperados del tablero y los proyectos se detallan de forma que es posible el reemplazo de los mismos.

2.4.11.3.4 TIPOS DE APOYOS

Según los movimientos que permiten los apoyos, estos se pueden clasificar en apoyos fijos y apoyos móviles; los primeros, permiten rotaciones pero restringen traslaciones; los segundos, permiten tanto la rotación como la traslación. Entre los apoyos disponibles en la construcción de puentes de concreto están:

1. Apoyos deslizantes: utilizan una placa de metal plana que se desliza contra otra para acomodar las traslaciones. La superficie de apoyo que se desliza produce una fuerza friccionante, la cual es reducida utilizando comúnmente PTFE (polytetrafluoroethylene) como material lubricante del deslizamiento. El PTFE o TFE como aparece en las especificaciones de la AASHTO y otras normas, es conocido también, como Teflón. Durante su aplicación, una placa de acero es cubierta con PTFE contra otra placa que normalmente es de acero

inoxidable. Los apoyos deslizantes pueden utilizarse solos, cuando las rotaciones causadas por la deflexión de los apoyos son despreciables (AASHTO 10.29.1.1), o como un componente de otros tipos de apoyos.

2. Apoyos de rodillo: están compuestos de uno o más rodillos entre dos placas de acero, paralelas. Los apoyos de rodillo simples pueden facilitar rotaciones y traslaciones en la dirección longitudinal, mientras que un grupo de rodillos sólo permite traslaciones longitudinales; sin embargo, las rotaciones pueden generarse combinando rodillos con un apoyo de pasador. Son utilizados tanto en puentes de concreto como puentes de acero. Los apoyos de rodillo simples tienen una capacidad de carga vertical limitada respecto a los apoyos de rodillo múltiple.
3. Apoyo balancín y apoyo de pasador: el apoyo balancín es de tipo móvil y consiste en un pasador en la parte superior que permite rotaciones, y de una superficie curva en el fondo que controla las traslaciones. El apoyo de pasador es de tipo fijo y controla las rotaciones mediante el uso de un pasador de acero. Su configuración es igual al apoyo balancín, excepto que la placa curva inferior es plana y se ancla directamente al concreto. Estos tipos de apoyos son convenientes para aplicaciones donde la dirección del desplazamiento está bien definida ya que sólo pueden acomodarse a movimientos unidireccionales.
4. Apoyos elastoméricos: son hechos de “elastómero” (caucho natural o sintético). Permiten movimientos traslacionales como rotacionales a través de la deformación del “elastómero” el cual, a la vez absorbe esfuerzos cortantes

locales, pero rígido contra cambios volumétricos. Bajo cargas de compresión, el elastómero se expande lateralmente. Para sostener cargas grandes sin deflexión excesiva, se refuerza utilizando almohadillas elastoméricas reforzadas con fibra de vidrio, loneta de algodón y de acero. Un apoyo elastomérico muy utilizado por sus propiedades físicas y económicas es el apoyo de neopreno.

4.1 Apoyos de neopreno. Los apoyos de neopreno no tienen partes móviles, constan simplemente de una placa o más de neopreno de 2.5 cm de espesor aproximadamente colocada entre la viga y la corona de la pila o estribo (Ver Figura 2.31).

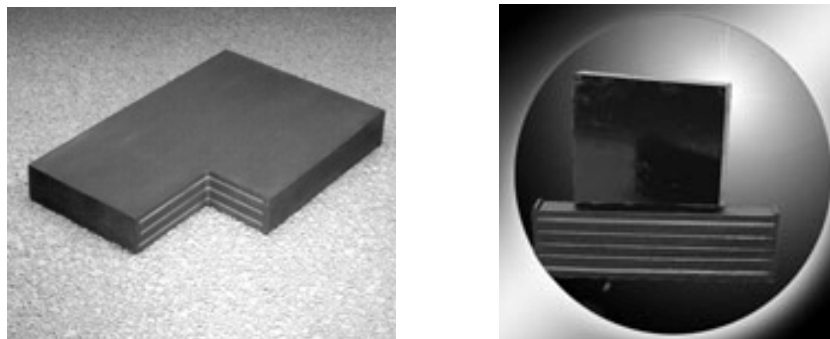


Figura 2.31 Placa de Neopreno

Este tipo de apoyos Permiten giros y pueden permitir el desplazamiento en uno o los dos ejes y se utilizan para cargas elevadas (hasta 4,000 toneladas). Se colocan para amortiguación sísmica, por ejemplo en cimentación de maquinaria. Cuando este soporta cargas de compresión, la placa de hule, absorbe las irregularidades de la superficie y de esa manera las imperfecciones salientes como las hundidas que tiene la superficie de concreto, todas soportan la carga. No hay manera que el

apoyo sea inutilizado por la corrosión y que se transmita así un empuje excesivo a la pila o estribo sobre los que apoya la viga. Otra característica importante de este material es que puede soportar cargas a la compresión de hasta 70 Kg/cm². Además, la mayor parte de la deformación plástica tiene lugar en los primeros diez días de carga. En su resistencia al deterioro, el neopreno es superior al hule natural y a cualquier otro hule sintético que pudiera satisfacer los requisitos físicos de las placas de apoyo para puente. La vida útil del neopreno es de aproximadamente 40 años, sin darle ningún tipo de mantenimiento dura hasta 35 años. En todo caso, cuando un apoyo de neopreno se somete a la acción de una carga se deforma verticalmente, esta no debe exceder el 15% del espesor antes de ser comprimido el apoyo. Cuando la deformación en compresión es mayor que 15%, se producen esfuerzos internos dentro del neopreno que aceleran la rapidez de la deformación plástica y aceleran la rapidez del agrietamiento debido al intemperismo.

- 5 Apoyos curvados o esféricos: consisten en dos placas curvadas que coinciden donde una se desliza contra la otra para controlar las rotaciones. La superficie curvada puede ser cilíndrica para permitir la rotación sólo respecto a un eje o esférica para permitir que el apoyo gire respecto a cualquier eje.
- 6 Apoyos de anillo: constan de un disco elastomérico plano que se confina en un anillo de acero poco profundo. Se usan anillos de sello para contener el elastómero dentro del anillo. Debido al confinamiento de la almohadilla

elastomérica, estas pueden soportar cargas mayores que las soportadas por las almohadillas convencionales.

- 7 Apoyos de disco: utiliza un disco elastomérico duro (polyesther urethane) para soportar las cargas verticales y una llave de metal en el centro del apoyo para resistir cargas horizontales. Los movimientos rotacionales son absorbidos por la deformación del elastómero y los traslacionales mediante el uso de un deslizante, teflón.

2.4.11.4 TOPES ANTISISMICOS

Son enlaces de concreto ubicados debajo de los separadores y entre una viga y otra, sirven para reducir el desplazamiento transversal que pudiera llegar a ocurrir en caso de un sismo fuerte; su construcción se hace integral con el concreto de la losa de apoyo de las vigas con refuerzo mínimo de temperatura y de dimensiones aproximadas 50cm x 40cm x ancho del apoyo de vigas, dejando una junta de 10cm con el resto de la viga para así poder moldear en esta zona la cara extrema de la viga.

2.4.11.5 BARRAS ANTISISMICAS

Sirven para que en caso de sismo, las vibraciones de estribos y tablero del puente ocurran lo más armónico posible, evitando que vigas y apoyos se separen durante el terremoto y caigan las vigas al vacío (Ver Figura 2.32). Estas barras se empotran en la losa de apoyo de las vigas, previamente se engrasan y forran en el poliducto para evitar su oxidación, la punta saliente queda fija en el lleno del

diafragma. Se usan barras de hierro grado 60; según la luz, los diámetros se presentan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Diámetros de las barras antisísmicas

Luz (metro)	Diámetro Barra	Longitud (m)
10	3/4"	Cte.
15	7/8"	Cte.
20	1"	Cte.

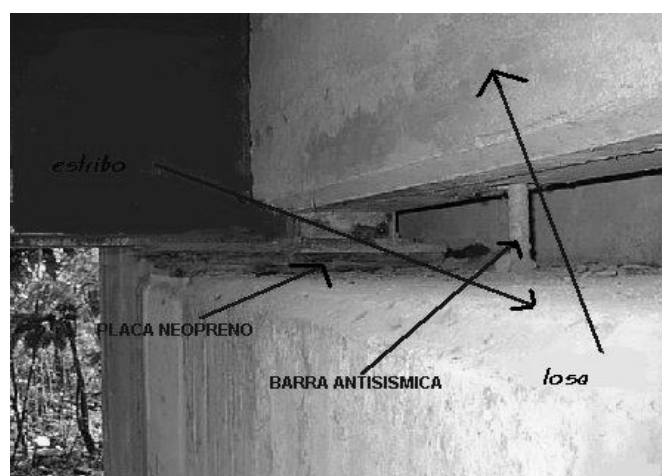


Figura 2.32 Detalle de apoyos y barra antisísmica

2.4.11.6 ILUMINACION EN PUENTES

Los dispositivos eléctricos, mejoran la visibilidad a los conductores y peatones, tales como lámparas y faroles. En puentes construidos sobre el mar o lagos, la iluminación se especifica de la siguiente manera: dos luces verdes, una a cada lado, para cada tramo (simple o múltiple) para marcar la línea central de cada canal navegable, y luces rojas situadas en forma similar para marcar el margen de

cada canal no limitado por un pilar. Estas luces se instalan en posición colgante justo debajo del borde exterior de la estructura del tramo del puente. Las luces rojas marcan los pilares, estas se instalan en posición vertical en cada extremo de estos, en el nivel más bajo posible, a 2 pies mínimo, sobre el nivel de la pleamar. Las luces blancas, cuando sean requeridas, identifican el canal principal para puentes de tramos múltiples. Estas consisten en tres linternas alineadas verticalmente sobre cada luz verde que marca ese canal. La luz blanca más baja debe estar a 10 pies mínimos o a 15 pies máximo sobre la luz verde.

- Luces rojas, en sectores de 180°, posicionadas en la forma requerida sobre el tramo y/o los pilares.
- Luces verdes, de 360° omnidireccionales, sobre tramos en la línea central del canal
- Luces blancas, en sectores de 180°, 3 luces en espaciamientos óptimos de 15 pies (7 pies mínimo)

2.4.11.7 PERNOS Y DISPOSITIVOS DE ANCLAJE

Son dispositivos de anclaje utilizados en zapatas, apoyos en estribos y pilas. Se construyen de acero inoxidable o de acero protegido con un recubrimiento metálico resistente a la corrosión y que no reaccione químicamente con el concreto.

2.4.11.8 SEÑALIZACION EN PUENTES

Son señales o letreros que indican al usuario limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que regulan el tránsito, u otra información adicional. Estas

pueden ser verticales u horizontales. La señalización vertical la constituyen las señales viales y de información sobre el puente ubicadas en vallas. La señalización horizontal la constituyen las señales viales y de información sobre el puente, marcadas sobre la capa de rodamiento.

2.4.11.9 DUCTOS Y DRENAJES

Los drenajes son los elementos que permiten la evacuación del agua sobre el tablero del puente (ver figura 2.33), estos pueden ser constituidos como cunetas de mampostería, cunetas de concreto, tuberías, cunetas de concreto con asiento asfáltico, etc.

Algunos criterios sobre el concepto de la evacuación de aguas en los tableros de puentes y su aplicación o resolución son:

Seguridad del usuario. Una capa de agua acumulada ó embalsada sobre la superficie de rodadura aumenta el riesgo de hidropneumático y el levantamiento de nubes de agua al paso de los vehículos ocasionando accidentes, así mismo la acumulación de espesores de piedra en la superficie del pavimento o piedras que obstruyen el paso. Para evitar este fenómeno se provee de suficiente pendiente en la superficie de rodadura para asegurar la rápida evacuación del agua. Complementariamente, el adecuado dimensionamiento de los dispositivos de evacuación (en función del caudal, distancia entre sumideros), la utilización de pavimentos particularmente resistentes a la deformación y desgaste (evita roderas) y el uso de revestimientos porosos (para permitir rápida absorción del agua).

Durabilidad de la estructura. El agua puede causar daños en los materiales de construcción de las estructuras y sus componentes, especialmente cuando contienen sales para el deshielo. Hay otras acciones provocadas por el agua además de la precipitación directa, como salpicaduras e infiltraciones a través del pavimento. Además de la durabilidad de la obra, es importante considerar la durabilidad del pavimento. Las aguas de infiltración, en razón de la capa de estanqueidad, al quedar atrapadas en el pavimento, puede provocar la degradación del mismo.

Protección del entorno. Aunque las consideraciones sobre la influencia del medio ambiente en el diseño de los sistemas de evacuación de aguas en los tableros de puente es relativamente reciente, es necesario prevenir la polución de las capas freáticas, ríos y lagos, por vertido directo de las aguas evacuadas del tablero (en tal situación, el agua es conducida, mediante tubos, a un sistema de depuración). También es necesario indicar, que algunos aspectos estéticos y acústicos pueden influir en ciertos detalles de la evacuación del agua (elección de la localización, colores de los tubos de recogida).

Facilidad de mantenimiento. El fácil y adecuado mantenimiento, puede variar en la forma de llevarlo a cabo de una zona a otra, en función de las condiciones climáticas, el diseño estructural, las características del pavimento y la percepción global del problema. Los medios utilizados para facilitar el mantenimiento incluyen proyectar el puente con el número adecuado de desagües, utilizar desagües simples autolimpiantes, prever la facilidad de acceso (en especial a los

tubos de conducción) y diseñar adecuadamente el sistema, diámetros, codos, pendientes, registros para limpieza.

Los tipos de drenaje utilizado para evacuar las aguas son: el drenaje transversal y el drenaje longitudinal. El drenaje transversal, se efectúa por medio del bombeo que se da a la carpeta, y el drenaje longitudinal, por medio de la contraflecha del claro, o bien por la pendiente de la rasante. El agua que se drene por las cunetas del camino se desvía para que no fluya sobre el puente. Los puentes cortos, de un solo claro, particularmente pasos superiores, pueden construirse sin drenes, efectuándose el drenaje de la calzada del puente mediante conductos abiertos o cerrados colocados en los extremos laterales de la estructura. El drenaje longitudinal de los puentes largos se realiza por medio de drenes o coladeras de dimensiones y en número suficientes para desalojar debidamente la cuneta. La disposición de los drenes del puente se hace en forma tal que el agua no discurra y descargue sobre ningún elemento de la estructura, para evitar su erosión en el sitio.

2.4.11.9.1 Elementos de captación. Son elementos para la toma de aguas pluviales que caen al puente. Los elementos son colocados preferentemente cerca de los bordes exteriores de la vía de tráfico. Se consideran soluciones adecuadas en caso de posibilidad de descargas directas elevadas. En el diseño se consideran medidas de protección contra corrosión y manchas ferruginosas, cuando utilizan tubos o dispositivos de fijación metálica.

2.4.11.9.2 Drenaje de las partes internas de la estructura. Cuando exista la posibilidad de acumulación de agua en las partes internas de la estructura, se preveen medidas de drenaje en la parte más baja de la zona de acumulación.

2.4.11.9.3 Drenaje de estribos. Para estribos en zonas de corte o cuando no se requiera hacer el terraplén, se considera al terreno natural como apoyo de los elementos de drenaje, similares a los usados a lo largo de la vía. En caso de drenajes con obras de captación, se evita la erosión del terraplén enviando la captación sobre el terraplén fuera de los límites del puente.

2.4.11.9.4 Goteras. Son elementos de drenaje que sirven para mantener el buen aspecto de los puentes e incrementar su durabilidad. Las entrantes o salientes pequeñas no son efectivas.

2.4.13 FUNCIONAMIENTO DE LOS PUENTES DE CONCRETO Y SU USO

Los puentes de concreto reforzado, en base al Comité 343 ACI-ASCE (1988), Caltrans (1990), y PennDOT (1993), son utilizados en claros pequeños y medianos desde 12m hasta 300m donde se encuentran los puentes tipo losa y de vigas hasta los 250m y puentes de arco de concreto de 90m hasta 300m. Fue el desarrollo de la tecnología del concreto reforzado la que permitió obtener concretos de mayor resistencia y confiabilidad, por consiguiente, mayor construcción de puentes de concreto. Al principio, se fabricaban únicamente losas planas de 10 m de claro máximo y, posteriormente, losas sobre nervaduras hasta 15 m de claro, hasta llegar a la aplicación del concreto presforzado. La industria del presfuerzo ha

hecho cada vez más frecuente el uso de vigas presforzadas y prefabricadas evitando obras falsas y reduciendo tiempos de construcción, costos de materiales y procesos constructivos que comparado con otras tecnologías son más económicos.

En El Salvador, el uso de puentes de concreto reforzado, exceptuando las bóvedas, representa el 75%¹³ del total de construcciones existentes, indicando la incidencia que tiene el costo del concreto tiene respecto a otros materiales de construcción en la construcción de puentes en el país.

2.4.14 CONCLUSIONES

Los puentes tienen una función estructural en el desarrollo de la sociedad. Se construyen para propiciar las actividades cotidianas de las personas, así como para satisfacer necesidades futuras. Para su construcción en un emplazamiento se realizan estudios, topográficos, hidráulicos, hidrológicos, geotécnicos, basados en reglamentos y normas de la AASHTO, ASTM, del ACI, especificaciones FP y los de cada país.

El tipo de puente a construir considera aspectos económicos, procesos constructivos y materiales disponibles. El concreto reforzado ha favorecido la construcción de puentes en el país, por sus características físicas y mecánicas ventajosas, estética, funcionabilidad, y economía respecto al acero y otros materiales que requieren más tecnología, ya que es un material que se fabrica en la obra, en cualquier lugar del país, o se prefabrican los elementos de los puentes.

¹³ Según el inventario de puentes hasta julio 2002 realizado por M.O.P. y V.D.U.

CAPITULO III:

METODOS Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS

EN PUENTES DE UNO Y DOS CLAROS

CAPITULO III

METODOS Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN PUENTES DE UNO Y DOS CLAROS

3.1 INTRODUCCION

La construcción de puentes de concreto está mayormente determinada en términos económicos, con reducción de tiempos, procesos y técnicas de construcción. El empleo de los métodos y procesos de construcción depende de factores como el tipo de puente, la ubicación, tipo de servicio y recursos disponibles. Asimismo, para obtener construcciones adecuadas que cumplan los requerimientos de los usuarios, es necesario llevar estricto control de calidad en todos los procesos y actividades que forman parte del proyecto, esto es, la fase de diseño, construcción y seguimiento, donde están involucrados los obreros y el propietario. Esto hace que las firmas constructoras cada día mejoren y actualicen técnicamente al personal y sistematizan los procesos constructivos con el objetivo de ofrecer un mejor servicio a los usuarios de estas estructuras.

3.2 PUENTES DE CONCRETO

3.2.1 PUENTES DE CONCRETO REFORZADO

3.2.1.1 DISEÑO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL

El concreto reforzado es utilizado en elementos constituyentes de puentes de concreto como zapatas, estribos, losas y en estructuras complementarias como cunetas, aceras (también utilizadas en puentes de hierro), losas de aproximación y

barandales. Para cada elemento hay resistencias específicas, las cuales pueden ser clasificadas por su magnitud como se indica en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Clases de concreto

CLASE DE CONCRETO	RESISTENCIA A 28 DIAS ⁽¹⁾	
	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
42 (6000)	420	(6000)
38.5 (5500)	385	(5500)
35 (5000)	350	(5000)
31.5 (4500)	315	(4500)
28 (4000)	280	(4000)
24.5 (3500)	245	(3500)
21 (3000)	210	(3000)
17.5 (2500)	175	(2500)
14 (2000)	140	(2000)

En estructuras simples de concreto reforzado se emplea concreto estructural clase 17.5 (175kg/cm²) como mínimo y en estructuras de concreto reforzado, concreto estructural clase 24.5 (245 kg/cm²) como mínimo. El proporcionamiento de los materiales para el concreto se establece con el objetivo de cumplir con los requisitos, comprobados en base a ensayos de resistencia, obtener trabajabilidad y consistencia que permitan su manejo y colocación dentro de las formaletas (moldes) y alrededor del refuerzo, bajo las condiciones de colocación que van a emplearse, sin segregación ni exudación excesivas, obtener la resistencia a aguas o suelos agresivos y a otras condiciones especiales de exposición, cuando así se requiera en los planos o en las especificaciones del proyecto. Las proporciones del concreto, incluyendo la relación agua / cemento o agua / materiales cementantes, se establecen con base en la experiencia de campo o por mezclas de prueba en el

laboratorio con los materiales que hayan de utilizarse, a menos que en las especificaciones se indique el proporcionamiento basado en relaciones agua / cemento máximas y en contenidos de cemento mínimos (ver tabla 3.2).

Tabla 3.2. Proporcionamiento del concreto con base en la relación agua / cemento máxima y del contenido de cemento mínimo

Concreto sin aire incluido

Clase de Concreto ⁽¹⁾	Relación agua/cemento, máxima ⁽²⁾		Contenido de Cemento Mínimo. Sacos de 42.5kg/m ³ de Concreto.
	Agua / cemento	Litros/Saco	
14 (2000)	0.71	30.0	6.5
17.5 (2500)	0.62	26.5	7
21 (3000)	0.58	24.5	7.5
24.5 (3500)	0.53	22.5	8
28 (4000) ⁽³⁾	0.44	19.0	8.5

Resistencia a compresión a 28 días, expresada en MPa (lb/pulg²).

⁽²⁾ La cantidad de agua requerida para el asentamiento o revenimiento queda fija y se varía la cantidad de cemento para cumplir con los requisitos de esta tabla.

⁽³⁾ Las proporciones para mezclas de mayor resistencia que las indicadas, deberán establecerse basadas en 2.3.c (c).

Concretos con aire incluido ⁽⁴⁾

Clase de Concreto ⁽¹⁾	Relación agua/cemento, máxima ⁽²⁾		Contenido de Cemento Mínimo. Sacos de 42.5kg/m ³ de Concreto.
	Agua / cemento	Litros/Saco	
14 (2000)	0.58	24.5	7.5
17.5 (2500)	0.53	22.5	8
21 (3000)	0.49	21	8.5
24.5 (3500)	0.44	19	9
⁽³⁾ ---	---	---	---

⁽¹⁾ Resistencia a compresión a 28 días, expresada en MPa (lb/pulg²).

⁽²⁾ La cantidad de agua requerida para el asentamiento o revenimiento queda fija y se varía la cantidad de cemento para cumplir con los requisitos de esta tabla.

⁽³⁾ Las proporciones para mezclas de mayor resistencia que las indicadas, deberán establecerse basadas en 2.3.c (c).

⁽⁴⁾ El contenido de aire del concreto con aire incluido no debe sobrepasar los límites de 2.3.c (1).

La tabla anterior puede ser utilizada únicamente para concreto fabricado con cementos con resistencia de 28Mpa (280kg/cm²) o mayor y no es aplicable a concretos con agregados livianos o con aditivos que no sean incorporadores de aire. Otros parámetros para establecer el proporcionamiento del concreto es el basado en condiciones especiales de exposición, como concreto expuesto a congelación y deshielo o a la acción de productos químicos deshelantes (que no aplica en la construcción de puentes en el país), concretos que estarán en contacto con agua dulce o salada, (ver tabla 3.3), expuestos a soluciones que contengan sulfatos (ver tabla 3.4), contenidos de cloruros que causen corrosión (ver tabla 3.5); revenimiento, tamaño máximo del agregado, resistencia y aditivos a emplear que se limita a aquellos de tipo fluidificantes (sin cloruro), para lograr trabajabilidad, sin incrementar la relación agua-cemento (a/c). Sin embargo los requerimientos, para diseñar mezclas de concreto pueden incluir todos estos requisitos o sólo una parte de ellos. La dosificación se hace por peso, utilizando los materiales que el contratista haya acopiado en el lugar de la obra, y el cemento y agua, que realmente empleará en la construcción donde el tipo de granulometría y proporción entre los diferentes tipos de componentes del concreto queda determina por el diseño de la mezcla. A pesar de que existen varios procedimientos en el anexo 4 se propone el método, del American Concrete Institute, que incluye el mayor número de procedimientos que los ingenieros pueden utilizar para balancear mezclas por peso.

Tabla 3.3 Relación agua / materiales cementantes, máxima y resistencia a compresión mínima permitida para concretos en condiciones de exposición especial

Condición de Exposición	Relación Agua / cementantes, Máxima	Resistencia a Compresión Mínima a 28 días	
		Kg/cm ²	Lb/pulg ²
1) Concretos que deban ser de baja permeabilidad al agua: a) Concreto expuesto al agua dulce b) Concreto expuesto al agua salobre o al agua de mar u otras aguas o suelos agresivos.	0.50	280	4000
	0.45	315	4500
2) Concreto expuesto a congelamiento en condiciones húmedas: a) Barandales, canaletas, guardarieles y otras secciones delgadas. b) Otros elementos c) En presencia de sales deshelantes.	0.45	315	4500
	0.50	280	4000
	0.45	315	4500
Para proteger contra la corrosión al refuerzo en concretos expuestos a sales deshelantes, agua salobre, agua de mar u otras aguas o suelos agresivos.	0.40 ⁽¹⁾	315	5000

⁽¹⁾ Cuando el recubrimiento mínimo del refuerzo indicado en Tabla 3.6 se incremente en 13mm, la relación agua / cemento se podrá incrementar a 0.45.

NOTA: para concreto expuesto a sales deshelantes, la masa máxima de ceniza volante y puzolanas, humo de sílice o escorias que se incluyan en el concreto no deberá ser mayor de 25, 10 y 50% respectivamente, de la masa total de cementantes y la masa total de adiciones no deberá sobrepasar el 50% de la masa total de cementantes.

Tabla 3.4 Tipos de Cemento y Relación Agua/Materiales Cementantes máxima permitidos para concretos expuestos a soluciones que contengan sulfatos

Grado de Exposición a Sulfatos	Sulfato (SO ₄) Soluble en el Suelo (% en masa)	Sulfato (SO ₄) en el Agua (en mg/l)	Tipos de Cementos Recomendados	Relación Agua / cementantes Máxima por Masa ⁽¹⁾	Resistencia a compresión mínima 28 días MPa lb/pulg ²
Insignificante	0.0 a 0.10	0-150	---	---	---- ----
Moderado ⁽²⁾	0.10 a 0.20	150-1500	II, IP, IPM, IS, ISM	0.50	28 4000
Severo	0.20 a 2.0	1500-10000	V ó P	0.45	31.5 4500

Muy Severo	Más de 2.0	Más de 10000	V más puzolana o escoria ⁽³⁾ P y IS.	0.45	31.5 4500
------------	------------	--------------	---	------	-----------

⁽¹⁾ Para lograr una baja permeabilidad del concreto, para la protección contra la corrosión del refuerzo u otras piezas ahogadas en el concreto, o para protección contra la congelación y el deshielo en condiciones de humedad, podrá requerirse una relación agua / cementantes más baja. Ver tabla 3.6.

⁽²⁾ Normal para la exposición al agua de mar.

⁽³⁾ Se refiere a puzolanas o escorias de alto horno que, mediante pruebas de servicio o de laboratorio, hayan demostrado mejorar la resistencia a los sulfatos cuando se les emplea con cemento tipo V.

Tabla 3.5 Contenido máximo de Cloruros para la protección del Refuerzo

Tipo de Elemento	Contenido Máximo de iones de Cloruro (CL ⁻) Solubles en Agua, en el Concreto (Porcentaje por Masa de Cemento)
Concreto Presforzado	0.06
Concreto Reforzado Expuesto a Cloruros ⁽¹⁾	0.15
Concreto Reforzado que estará seco o protegido de la humedad.	1.00
Otras construcciones de concreto reforzado	0.30

⁽¹⁾ El contenido de cloruros se determina de acuerdo con ASTM C 1218.

Tabla 3.6 Recubrimientos mínimos de Concreto, en mm, para protección del hierro de refuerzo contra la Corrosión ⁽¹⁾ ⁽²⁾

Condiciones de Exposición	CONCRETO REFORZADO		CONCRETO PRESFORZADO	
	COLADO	PREFABRICADO	COLADO	PREFABRICADO
1) Concreto fundido en contacto con el suelo y permanentemente expuesto a él.	75	---	75	---

2) Concreto expuesto al suelo, agua o a la intemperie.				
a) <u>Losas, muros y viguetas:</u>				
Barras #14 a #18.....	50	40	30	25
Barras #11 y menores.....	40	20	30	25
<u>Vigas y columnas:</u>				
Refuerzo principal.....	50	40	40	40
Estribos y espirales.....	40	30	40	30
<u>Cáscaras y elementos similares:</u>				
Barras #6 y mayores.....	50	40	40	40
Barras #5 y alambre W31, D31 y menores.....	40	30	40	30
Concreto no en contacto con el suelo, agua ni expuesto a la intemperie.				
<u>Losas, muros y viguetas:</u>				
Barras #14 a #18.....	40	30	20	20
Barras #11 y menores.....	20	15	20	15
<u>Vigas y columnas:</u>				
Refuerzo principal.....	40	$d_b^{(3)}$	40	$d_b^{(3)}$
Estribos y espirales.....	40	10	25	10
<u>Cáscaras y elementos similares:</u>				
Barras #6 y mayores.....	20	15	$d_b^{(4)}$	15
Barras #5 y alambre W31, D31 y menores.....	13	10	10	10

(1) Para los casos de exposición muy severa a ambientes corrosivos, los planos o las Disposiciones Especiales pueden establecer o el Delegado Residente puede ordenar un recubrimiento mayor o el empleo de un concreto más denso o impermeable o el suministro de cualquier otro tipo de protección adecuada (recubrimientos o selladores), cuyo empleo se autorice previamente. Cuando por razones de protección contra el fuego se especifiquen recubrimientos mayores que los indicados se deben utilizar esos espesores mayores.

(2) Para concretos presforzados que deban permanecer expuestos a la intemperie, o en contacto con el suelo en ambientes corrosivos y para los cuales se exceda el esfuerzo permisible de tracción en la zona precomprimida de tracción, el recubrimiento mínimo se debe incrementar en un cincuenta por ciento (50%). Para concretos presforzados, fabricados bajo condiciones de control en planta, el recubrimiento del refuerzo no presforzado debe ser el indicado para concreto prefabricado.

(3) “ d_b ” es el diámetro de la barra, pero el recubrimiento no debe ser en ningún caso, menor que 15 mm, ni mayor que 40 mm.

(4) “ d_b ” es el diámetro de la barra, pero el recubrimiento no debe ser en ningún caso, menor que 20 mm.

3.2.2 MATERIALES PARA LA ELABORACION DEL CONCRETO

3.2.2.1 AGREGADOS

Agregado fino. La graduación del agregado fino puede estar dentro de los límites de la Tabla 3.7

Tabla 3.7 Graduación de los agregados

TAMICES AASHTO M 92	PORCENTAJE EN MASA QUE PASA
9.500 mm 3/8"	100
4.750 mm No.4	95-100
2.360 mm No.8	80-100
1.180 mm 16	50-85
0.600 mm 30	25-60
0.300 mm 50	10-30 ⁽¹⁾
0.150 mm 100	2-10 ⁽¹⁾
0.075 mm 200	0- 5 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Para concreto de pavimentos estos límites pueden quedar: de 5-30 para tamiz 0.300 mm (No. 50), y de 0-10 para Tamiz 0.150 mm (No. 100).

⁽²⁾ Para concreto sujeto a desgaste superficial, estos límites se reducen a 0-3.

Agregado grueso. Consiste de grava o piedra triturada sin poros, proveniente de roca sana y compactada. Puede ser roca dura y cristalina, libre de pizarra, laja o piezas en descomposición. Los requerimientos de la grava son estipulados en las normas, entre las que están, AASHTO M 80 y ASTM C 33, AASHTO T 104 ó ASTM C 88 AASHTO T 96 ó ASTM C 131 y ASTM C 535.

Sin embargo, antes de proceder al uso del agregado se verifica que los porcentajes en peso de sustancias dañinas no excedan los valores siguientes:

Tipo de agregado grueso % en peso

Materiales ligeros (ASTM C-330), 2.0%

Terrones de arcilla (ASTM C-124), 0.5%

Total de otras sustancias dañinas, 1.0%

Suma máxima de sustancias dañinas, 3.0%

A partir del proporcionamiento del concreto se verifica lo siguiente:

Que la masa de concreto fresco sea manejable. Que el concreto endurecido posea la resistencia y durabilidad requeridas en las especificaciones. Que el costo por el proporcionamiento cumpla con la calidad esperada.

3.2.2.2 AGUA

El agua utilizada para lavar arenas y gravas como agregados, y para el uso con cemento en la elaboración de morteros y concreto fresco, tiene que estar limpia, fresca, libre de aceites, ácidos, sales, álcali, cloruros, materia orgánica u otras sustancias que afecten la resistencia, densidad, impermeabilidad y durabilidad del concreto y el hierro de refuerzos. Debido al alto valor corrosivo que producen las altas concentraciones de iones de cloruro, el límite de concentración de estos es menor que 400ppm. Cuando la calidad del agua sea cuestionable se somete a criterios de aceptación (ver anexo 5).

3.2.2.3 CEMENTO

La especificación AASHTO M 85 detalla 5 tipos de cemento Pórtland que pueden ser empleados en trabajos de construcción de puentes:

Tipo 1, cuando no se necesitan propiedades especiales de otro tipo. Tipo 2, cuando se requiere alta resistencia inicial. Tipo III cuando se requiere altas resistencias en períodos cortos de tiempo, generalmente una semana o menos. Tipo IV cuando se necesita minimizar la cantidad y ritmo de calor generado por el cemento. Tipo V es empleado cuando el material es expuesto a la acción severa de sulfatos. Los cementos más utilizados son los tipo I y tipo II y los requerimientos del cemento Pórtland tipo 1, se detallan en las especificaciones de la norma A.S.T.M. C-150-71.

Antes utilizar cualquier tipo de cemento, se revisa y aprueba por la supervisión en el momento en que es entregado en la obra en su empaque original y permanece sellado hasta el momento de su uso. El almacenamiento del cemento se hace en bodegas secas, cerrando todas las grietas o aberturas dentro de la misma. Las bolsas se colocan sobre plataformas de madera, levantadas 15cm sobre el piso y ordenadas una sobre otra para reducir la circulación de aire y hasta un máximo de 10 unidades y su almacenamiento será no mayor que 30 días, evitando el contacto con paredes exteriores. Para disponer el cemento a utilizar se selecciona primero aquel que tenga más tiempo de estar almacenado, antes de usar el cemento acopiado más reciente. Durante el proceso de colado es importante, y no es aconsejable, mezclar en un mismo colado cementos de diferentes marcas, tipos o cualidades ya que pueden producir resistencias a la compresión o reacciones diferentes a las esperadas.

3.2.2.4 ADITIVOS

Para utilizar aditivos, el contratista solicita autorización de la supervisión siguiendo estrictamente las instrucciones impresas por el fabricante y para verificar los efectos se efectúan pruebas en cilindros de concreto. Entre los aditivos más utilizados se tienen los siguientes:

- **Inclusores de aire.** Se utilizan para producir deliberadamente burbujas de aire muy pequeñas espaciadas uniformemente en la mezcla de concreto. Mejora la trabajabilidad del concreto en estado plástico y da mayor resistencia a ciclos de congelamiento y deshielo. Una aplicación en la

construcción de puentes se evidencia en la parte superior del tablero, cuando se usan sales para descongelar. La eficiencia de estos aditivos puede ser afectada por factores como: presencia de otros aditivos, tiempo y velocidad de mezclado del concreto, contenido de agua de la mezcla de concreto, tipos de agregados, temperatura, contenido de cementos y finos.

- Reductores de agua. Son compuestos químicos que minizan las cargas eléctricas entre las partículas de cemento, disgregándolas y dispersándolas. Este efecto hace posible reducir la cantidad de agua y obtener la misma plasticidad en la mezcla o aumentar la plasticidad para facilitar el colado del concreto.
- Retardantes. Permiten retardar el tiempo de fraguado del concreto. Pueden ser utilizados cuando se coloca el concreto en dos capas, sirviendo para prevenir la formación de juntas frías entre las capas.
- Acelerantes. Son utilizados cuando es necesario remover rápidamente formaleatas, o cuando hay temperaturas muy bajas durante el proceso de fraguado. El tipo más común es el cloruro de calcio (CaCl_2), sin embargo, es prohibido utilizarlo en concreto presforzado por su alta acción corrosiva. En la tabla 3.8 se detallan las normas que regulan el uso de los aditivos utilizados en la construcción.

Tabla 3.8 Normas que regulan el uso de los aditivos utilizados en la construcción.

ADITIVOS	NORMAS
Incorporadores de aire o Inclusores	AASHTO M 154, ASTM C260
Retardantes	AASHTO M 194, ASTM C 494
Acelerantes	AASHTO M 194, ASTM C 494
Reductores de agua, reductores de agua y retardantes, reductores de agua y acelerantes, reductores de agua de alto rango y reductores de agua de alto rango y retardantes tipo A, D, E, F y G	AASHTO M 194, ASTM C 494
Plastificantes y plastificantes y retardantes tipo I y II	ASTM C 1017
Cloruro de Calcio	AASHTO M 144 ó ASTM D 98
Ceniza Volante de Carbón y Otras Puzolanas Naturales o Artificiales ²	AASHTO M 295, ASTM C 618
Escoria Granulada de Alto Horno como aditivo mineral ²	AASHTO M 302 y ASTM C 989, para grados 100 y 120
Humo de Sílice (o Microsílice) ⁽¹⁾	AASHTO M 307 y ASTM C 1240
Aditivos Expansivos y Reductores de Contracción	ASTM C 845 sin producir efectos nocivos secundarios en el concreto.

⁽¹⁾ Utilizados en casos especiales como reemplazo parcial del cemento, siempre que no existan en el mercado cementos hidráulicos mezclados o adicionados que contengan estos aditivos.

- Aditivos reductores de agua de alto rango (superfluidificante). Mejoran la trabajabilidad de la mezcla en mayor grado que los reductores estándar. Sin embargo, el tiempo trabajable y de colado se reduce en comparación al tiempo disponible con reductores estándar.

- Aditivos puzolánicos. Un tipo de puzolana comúnmente usada en la construcción con concreto es la ceniza volante¹⁴. Ayuda a controlar la trabajabilidad, particularmente cuando los agregados son deficientes en materiales finos, reduce la efectividad de aditivos inclusores de aire, extiende el tiempo de fraguado, aumenta la resistencia del concreto hidráulico, retarda el proceso de ganancia de resistencia y reduce el calor de hidratación durante etapas tempranas. (ver anexo 6)

3.2.3 CONTROL DE AGREGADOS Y CEMENTO

Antes de la utilización de los materiales, la calidad depende, en gran medida, del tipo de almacenaje y transporte. Si el almacenamiento de los agregados es inadecuado, se pueden contaminar y deteriorar las cualidades de los agregados por la acción de agentes externos como polvo, hielo y pequeñas partículas. Para evitar este problema, una solución es cernir nuevamente los agregados antes de mezclarlos dependiendo del tipo de roca, de la abrasión ocasionada por el transporte, el manejo y de la calidad del concreto que se desee obtener. Otro problema, puede ocasionarse por condiciones de temperatura como es el caso de agregados expuestos al sol de verano que pueden sobrecalentarse, para evitar este problema es necesario resguardarlos con una cubierta de lámina galvanizada o de aluminio. Otra alternativa para enfriarlos eficazmente por evaporación, es remojar o rociar con agua la pila de agregados; una de las técnicas más nuevas es el enfriado por vacío.

¹⁴ Ceniza Volante: producto del desperdicio resultante de la combustión de carbón pulverizado en las plantas de energía eléctrica impulsada por vapor.

En cuanto al cemento, sólo algunas propiedades de él son probadas tal como la gravedad específica (varía entre 3.08 y 3.20) y la finura del cemento utilizando el turbidímetro de Wagner o la permeabilidad en el aire de Blaine. En la especificación del ACI 614 se establecen los procedimientos aprobados. El control también se aplica en los procedimientos constructivos; la exactitud en las proporciones es la base para producir concreto de alta calidad; por consiguiente, el cálculo de las proporciones se hace por peso, automáticamente, en vez de usar controles manuales. Debido al agua que contienen los agregados, es necesario hacer correcciones continuas.

3.2.4 TECNICAS DE PREPARADO DEL CONCRETO

La producción y suministro de concreto fresco se hace por cualesquiera de las siguientes operaciones y/o sus combinaciones:

- Concreto mezclado en planta central estacionaria. Puede ser transportado al lugar de la obra en una agitadora de camión o en equipo sin agitación previamente aprobado por la supervisión.
- Concreto mezclado parcialmente en planta central estacionaria y terminado en tránsito (en mezcladoras de camión).
- Concreto mezclado en tránsito o al llegar al proyecto (en mezcladoras de camión).
- Concreto producido en mezcladoras continuas móviles.

- Concreto premezclado proveniente de plantas externas a la obra. Los requisitos aplicables se encuentran en las normas de la AASHTO M157, ASTM C 94.
- Concreto mezclado manualmente. Se emplea solamente cuando se trata de estructuras secundarias o en casos de emergencia, en los que se requiera un pequeño volumen de concreto.
- Concreto envasado, mezclado en seco. Se emplea en reparaciones y para estructuras secundarias de pequeño volumen con previa autorización del supervisor

3.2.4.1 COLOCACION Y CONSOLIDACION DEL CONCRETO

Previamente a la colocación del concreto, tanto el interior de las formaletas como el acero de refuerzo y los demás elementos que deban quedar dentro de éste, se limpian; el aserrín, viruta y otras basuras o materias extrañas se remueven antes de la colocación que se realiza preferentemente en horas diurnas, salvo que se disponga de un sistema adecuado de iluminación para trabajos nocturnos. Los elementos de arriostamiento y/o espaciadores utilizados temporalmente para conservar la forma y la alineación de las formaletas, son removidos cuando el concreto que se esté colocando alcance la altura de los mismos para que no queden dentro del concreto. Para evitar que las formaletas de madera, las superficies de cimentación, la subrasante y cualesquiera otras superficies, absorban humedad, se mojan antes de colocar el concreto.

La colocación del concreto se hace de tal manera que se evite la segregación de los agregados y el desplazamiento del acero de refuerzo, depositándolo lo más cercano posible a su posición final. Se deposita en seco y no se expone a la acción del agua, antes de su fraguado final; excepto que se toman las precauciones y consideraciones para cuando el concreto es depositado bajo el agua. El colado es realizado en una operación continua, sin interrupciones mayores que 45 minutos entre la colocación de porciones contiguas de concreto; cada capa es colocada y consolidada antes de que la precedente haya alcanzado su fraguado inicial (cuando el concreto ya no es trabajable y no puede ser compactado por medio del vibrado), para evitar la formación de una junta de construcción no prevista. Siempre que sea posible, el concreto es descargado verticalmente dentro de las formaleas, para reducir al mínimo la segregación. Cuando la caída exceda de 1.5 metros, el concreto se deposita por medios apropiados (tolvas, ductos, baldes, tuberías, cucharones, etc.) aprobados por el ingeniero residente y la supervisión. La colocación del equipo se planifica para que su operación no dañe el concreto recién colocado. Cuando se haya completado el bombeo, el concreto que permanezca en las tuberías, si ha de ser utilizado, se evacua para que no ocurra segregación ni contaminación del mismo.

La consolidación y compactación del concreto se hace preferiblemente con vibradores mecánicos del tipo inmersión. La consolidación por medios manuales es permitida únicamente cuando no sea posible usar vibradores. La frecuencia mínima de la vibración es 5,000 impulsos por minuto y con intensidad y duración

suficientes para producir la plasticidad y la consolidación adecuada del concreto, algunos requisitos para utilizar vibradores para el concreto se muestran en la tabla. Preferentemente los vibradores deben llenar los requisitos señalados en Tabla 3.9. Para lograr la compactación de una capa antes de que se deposite la siguiente, sin demorar la descarga, se usan vibradores en número suficiente, para consolidar el concreto que se está recibiendo, dentro de los 15 minutos después de haber sido colocado en las formaletas. La vibración se aplica en el punto de descarga y donde haya concreto depositado poco antes. Los vibradores se insertan verticalmente atravesando la capa que se está consolidando y penetrando algunos centímetros dentro de la capa colocada anteriormente (la que está aún en estado plástico) a intervalos sistemáticos de tal manera que se logre una compactación adecuada. Los puntos de aplicación deben espaciarse uniformemente, a distancias no mayores que el doble del radio de vibración efectiva de los vibradores indicados en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Requisitos de los vibradores de inmersión

Diámetro Cabezal (mm)	Frecuencia (vibraciones / minuto)	Radio de acción (mm)	Usos
19-38	10,000 a 15,000	75 a 125	Concreto plástico y fluído en componentes delgados y en lugares confinados ⁽¹⁾
32-64	9,000 a 13,500	125 a 255	Concreto plástico 100-150 mm de asentamiento en muros, columnas, vigas y losas delgadas ⁽¹⁾
50-89	8,000 a 12,000	180 a 485	Concreto de menos de 80 mm de asentamiento usado en muros, vigas, columnas, pilas, losas gruesas.

⁽¹⁾ Pueden ser usados para complementar el uso de vibradores más grandes en áreas confinadas o muy reforzadas.

Después de que el concreto haya alcanzado su fraguado inicial, no se debe mover, sacudir o vibrar las formaletas ni provocar esfuerzos o vibraciones en los extremos de las barras de refuerzo que sobresalgan fuera de la fundición, o en el refuerzo contiguo a las zonas recién fundidas, con el fin de obtener un concreto debidamente compactado, carente de cavidades, burbujas y similares. En las esquinas y puntos muy reforzados o en secciones muy angostas donde sea difícil obtener una vibración adecuada, la vibración es complementada por la compactación manual que sea necesaria.

Equipo de colocación del concreto. Consiste en bombas y tuberías, baldes o cubos, cucharones, tolvas, ductos de descarga, vagonetas, carretillas, canaletas (de metal o con revestimiento metálico, de sección circular utilizadas para distancias cortas, preferiblemente menor que 6 m), bandas transportadoras y tremies¹⁵. Las bombas de pistón, rotatorias o neumáticas junto con las plumas para sostén y guía de mangueras y tuberías son previamente aprobadas por la supervisión.

3.2.4.2 CURADO DEL CONCRETO

Inmediatamente después del retiro de las formaletas y de la terminación del acabado superficial, el concreto es curado por alguno de los métodos indicados a continuación, por un período de por lo menos siete (7) días.

¹⁵ Son tubos que tienen su extremo superior en forma de embudo. Usualmente, el diámetro de los tremies es igual a 8 veces el tamaño máximo del agregado empleado, pero en ningún caso, inferior a los 250 mm (10 pulgadas)

- Método de Curado con Agua. Consisten en mantener la superficie de concreto continuamente mojada por inundación o lámina de agua, rociado con agua finamente pulverizada, por riego continuo de agua, o por aplicación de cubiertas o materiales que se mantienen empapados durante el período de curado (tierra o arena mojada, esterillas de algodón o capas de brines empapados).
- Método de Curado por Compuestos Líquidos Formadores de Membranas de Curado. A todas las superficies se les da el acabado superficial especificado y se les debe mantener mojadas, por rociado continuo de agua o aplicación de cubiertas mojadas, antes de proceder a la aplicación del compuesto líquido. Los compuestos líquidos son mezclados antes de usarlos y agitar continuamente durante su aplicación, para prevenir el asentamiento de los sólidos en suspensión. La membrana se aplica uniformemente con equipo de rociado o regado, a la velocidad y cobertura recomendadas por el fabricante, pero no menor que 0.15 Lt./m² de superficie de concreto. La aplicación se hace en dos capas, aplicando la segunda dentro de los 30 minutos en ángulo recto con respecto a la primera.
- Procedimiento combinado agua / compuesto de curado. La superficie superior de losas de puentes, losas de acceso y aceras, puede ser curada por medio de una combinación de un compuesto de curado formador de membrana, seguido por un curado con agua. El compuesto de curado se

aplica en forma progresiva inmediatamente después de finalizadas las operaciones de acabado sobre porciones individuales de las superficies de concreto. La superficie se cubre a más tardar cuatro (4) horas después de finalizado el acabado con esterillas de algodón, brines o arpilleras u otros materiales retenedores de humedad, saturados con agua. Toda el área se cubre después con papel o lámina de plástico impermeables.

- Curado dejando la formaleta en su sitio. El concreto se mantiene húmedo y protegido por las formaletas, por lo menos durante siete (7) días, pero las formaletas se mojan intermitentemente y se protegen de los rayos directos del sol, especialmente en climas calurosos. Las superficies expuestas son curadas con agua o con compuesto líquido de curado.
- Curado a vapor y otros métodos de curado. Cuando el contratista tenga las facilidades adecuadas, y previa aprobación del supervisor, se podrá utilizar métodos de curado por vapor a presión atmosférica, u otros métodos apropiados (eléctricos, infrarrojos, aceite caliente, etc.).

3.4.2.3 PREPARACION DEL MORTERO

El mortero se prepara en un depósito de mezcla, vertiendo primeramente el agua, luego el cemento, la arena y finalmente el plastificante. En general, la mezcla se hace por medio de un agitador eléctrico de hélice, a medida que se van introduciendo los elementos. Se continúa durante 3 minutos, después de la introducción de la totalidad de los componentes. El depósito de mezcla se sitúa a suficiente altura para permitir el vertido del mortero en un segundo recipiente,

cubo de alimentación colocado más bajo que el primero. Antes de caer en el cubo de alimentación, el mortero es pasado por un tamiz de mallas de 2 mm, para eliminar impurezas y grumos. Si no se utiliza inmediatamente el mortero del cubo de alimentación, este se agita periódicamente para evitar la segregación. En caso de pequeñas obras desprovistas de corriente eléctrica, la mezcla se hace a mano. La arena a utilizar tiene que estar formada por partículas sanas, duras, exentas de polvo, grasas, sales, álcalis, sustancias orgánicas y otros perjudiciales para el concreto. La granulometría de los agregados gruesos y finos es designada según la norma C-33 de la ASTM.

3.4.2.4 CONTROLES DEL CONCRETO

Para el control de calidad del concreto se toman muestras para los ensayos de resistencia de cada clase de concreto producido por la planta mezcladora, como mínimo una vez por cada cien metros cúbicos (100 m^3) o fracción de concreto colocado diariamente en una estructura y de cargas de concreto diferentes, a menos que por el grado de supervisión y de control de las operaciones, el supervisor autorice un muestreo más espaciado. En ningún caso, el número de muestras será menor que una (1) por día o una por cada ciento veinte metros cúbicos (120 m^3) de concreto colocado diariamente y no menos de una (1) por cada 500 m^2 de superficie de losa y muros. Si para un volumen total de concreto la frecuencia de muestreo se indica que proporcione menos de cinco (5), resultados de ensayos de resistencia para una clase dada de concreto, los ensayos se realizan en muestras representativas de por lo menos cinco (5) cargas de

concreto seleccionadas al azar, o en una (1) por cada carga cuando se emplee menos de cinco (5) cargas.

El muestreo del concreto se hace al ser recibido en la obra, de la descarga de las mezcladoras o agitadores de camión, de la descarga de las mezcladoras en el sitio de la obra o de la descarga de las tuberías del equipo de bombeo, según el caso. Los cilindros y/o viguetas para los ensayos de aceptación son moldeados y curados bajo condiciones de humedad y temperatura en el laboratorio, de acuerdo con las normas de la AASHTO T 23, ASTM C 31. Para comprobar la adecuación del curado, el ingeniero supervisor puede solicitar resultados de especímenes curados bajo las condiciones de campo. El “resultado de ensayo” o “un ensayo de resistencia” es el promedio de por lo menos dos (2) especímenes obtenidos de la misma muestra de concreto y ensayados a la edad especificada realizada a los 7 ó a 28 días, o a la edad establecida en las especificaciones. Otros tipos de ensayos que también son utilizado en el control de calidad del concreto son detallados en el apartado de puentes de concreto presforzado.

3.2.6 MOLDES METALICOS

Los encofrados construidos con piezas metálicas, se diseñan para adquirir la resistencia para soportar la presión del concreto y las cargas vivas de la construcción, sin producir desplazamientos durante el colado y el curado. Los moldes se sellan para evitar escurrimientos. Aquellas partes donde no es posible colocar piezas metálicas, se cubren con madera, de tal forma que la madera funcione como material complementario. Para evitar la segregación del concreto

en el colado de columnas, es necesario proveer ventanas temporales, espaciadas verticalmente cada 1 m

Para garantizar que las caras o superficies de concreto moldeados en formaletas, no presentarán defectos, bombeos, resaltes ni rebabas de más de cinco (5) milímetros de altura, se revisa antes del colado del concreto que las superficies interiores sean uniformes y lisas. Para sujetar las formaletas, se utilizan pernos, grapas u otros dispositivos necesarios para evitar que éstas se separen durante la colocación del concreto. Los amarres de metal, anclajes y espaciadores de las formaletas se diseñan de tal forma que ningún metal quede cerca de una superficie o cara expuesta y que tengan la resistencia para no doblarse si los trabajadores suben por ellos. Asimismo, todos los accesorios y amarres metálicos son diseñados en forma tal que, una vez removidos, las cavidades resultantes sean del menor tamaño posible. Estas cavidades se llenan con mortero de cemento dejando la superficie firme, lisa y uniforme de color.

3.2.7 REFUERZO ESTRUCTURAL

3.2.7.1 ALCANCES

Comprende suministro, transporte y colocación del hierro de refuerzo del proyecto según planos estructurales y especificaciones técnicas. Además, el almacenamiento, detallado en planos de taller, corte y doblado; así mismo, los amarres, separadores y otros accesorios (soldadura cuando se especifique), para soportar y espaciar el hierro de refuerzo.

3.2.7.2 RESISTENCIA DEL HIERRO DE REFUERZO

Las barras o hierro de refuerzo son fabricadas de acuerdo con las normas del ACI 315 y ACI 318. El hierro de refuerzo, varillas lisas y corrugadas, es elaborado en diferentes grados de resistencia tal como se presentan a continuación.

Grado 40 $F_y = 2,800 \text{ kg/cm}^2$

Grado 50 $F_y = 3,500 \text{ kg/cm}^2$

Grado 60 $F_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$

Grado 75 $F_y = 5,200 \text{ kg/cm}^2$

Las varillas de hierro grado 40, 50, 60 son utilizadas en la construcción de puentes. El hierro grado 60 es el más utilizado, pues provee económicamente la capacidad de todos los elementos estructurales que se forjan. El hierro de refuerzo es almacenado donde sea protegido de la intemperie, de esfuerzos concentrados y de cualquier condición que le haga perder área transversal, o como lo indique el supervisor.

3.2.7.3 ALMACENAJE Y PROTECCION

El acero de refuerzo se almacena por encima del nivel del terreno, sobre plataformas, largueros, bloques u otros soportes de madera u otro material adecuado y se protege contra daños mecánicos y deterioro superficial, incluyendo los efectos de la intemperie y ambientes corrosivos. En el caso de acero de refuerzo recubierto con epóxico, los haces de barras se soportan sobre soportes acolchonados. En su levantado y manipuleo, se evita que las barras se doblen o rocen entre sí. Se evita golpear o dejar caer o arrastrar los haces de barras. Antes

de usarse las barras, son inspeccionadas para determinar visualmente defectos del recubrimiento epóxico.

3.2.7.4 DOBLADO DE LAS BARRAS

A menos que se especifique en los planos y especificaciones, las barras se doblan en frío. Los dobleces y cortes los realizan los obreros. La aplicación de calor para el doblado puede utilizarse bajo el control de la supervisión con precauciones para asegurar que las propiedades físicas y mecánicas del hierro no se alteren. En este caso, la temperatura de calentamiento tiene que estar entre 590° a 650°C y se aplica de tal forma que se obtenga un calentamiento uniforme de la porción de la barra que será doblada en una longitud de barra de por lo menos 5 diámetros de barra a cada lado del centro del doblado. A menos que los planos lo muestren en otra forma, los dobleces deben hacerse de acuerdo con los requisitos siguientes:

Los estribos de barras número 3 ó menor, y las barras de amarre o sujeción del refuerzo, se doblan alrededor de un pasador de radio no menor que el diámetro del estribo o barra. Los dobleces para las otras barras, tendrán radios en el interior de la barra no menores de los indicados en la tabla 3.10, salvo que se indique de otra forma en los planos y las especificaciones. Además, el inicio del doblado no debe estar más cerca de la superficie de concreto que la distancia del diámetro mínimo del doblado.

Tabla 3.10 Radio de doblez según diámetro de la barra

NUMERO DE LA BARRA	RADIO MINIMO DEL DOBLEZ INTERIOR
3 al 8	6 diámetros de barra
9, 10 y 11	8 diámetros de barra
14 y 18	10 diámetros de barra

Las medidas de los ganchos estándar y demás detalles de dobleces y medidas de las barras de refuerzo no indicados en los planos se establecen de acuerdo con normas del ACI 315 y 315R.

3.2.8 VAINAS O DUCTOS

La materia prima para su fabricación es, fleje de acero que tiene 3.6cm de ancho y un espesor que oscila entre 0.20mm a 0.30mm con las siguientes características: laminado en frío y que esté calificado, por ejemplo, JIJ G-3141 u otro similar.

Las vainas se hacen al engrapar el fleje en sentido longitudinal, formando una espiral, lo cual permite que su fabricación sea continua. Se presenta regularmente en diámetros de 33 mm, a 39 mm, 42 mm, 55 mm, 69 mm y 72mm, con longitud de 6m de largo cada pieza. La unión de los ductos en el campo se realiza por medio de ductos mayores en diámetro que reciben el nombre de acopladores, siendo éstos de 2 mm a 3 mm más de diámetro; debido a la fabricación en espiral, el ducto y el acoplador forman una especie de tornillo y tuerca, por esta razón, la operación se realiza roscando el ducto dentro del acoplador. La vaina o ducto cumple lo siguiente:

- Impermeable, para que no entre la lechada en el curso del colado, lo que impediría el tensado.
- Resistente, para que no sufra deformaciones o aplastamiento la sección transversal, lo cual aumentaría las pérdidas por flexión en el cable. Es decir, que sea rígido, en lo referente a la sección transversal en el momento del colado del concreto.
- Dé una flexibilidad adecuada para aceptar las curvaturas previstas en los planos. Estas curvaturas pueden ser máximas, determinadas por el radio que las produce, los radios mínimos van relacionados con el diámetro del ducto así:
 - Para ductos comprendidos entre 35 mm a 48 mm de diámetro, el radio de curvatura mínimo será de 3 m.
 - Para ductos comprendidos entre 55 mm a 60 mm de diámetro, el radio de curvatura mínimo será de 5m.

3.2.9 DISPOSITIVOS PARA SOPORTE

Los dispositivos para soporte especiales (planchas fijas para soporte, pernos de anclaje y soportes de balancín o rodillo) o deslizante como soportes elastoméricos y de Tetrafluoroetileno (TFE) son revisados antes de su colocación con el objetivo de eliminar todas las sustancias deletéreas, chequear que las dimensiones correspondan con las indicadas en los planos. Los materiales utilizados para construir estos dispositivos pueden ser planchas de plomo, bronce o aleación de cobre, almohadillas elastoméricas de soporte (sus requerimientos se especifican

en la norma de la AASHTO M 251), almohadillas preformadas de caucho y fibra de algodón y almohadillas de Tetrafluoroetileno (TFE).

Cuando haya que proporcionar apoyos deslizantes en los extremos de las losas, largueros y vigas principales, se da un acabado pulido al concreto de la superficie de soporte. El área de los asientos de los estribos es saturada con pintura de minio rojo y se colocan encima tres capas de lona de 340 gramos a 400 gramos. Las placas de soporte de la superestructura se ubican en su posición mientras la pintura esté en estado plástico, o cuando ya haya aplicado algún otro material adherido al de las bases o asientos. Si las superficies de contacto están a elevaciones incorrectas, desniveladas o si por otra razón los soportes no pueden ser colocados adecuadamente, se notifica al supervisor y después se suministra una propuesta escrita para ser aprobada indicando las modificaciones sugeridas para la instalación. Los planchas de soporte fijas que no estén empotrados en el concreto, son instaladas utilizando un material de relleno aprobado o algún tejido, mientras que las planchas elastoméricas para soporte se colocan directamente sobre la superficie adecuadamente preparada del concreto, sin colocar material de relleno.

Los soportes se ubican e instalan de tal manera que puedan ser reemplazados posteriormente. No se permiten placas de apoyo sobre los pedestales cuyas superficies estén rugosas, deformadas o irregulares. Si es necesario, se nivela con cepillado las superficies de soporte apoyadas directamente sobre el acero para proveer una superficie plana y a nivel sobre la cual se colocará el soporte.

La localización de pernos de anclaje en relación con los huecos oblongos en las zapatas de expansión depende de la temperatura atmosférica en el momento de la construcción. Las tuercas y los pernos de anclaje, en los extremos de expansión de los tramos, se ajustan para permitir el libre movimiento del tramo.

3.3 PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO

3.3.1 CONCRETO ESTRUCTURAL

3.3.1.1 *DISEÑO DE CONCRETO¹⁶ DE ALTA RESISTENCIA PARA PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO*

Cuando el concreto presforzado se empezó a utilizar, se concluyó que, para alcanzar el éxito técnico y económico en su aplicación, era esencial contar con concreto de alta resistencia¹⁷, ya que el concreto tiene que resistir durante algunas etapas de su vida de servicio una combinación de esfuerzos de compresión, ocasionados por el preesfuerzo y por la carga muerta. A fin de obtener la alta resistencia, la relación a/c (agua-cemento) de la mezcla de concreto generalmente se mantiene por debajo de 0.4, utilizando aditivos superfluidificadores. La baja permeabilidad del concreto de alta resistencia es un factor que favorece la durabilidad en ambientes agresivos (ambientes salinos o con contenido de álcalis) y consecuentemente, es mucho más utilizado en aplicaciones donde la durabilidad, más que la resistencia, es la consideración principal, por ejemplo, estructuras marinas de concreto, puentes con claros largos, túneles por debajo del mar y plataformas petroleras a poca distancia de las costas.

¹⁶ Ver anexo 4. proceso de diseño de mezclas de concreto y ejemplos de diseño de mezclas.

¹⁷ Concreto con resistencia mayor que 40 MPa (>420 kg/cm²).

La resistencia utilizada como parámetro de diseño para estructuras de concreto presforzado es mayor que 28 Mpa (ver tabla 3.1). Para elementos precolados no expuestos a la intemperie ni en contacto con el suelo, se utiliza concreto clase 28, diseñado para alcanzar la resistencia mínima, a los 28 días de 4000 lb/in² (280 kg/cm²), mientras que para elementos expuestos a la intemperie, se utiliza clase 35, diseñada para alcanzar la resistencia de 5000 lb/in² (350 kg/cm²). Esta resistencia se obtiene utilizando relación de agua-cemento de 0.45 y para facilitar el proceso de colado, se deja el revenimiento de 5 a 10 cm La verificación de las mezclas de concreto a utilizar en la obra, se hace por medio de mezclas de prueba en la obra o en laboratorio y se somete a la aprobación del ingeniero residente por lo menos 30 días antes de su empleo en la obra. Posteriormente, el contratista proporciona información sobre los materiales a usar, sus proporciones en masa, registros de ensayos de resistencia del concreto a 7 y 28 días y muestras de los materiales. La aprobación de mezclas puede hacerse aún estando pendiente los resultados de ensayos de resistencia a 28 días basándose en los resultados de resistencia a los 7 días, siempre que éstos sean iguales o excedan el 85% de la resistencia requerida a 28 días, sin usar acelerantes ni cementos de alta resistencia. El revenimiento más empleado es 7.5cm, que se puede obtener con relación agua-cemento de 0.45, para lo que se requiere de 10 sacos de cemento por metro cúbico de concreto.

Cuando por las condiciones propias del proyecto el concreto se coloque en ambientes que puedan alterar su resistencia y durabilidad (ambientes marinos o

bajo agua, expuestos a soluciones que contengan sulfatos y cloruros) el proporcionamiento considera ciertos lineamientos que garanticen la resistencia del concreto bajo estas condiciones especiales. (Ver tablas 3.3 a 3.6 en este mismo capítulo).

Algunas de las consideraciones para obtener resistencia de 400kg/cm² a 500kg/cm² a los 28 días son: agregado grueso con tamaño máximo de 2.5 ó 2 cm, alto contenido de cemento (5 a 6 sacos/m³), baja relación agua-cemento (0.45), aditivos plastificantes y reductores de agua, Mezclado, Vibrado, Curado (con vapor a baja presión, o agua), en climas cálidos, enfriado de los agregados antes de mezclar.

Estas resistencias se especifican para usos tales como: 1. Vigas de concreto presforzado para puentes. La alta resistencia permite usar claros mayores o reducir el número de vigas en cada claro. 2. pilotes y miembros a compresión de concreto presforzado. La capacidad de carga es directamente proporcional a la resistencia. 3. Durmientes para ferrocarril, de concreto reforzados.

Algunas de las justificaciones del uso del concreto de alta resistencia provienen de las ventajas que ofrece, por ejemplo, el mejoramiento de las características de deformación (al aumentar la resistencia se aumenta exponencialmente el módulo de elasticidad según la raíz cuadrada de la resistencia); el mejoramiento de las condiciones de preesfuerzo parcial (al aumentar la raíz cuadrada de la resistencia nominal se incrementa la alta resistencia a la tensión). Por lo cual es posible concluir que, la durabilidad es proporcional a la resistencia, ya que los mismos

factores que aumentan ésta, incrementan la durabilidad, reduciendo la porosidad y la permeabilidad. Sin embargo, la inclusión de aire es una excepción, ya que reduce la resistencia y aumenta la durabilidad en condiciones de congelación y deshielo. La experiencia con el concreto de resistencias de 400 kg/cm² a 500 kg/cm² ha sido muy satisfactoria, en cuanto a durabilidad y resistencia, se han iniciado estudios para obtener concretos con resistencias aún mayores. La “Federación Internacional de la precontrainte” en Francia, mantiene una comisión que investiga las técnicas y evalúa el potencial del concreto con rangos de resistencias mayores que 840 kg/cm² (obtenidas con pruebas de cilindros) y el “American Concrete Institute” de los EE.UU., ha estudiado la consolidación y otros métodos para lograr resistencias de 560 kg/cm² a 730kg/cm².

Los concretos de 500 kg/cm² a 630 kg/cm² de resistencia (y aun de 700 kg/cm²), se pueden obtener utilizando técnicas y materiales convencionales, con los procedimientos siguientes:

1. Selección de los agregados para alta resistencia.
2. Utilización de roca triturada en lugar de grava.
3. Mantener bajo el tamaño máximo del agregado grueso, de 1 cm a 2 cm
4. Dosificado, especialmente para eliminar los finos.
5. Limpieza de agregado, eliminación del polvo y tierra lavándolo y cerniéndolo tantas veces como sea necesario.
6. Mantener fresco el agregado mediante remojo y evaporación, sombra, etc.

8. Seleccionar el cemento para alta resistencia, prestando atención al molido; ya que el molido fino es deseable para alta resistencia rápida, mientras que con el molido más grueso se obtiene la alta resistencia a edades posteriores. Sin embargo, hay tendencia a utilizar moliendas razonablemente finas, como de 4000 Blaine.
9. Relaciones bajas de agua-cemento (0.3 a 0.45). Para lograr la mezcla manejable, es necesario usar aditivos reductores de agua.
10. Vibrado energético (9000 rpm), para consolidar la mezcla áspera y seca, que habitualmente resulta de la aplicación de los pasos anteriores.
11. Curado especial, o sea remojo continuo (para permitir la terminación de reacciones químicas no solamente cuando el concreto alcance su resistencia mínima que es a los 14 días) o bien curado con vapor, seguido de curado con agua.

3.3.2 MATERIALES PARA LA ELABORACION DEL CONCRETO

3.3.2.1 AGREGADOS

Para concretos de alta resistencia, el tamaño máximo, óptimo, del agregado grueso, en la mayoría de los casos, es de 1.9 cm de diámetro ó 3/4 de pulgada, para facilitar la colocación del concreto. Se controla que los agregados no contengan vetas de arcilla que puedan producir cambios excesivos de volumen, como el caso de flujo plástico y contracción. Para concreto normal de alta resistencia, se utiliza tanto la grava como la roca triturada, aunque con la grava se obtiene mejor manejabilidad y compactación, con relaciones bajas de agua-

cemento (0.3 a 0.4); en concretos de muy alta resistencia, se obtienen mejores resultados de trabajabilidad y compactación, utilizando roca triturada, pero se requiere mayor vibrado. Los requisitos para el uso y disposición del agregado grueso se establecen en las normas AASHTO M 80 y ASTM C 33 (graduación del agregado grueso), AASHTO T 104 ó ASTM C 88 (ensayo de desintegración al sulfato de sodio, en ambientes salinos), AASHTO T 96 ó ASTM C 131 y ASTM C 535 (ensayo de abrasión), además, se controla que no reaccionen con sustancias alcalinas del cemento; los agregados de sílice son más propensos, a hacerlo que, los de arcilla, ver especificaciones ASTM C289 y C227 para pruebas estándar de la reactividad alcalina.

El tamaño de los agregados finos puede ser mayor que para el concreto estándar, ya que las proporciones de cemento, dosificadas en concreto presforzado son altas y no necesita una graduación perfecta, según el criterio del diseñador puede aplicarlo a su conveniencia. Se puede aplicar una graduación suficiente para rellenar todos los huecos, para reducir la contracción y mejorar la resistencia y el módulo de elasticidad ($E_c=15100\sqrt{f_c}$)kg/cm². Las mezclas secas originadas por polvo o tierra hacen que el concreto sea pegajoso y difícil de colocar; para lo cual, es necesario limpiar previamente los agregados. La tierra o el polvo comúnmente ocasionan fraguado muy rápido y reducen la resistencia, aumentando la contracción, de ahí que sea conveniente lavar los agregados con agua antes del proceso de mezclado. Otro elemento a controlar es la cantidad de sal que pueda depositarse en ellos, especialmente en los agregados finos, después de

sumergirlos en agua salada, o a causa de nieblas salinas ya que puede contribuir a iniciar la corrosión electroquímica; esto es particularmente peligroso cuando se utiliza el curado con vapor de agua para adecuar la temperatura de los agregados a la de la mezcla.

Debido a que la temperatura de los agregados constituye del 70% al 75% de la mezcla es necesario adecuar la temperatura de los agregados a la de la mezcla. Un método utilizado para enfriarlos en el verano es por evaporación del agua contenida. Para evitar el polvo y enfriar el agregado por evaporación, se pueden utilizar “remojadores” de agua, que rieguen continuamente las pilas de agregados. Algunos de los requerimientos del agregado fino se establecen en: las normas de la AASHTO T 106 (ASTM C 109), establece la resistencia en morteros hechos con arena normalizada, AASHTO T 104 (ensayo de desintegración al sulfato de sodio), AASHTO T 176 (para determinar el equivalente de arena mínimo), AASHTO M 6 (cantidades de sustancias perjudiciales permisibles). Sin embargo, de acuerdo al tipo de proyecto y uso que tenga el agregado fino, otros requerimientos se establecen en las especificaciones particulares del proyecto, por ejemplo, el porcentaje permisible en masa de material de baja densidad constituido por pómez y otros materiales piroclásticos es fijado por el ingeniero residente, para cada caso particular.

3.3.2.2 CEMENTO

Los cementos más utilizados en concreto presforzado son los tipos I, II y III, o una modificación de éstos; el cemento se escoge basado en los criterios de alta

resistencia rápida, contracción mínima, durabilidad y economía, evitando los fraguado demasiado rápido.

Los cementos de tipo I son adecuados para la mayoría de trabajos en edificios, pero el tipo II es preferible para ambientes costeros y marinos; las neblinas o partículas de sal pueden llegar hasta 80 km o más, tierra adentro, y el cemento tipo II proporciona mayor durabilidad al concreto, debido a sus propiedades para frenar la corrosión en el hierro de refuerzo. Algunos cementos tipo III tienden a ocasionar fraguado acelerado o bien contracción excesiva durante el curado con vapor. Se han desarrollado cementos tipo II modificados o cementos para preesfuerzo, estos tienen molido más fino que el tipo II convencional, por ejemplo, finura de 400 a 600 Blaine. El cemento tipo V (resistente a los sulfatos) no es realmente tan adecuado como el tipo II para la mayor parte de aplicaciones en presforzados; el tipo V tiene un contenido bajo de C_3A , el cual proporciona al concreto mayor durabilidad bajo ataques del agua de mar y de sulfatos, pero reduce la protección contra la corrosión del hierro.

3.3.2.3 AGUA

En presforzado, el agua, además de ser potable, se requiere que cumpla con las siguientes limitaciones:

a) Que no contenga impurezas que modifiquen en más de 25% el tiempo de fraguado, ni reducción a la resistencia a los 14 días, mayor que 5%; ambos porcentajes provienen de la comparación con los resultados obtenibles con agua destilada.

b) El agua de mezcla para concreto presforzado tiene que contener menos que 500 mg/L (ppm) de iones de cloruro.

c) Menos que 1300 partes por millón de iones de sulfato.

d) El agua no debe contener aceite.

El agua se puede agregar a la mezcla en forma de hielo, para reducir la temperatura ambiente del concreto fresco, o en forma de vapor, cuando se desea elevar la temperatura.

3.3.2.4 ADITIVOS

Los aditivos en el concreto presforzado permiten que la relación agua–cemento sea más baja, conservando la manejabilidad del concreto; algunos reducen también la contracción y otros son retardantes a temperaturas normales. Una consideración conveniente para el uso de aditivos que contengan CaCl_2 (el cloruro de calcio es frecuentemente utilizados en colados de concreto convencional) es que éstos en concreto presforzado, causan corrosión, especialmente cuando se emplea curado con vapor. Aún, usando curado normal a base de agua, el CaCl_2 reduce las propiedades del cemento y puede ocasionar corrosión. Por lo tanto, para trabajos de preesfuerzo, el mayor porcentaje aceptable de cloruro de calcio es 0.1% de la mezcla total.

La inclusión de aire, es benéfica cuando se utiliza concreto a base de agregados ligeros porque mejora su durabilidad contra la congelación y el deshielo y facilita su colocación, pero reduce ligeramente la resistencia de mezclas de bajo revenimiento, como las que se emplean en el concreto presforzado. El uso

permisible de aditivos para concreto presforzado se define según los criterios establecidos en las normas y reglamentos. (Ver tabla 3.2).

3.3.3 CONTROL DE LOS AGREGADOS Y DEL CONCRETO

El control de calidad de los materiales comienza desde su adquisición en el mercado hasta su colocación en el sitio de la obra, uno de los mecanismos para controlar que cumpla con los requerimientos solicitados en los contratos es mediante pruebas realizadas en laboratorios especializados. Estas se hacen conforme lo indican las normas de la ASTM. Entre las actividades que se realizan en el laboratorio están las siguientes:

- a) Revisar y aprobar los materiales y las dosificaciones propuestas por el contratista al principio y en el transcurso de la obra; a fin de que se satisfaga los requerimientos especificados.
- b) Tomar muestras y pruebas de revenimiento y resistencia a la compresión del concreto que se coloquen en la obra.
- c) Reportar a la supervisión los resultados de todas las pruebas realizadas, tan pronto se tengan los resultados.
- d) Tomar densidades de campo en rellenos compactados, terraplenes o terrazas, en los sitios donde se construirán las diferentes estructuras, viales o hidráulicas.
- e) Chequear la capacidad de carga en los puntos específicos de fundación para estribos y aletones del puente.
- f) Confirmar con pruebas triaxiales la cohesión de los materiales de relleno, suelo selecto.

g) Probar la calidad de la piedra para los diferentes tipos de muros.

Por otro lado, la calidad de los materiales depende del tipo de condiciones en que es almacenado y trasladado antes de su colocación en la obra. Por ejemplo, el almacenamiento inadecuado puede ocasionar contaminación y deterioro de las cualidades de los agregados, si se almacenan en el terreno sin protección o en una losa con pendiente, se pueden contaminar con polvo, hielo y pequeñas partículas; cuando se almacenan en silos están mejor protegidos, excepto contra la nieve y el hielo. En cualquier caso, se puede juntar una cantidad considerable de polvo y partículas pequeñas al fondo del silo; la única solución es cernir nuevamente los agregados antes de mezclarlos, dependiendo del tipo de roca, de la abrasión ocasionada por el transporte, el manejo y de la calidad del concreto que se desee obtener. Otro problema puede ocasionarse por condiciones de temperatura como es el caso de agregados expuestos al sol de verano que pueden sobrecalentarse. Para evitar este problema es necesario resguardarlos con una cubierta de lámina galvanizada o de aluminio. Otra alternativa para enfriarlos eficazmente por evaporación, es remojar o rociar con agua la pila de agregados; una de las técnicas más nuevas es el enfriado por vacío.

En cuanto al cemento, se almacena evitando el contacto directo con el suelo y ambientes húmedos para evitar que se endurezca. En la especificación del ACI 614 se establecen los procedimientos aprobados.

El control también se aplica en los procedimientos constructivos; la exactitud en las proporciones es la base para producir concreto de alta calidad; por

consiguiente, el cálculo de las proporciones se hace por peso y automáticamente, en vez de usar controles manuales. Debido al agua que contienen los agregados, es necesario hacer correcciones continuamente.

Respecto al transporte, hay distintos procedimientos para realizarlo; por ejemplo, por medio de mezcladoras montadas sobre un camión, agregando el agua unos pocos minutos antes de la descarga; también, pueden transportarse las mezclas secas (cálculo de proporciones en seco), agregando el agua en el lugar de la obra por medio de una mezcladora o una pavimentadora. Las mezclas húmedas se pueden transportar en camiones o vagonetas (cangilones para concreto, vagonetas montadas sobre rieles o transportadores), en estos casos, se toman precauciones para evitar la segregación y el fraguado prematuro durante el transporte, lo cual se logra con una relación agua- cemento baja (0.3 – 0.4), con un aditivo retardante del fraguado, mezclado y vibrado durante el transporte.

3.3.4 TECNICAS DE PREPARADO DEL CONCRETO

El concreto puede ser elaborado y suministrado al lugar de la obra por cualesquiera de los siguientes procesos y/o sus combinaciones:

- a) Concreto mezclado en planta central estacionaria. Puede ser transportado al lugar de la obra en una agitadora de camión o en equipo sin agitación aprobado previamente por el supervisor.
- b) Concreto mezclado parcialmente en planta central estacionaria y terminado en tránsito (en mezcladoras de camión).
- c) Concreto mezclado en tránsito o al llegar al proyecto (en mezcladoras de camión).

- d) Concreto producido en mezcladoras continuas móviles.
- e) Concreto premezclado proveniente de plantas externas a la obra.
- f) Concreto mezclado manualmente.
- g) Concreto envasado, mezclado en seco.

Concreto mezclado por cargas en mezcladoras estacionarias o de camión. Se define como carga a la cantidad de concreto producido en una sola operación de mezclado, manualmente o en una mezcladora de cargas individuales, estacionaria o de camión. Los materiales se colocan en la mezcladora en tal forma que una parte del agua es introducida antes que los materiales sólidos (cemento y agregados) y que sustancialmente, la totalidad del agua esté en el tambor al final del primer cuarto del tiempo total de mezcla especificado. Los aditivos químicos deben ser introducidos a la mezcladora en el mismo punto de la secuencia de mezclado para todas las cargas. Los aditivos líquidos se introducen junto con el agua de mezcla o con la arena húmeda; los aditivos secos, se mezclan con el cemento u otros materiales secos. La mezcla se inicia dentro de los treinta (30) minutos después de que el cemento entra en contacto con los agregados. Cuando los agregados están muy húmedos o existan condiciones que favorezcan el endurecimiento rápido de la mezcla, este tiempo se reduce. El contenido de las mezcladoras se descarga totalmente antes de colocar la carga siguiente. El interior del tambor y de la canaleta de descarga se conservan libres de acumulaciones de mezclas y se lavan después de cada turno de fundición de concreto y cuando se interrumpa dichas operaciones por más de una hora.

El tiempo de mezclado se mide a partir del momento en que el cemento y los agregados se introducen en el tambor y hasta el momento en que se inicie la carga del concreto.

a) Mezcladoras estacionarias. El mezclado se realiza en una planta de mezclado que generalmente se localiza dentro del proyecto o en una planta de concreto premezclado. La carga de concreto no tiene que exceder la capacidad nominal de mezclado de las mismas y el tiempo de mezclado es determinado con base en la habilidad de la mezcladora para producir un concreto uniforme. Cuando no se hagan ensayos previos del comportamiento de una mezcladora estacionaria, el tiempo de mezcla aceptable para mezcladoras con capacidad de 1m^3 o menos, no puede ser menor que 1 minuto. Para mezcladoras con capacidades mayores, este valor mínimo se aumenta en 15 segundos por cada metro cúbico o fracción de capacidad adicional. El tiempo de mezclado se puede reducir cuando el contratista demuestre, mediante ensayos de comportamiento y a satisfacción del supervisor, que la mezcladora es capaz de producir, en un tiempo menor, un concreto que cumpla con los requisitos de uniformidad esperados para el proyecto. Los constructores utilizan el concreto mezclado en planta central, localizados en la obra, en proyectos donde se necesita alta producción (aproximadamente $3000\text{ m}^3/\text{dia}$). Las operaciones de mezclado en el sitio permiten controlar directamente la producción del concreto; cuando las distancias de la planta de mezclado y la obra son muy largas y cuando las

condiciones del sitio permiten la colocación de una planta estacionaria dentro de la obra.

b) Mezclado parcialmente en planta estacionaria y terminado en tránsito. El tiempo de mezclado parcial en la mezcladora estacionaria puede reducirse al mínimo de 30 segundos requerido para entremezclar los ingredientes, completando el mezclado en la mezcladora de camión, como se indica en el párrafo siguiente. Cuando el concreto se mezcle totalmente en planta central, el volumen de concreto transportado en una mezcladora de camión, o en una agitadora de camión, no puede exceder el ochenta por ciento (80%) del volumen total del tambor o recipiente.

c) Mezcladoras de camión. El volumen de la carga de concreto no puede exceder del 63% del volumen total del tambor o recipiente y el mezclado se hace entre 70 y 100 revoluciones a la velocidad de mezclado recomendada por el fabricante. Cuando sea necesario incrementar el número de revoluciones de la mezcladora para mantener la uniformidad requerida, éstas se ajustan a la velocidad de agitación recomendada por el fabricante. El número máximo de revoluciones no puede exceder, de las trescientas (300), salvo cuando el supervisor compruebe que el concreto tiene un grado de asentamiento aceptable y que puede ser colocado sin añadir más agua a la mezcla. El camión mezclador esta equipado con un contador de revoluciones y con un medidor de revenimiento de tal forma que el conductor pueda determinar el revenimiento con una tolerancia de 12mm y solamente con fines de estimación de revenimiento.

d) Concreto producido en mezcladora continua. Las dosificadoras, mezcladoras continuas, estacionarias o de camión, tienen compartimientos o contenedores separados cada uno de los materiales del concreto y la mezcla se realiza en forma automática y continua. La dosificación y las velocidades de mezcla y de descarga del flujo de concreto se regulan por mecanismos de calibración del equipo. Las mezcladoras montadas sobre un camión, construidas recientemente, se han adaptado para manejar las mezclas de revenimiento bajo utilizadas en la construcción de puentes de concreto presforzado, pero es necesario conservar en buen estado las cuchillas. Por consiguiente, la mezcladora horizontal de turbina es preferible, para las mezclas de alta calidad. La frecuencia de mezclado con máquinas industriales, como la mezcladora horizontal y de turbina, está definida por el fabricante y se toma como comprobante de calidad el certificado que éste extiende por la venta de cualquier tipo de mezcladora. Para obtener mezclas especificadas, especialmente mezclas de bajo revenimiento, es recomendable utilizar mezcladores de turbina.

e) Concreto premezclado proveniente de plantas externas al proyecto. Ya sea que provenga de plantas de proveedores comerciales o del propio contratista, situadas fuera del sitio de la obra, tiene que cumplir con los requisitos indicados en las Normas AASHTO M157, ASTM C 94. El concreto premezclado se usa para mejorar el rendimiento de una planta de mezclado central. El concreto premezclado es elaborado parcialmente en una mezcladora central para reducir el volumen suelto de los componentes del concreto. Por ejemplo, el volumen suelto

de los componentes individuales del concreto antes del mezclado es de 1.58m^3 , el premezclado llena los vacíos de los agregados gruesos con arena, material cementante y agua reduciéndose aproximadamente a 1m^3 . El premezclado es utilizado para concreto mezclado en planta central como para concreto mezclado en camión. Para el concreto mezclado en planta, el premezclado se descarga en otra olla para el mezclado final, mientras que para el concreto mezclado en camión, el premezclado se descarga en el camión para el mezclado final. En el concreto mezclado en camión las dosificaciones son realizadas por el operador de la planta y el conductor es responsable del mezclado del concreto. Se prefiere el concreto premezclado en proyectos urbanos donde no se dispone de suficiente espacio para colocar una planta de mezclado; cuando no se dispone de agua para elaborar el concreto en el sitio; cuando se requiere aumentar la producción evitándose realizar las etapas de elaboración del concreto. Para garantizar la calidad del concreto se solicita al productor certificaciones de calidad del mismo.

f) Concreto mezclado manualmente. No es recomendable emplear concreto mezclado manualmente, salvo cuando se trate de estructuras secundarias o en casos de emergencia, en los que únicamente se requiera un pequeño volumen de concreto. El supervisor autoriza el mezclado a mano, previamente y por escrito. El concreto mezclado a mano se fabrica en cargas no mayores que un cuarto ($1/4$) de metro cúbico, mezcladas sobre una base o plataforma firme y lisa que no deje escurrir el agua. El cemento se mide en sacos y los agregados en cajones o recipientes adecuados. Los agregados gruesos y fino son colocados sobre la base o

plataforma en 2 capas cuyo espesor sea de 150 mm aproximadamente; sobre estas capas se deposita el cemento en seco y toda la masa es mezclada, también en seco, no menos de 2 veces hasta lograr una apariencia uniforme; luego se forma un cono truncado, ahuecado en el centro, al que se le agrega agua, mezclándola poco a poco y evitando que escurra; la masa de concreto fresco se mezcla 3 veces como mínimo, hasta lograr un concreto uniforme y de la consistencia requerida.

g) Concreto envasado mezclado en seco. Se utiliza en reparaciones y para estructuras secundarias de pequeño volumen, siempre que el supervisor lo autorice previamente y por escrito. Este tipo de concreto cumple con los requisitos especificados en la Norma ASTM C 387 y tiene que producir un asentamiento entre 50 y 75 mm (2" a 3").

3.3.4.1 CARGA, TRANSPORTE Y ENTREGA DEL CONCRETO.

El concreto se carga, transporta, entrega y coloca dentro de un lapso de 1½ hora contado a partir del momento en que se inició el mezclado. Cuando se emplea mezcladoras o agitadoras de camión, el concreto se descarga antes de que el tambor de la mezcladora haya rotado trescientos (300) revoluciones. Los límites indicados pueden ser extendidos, previa autorización del supervisor, cuando los ensayos de campo indiquen que el concreto ha alcanzado un grado de asentamiento que permita su colocación sin necesidad de añadir más agua a la carga. Asimismo, en climas cálidos y bajo condiciones que favorezcan el endurecimiento rápido del concreto, el supervisor puede ordenar una reducción del tiempo de descarga, a menos que se utilice aditivos retardantes u otros

mecanismos (como el de enfriamiento del concreto) que garanticen que el concreto se podrá colocar satisfactoriamente en el tiempo previsto. La temperatura mínima del concreto descargado en el lugar de la obra, tiene que ser de 16°C cuando vaya a ser colocado en encofrados de poco espesor o en losas, y de 10°C cuando se utilice para fundiciones masivas. La temperatura máxima del concreto no tiene que sobrepasar los 32°C a menos que se determine experimentalmente, en el sitio de la obra y a satisfacción del supervisor, la posibilidad de obtener a una temperatura mayor, resultados satisfactorios.

No es recomendable el reablandamiento del concreto descargado en el sitio del proyecto, agregándole agua por otros medios, salvo cuando se trate de concreto transportado en mezcladoras o agitadoras de camión aprobadas y que para alcanzar el asentamiento especificado, requiera agua adicional al ser descargado en el proyecto. En este caso, el agua adicional, no puede exceder la relación agua-cemento de diseño. El tambor de mezclado debe rotar 30 revoluciones adicionales o más si fuera necesario, a la velocidad de mezclado, hasta que la uniformidad del concreto sea aceptable. En ningún momento posterior se tiene que añadir agua a la mezcla.

3.3.4.2 ELEMENTOS DE CONCRETO PRECOLADO

Con frecuencia, se selecciona el precolar elementos constituyentes del puente porque permite la eficiente producción de los mismos; es más fácil mantener el control de calidad y producir concreto de mayor resistencia que el colado in situ; el encofrado es más sencillo y puede eliminarse una gran cantidad de obra falsa.

Además, como el precolado se hace siempre al ras del suelo, los operarios tienen más libertad de movimiento. Pero, en ocasiones, estas ventajas quedan anuladas por el costo de transporte, manejo y montaje de las unidades precoladas y las juntas pueden ser de instalación especializada y costosa.

Las ventajas de utilizar elementos de concreto precolado son las siguientes:

1. Control de la contracción. La contracción se puede reducir mediante relaciones agua-cemento bajas y curado con vapor.
2. Reducción de flujo plástico. Cuando se cura el concreto y se deja fraguar adecuadamente antes del montaje, se aumenta el nivel de resistencia y edad del miembro, así como su módulo de elasticidad al aplicar las cargas, reduciendo así el flujo plástico. En la fabricación de elementos precolados se puede utilizar concreto de mayor resistencia ($> 240\text{kg/cm}^2$), con menor relación agua-cemento (0.3 - 0.40), produciéndose así concreto con características más favorables en cuanto al flujo plástico.
3. Control de la deformación por carga muerta. Antes de conectar y fijar definitivamente, los elementos de concreto precolado, montar y ajustarlos a su posición exacta, según diseño en su forma teórica, incluyendo una provisión para la deformación por flujo plástico; esto, es de particular importancia en los puentes de claros grandes.
4. Control de calidad. Los elementos de concreto precolado, pueden fabricarse bajo las mejores condiciones de transporte, almacenamiento y colocación, en cuanto a cimbras o formaletas, colocación del refuerzo, colocación y vibrado del

concreto y curado del mismo. De este modo, puede obtenerse uniformidad y alta calidad de manera práctica y económica. El precolado, asegura durabilidad, por medio de la exactitud y uniformidad del recubrimiento; permite mejor colocación y vibrado, manteniendo baja relación de agua-cemento, y se puede lograr recubrimiento más impermeable. El precolado facilita también el acabado liso y uniforme de la superficie, permite la aplicación de técnicas especiales, como la combinación de vibrado y la presión, el vibro-estampado, la extrusión, el centrifugado y el curado con vapor, los cuales, por lo general, no pueden aplicarse al concreto colado en sitio; de manera similar, el precolado permite usar el refuerzo pretensado. El precolado facilita el control de las tolerancias dimensionales, pues las formaletas rígidas, generalmente hechas de acero, evitan la deformación excesiva bajo el vibrado; las tolerancias de los miembros precolados pueden revisarse antes de su embarque y montaje. También pueden colocarse con exactitud todo el hierro de preesfuerzo, el hierro dulce y las piezas ahogadas en el concreto y mantenerlas así durante el colado.

5. Disponibilidad oportuna. Muchos elementos fabricados en serie se pueden suministrar en la obra en muy poco tiempo. Mientras que algunos elementos estandarizados pueden mantenerse en existencia, la mayoría de las plantas pueden fabricarlos por pedido, según la cantidad deseada, para cumplir aún con los programas más acelerados, con los consecuentes costos de manejo, almacenamiento e intereses, lo cual no es una práctica normal en la industria. Con el precolado, es práctico utilizar el curado con vapor y producir así en ciclos de 1 ó

2 días. Logrando la resistencia total de diseño dentro de los 7 ó 14 días siguientes al colado. En el caso de miembros muy largos y esbeltos, como el de losas de techo de claro grande, puede ser conveniente almacenarlo de 30 a 60 días antes del montaje, para reducir la contracción y el flujo plástico.

6. Montaje sobre tráfico y eliminación de la obra falsa. Las vigas de concreto precolado pueden montarse, sin obra falsa, usando el sistema de voladizos progresivos o el sistemas de claros colgantes en voladizo. Cuando se requiera obra falsa para soportar temporalmente algunos elementos precolados, puede reducirse la cantidad de ésta (aunque las cargas totales permanezcan iguales a las de una construcción colada en el sitio). Al reducir el tiempo que debe permanecer en su sitio la obra falsa, se facilita la reutilización máxima de la misma.

7. Economía. El uso de concreto precolado reduce los costos de construcción, manteniendo al mínimo la mano de obra en el lugar de la construcción; el montaje puede realizarse en las temporadas y condiciones más favorables. Al utilizar mayores resistencias y secciones más esbeltas, pueden reducirse el peso propio, lo cual redunda en ahorros totales en concreto y hierro. La mano de obra y el equipo pueden usarse a su máxima eficiencia y las formaletas o moldes pueden utilizarse mayor cantidad de veces, aprovechando la mecanización del proceso de fabricación.

8. Adaptabilidad a la construcción compuesta. Frecuentemente, los elementos precolados pueden combinarse con el concreto colado en obra, para lograr una sección compuesta, como la de una estructura monolítica, aunque se toma en

cuenta la transmisión del cortante. Los elementos precolados pueden servir como cimbras parciales y como soporte para las formaletas o moldes del concreto colado en el sitio.

Las diferentes etapas de carga deben tomarse en consideración para evitar el sobreesfuerzo de los elementos precolados, mientras se encuentra aún húmedo el concreto colado en sitio; el diseñador debe tomar en cuenta el efecto de las diferencias en la contracción y en el módulo de elasticidad entre los dos concretos.

3.3.4.3 COLOCACION Y CONSOLIDACION DEL CONCRETO FRESCO

En mezclas secas en concreto presforzado, es necesario vibrar intensamente para consolidar a fondo y asegurar que no haya huecos, especialmente en áreas congestionadas; comúnmente, el vibrado interno es el método más efectivo, ya que es útil para asegurar la compactación alrededor de los tendones, del hierro de refuerzo ahogado, los anclajes, etc. Por lo general, se emplean frecuencias de 9000 rpm.

En elementos esbeltos, se puede utilizar eficientemente el vibrado exterior, particularmente, en el caso de elementos precolados en moldes pesados de acero; este tipo de vibrado es útil en el proceso de colocación y produce acabados lisos por la cara que se vibró. Es conveniente intercalar la localización de los vibradores ya que por experiencias se ha comprobado que vibradores colocados uno frente a otro tienden a reducir la calidad de vibrado y acabado. Por otra parte es posible utilizar con buenos resultados de acabado y vibrado la combinación del vibrado externo con el interno.

Al colocar el concreto, de bajo revenimiento o sin revenimiento, en los moldes es sugerible vaciarlo en el lado de avance del colado, donde recibirá los efectos totales del vibrado; esto acelerará el colado y se obtendrá mejor consolidación.

El vibrado externo puede generar fuerzas en las cimbras y esfuerzos de fatiga en las conexiones, por lo que es necesario definir el tipo de vibrado antes de diseñar el tipo de cimbra a emplear.

En las mezclas secas hay tendencia a formación de huecos, o bolsas de agua y aire, particularmente cuando se van a colar superficies verticales y en voladizo, ya que debido al vibrado, el aire y el exceso de agua tienden a escaparse de la mezcla, quedando atrapados bajo el voladizo y hasta cierto punto, en la cara vertical. Para reducir los efectos de huecos ocasionados por mezclas secas se utilizan las siguientes recomendaciones:

- a) Colocar aceite adecuado al tipo de cimbra sobre las superficies que van a estar en contacto con la mezcla del concreto para reducir la acción capilar de la mezcla.
- b) Emplear equipo de vibrado según especificaciones y considerar realizar un proceso de vibrado interno en todo el elemento y posteriormente el vibrado externo (vibrado de la cimbra).
- c) Utilizar aditivos que eviten el escurrimiento y mejore la manejabilidad (la inclusión de aire puede ser una opción de solución a este problema).

Los serpentines de absorción en las cimbras eliminan el exceso de aire y agua en la superficie, aunque se forman no evitan la formación de huecos debajo de esta. Este problema no es tan evidente en mezclas húmedas, ya que los huecos y bolsas

se distribuyen en la mezcla en forma de porosidades; por supuesto, lo anterior de ningún modo es solución satisfactoria, pues se obtienen bajas resistencias y baja durabilidad. Aunque la formación de huecos o porosidades no es posible eliminarla completamente, las superficies expuestas, se pueden pulir y así obtener la uniformidad deseada con superficies durables tanto desde el punto de vista arquitectónico como estructural.

3.3.4.4 CURADO DEL CONCRETO

Inmediatamente después del colado, la superficie fresca del concreto, expuesta al sol o al viento, puede perder cierta cantidad de agua que ocasione mal fraguado y contracción, aún, cuando el cuerpo del concreto esté todavía en estado plástico; esto puede evitarse utilizando alguno de los siguientes medios:

- a) Rociando la superficie con niebla de vapor de agua; esta solución se adapta a superficies grandes y planas.
- b) Cubriéndola con lienzos de polietileno; algunos constructores prefieren este porque debido al calor del sol, se genera vapor dentro de la cubierta, y esto mejora el colado.
- c) Cubriendo la superficie e inyectando vapor a baja temperatura y baja presión.

Entre las funciones del curado está, suministrar suficiente humedad para permitir la terminación de las reacciones químicas que producen un concreto resistente y durable; algunas de estas reacciones se realizan en poco tiempo y otras requieren un periodo más largo. El tiempo exacto requerido depende, en gran parte, de la temperatura, teniendo en cuenta que distintas reacciones responden a ésta, de

diferente manera. Es recomendable, continuar el curado por un periodo suficientemente largo para permitir la conclusión de todas las reacciones deseadas y no solamente hasta que el concreto alcance la resistencia mínima.

En el concreto, especialmente el más denso, el curado continúa internamente, debido al exceso de agua en la mezcla, por lo que la humedad se suministra o se conserva en la superficie.

3.3.4.5 CONTROLES PARA EL CONCRETO

En puentes de concreto, la mayoría de las especificaciones de diseño son estrictas en lo que se refiere a la prueba de resistencia con cilindros, al momento de inducir el preesfuerzo y después de 28 días; además, pueden existir requisitos de resistencia para el descimbrado, para el momento de eliminar el curado adicional a base de agua, para el transporte y para el montaje o hincado. Para los análisis de laboratorio, los cilindros son picados o vibrados, utilizando un vibrador pequeño; el cilindro se cubre con una bolsa de polietileno para evitar la evaporación en la superficie. La utilización del saco de yute no es recomendable, ya que actúa como una especie de esponja y absorbe el agua del cilindro. Posteriormente se coloca el cilindro bajo las cubiertas o en la cámara de curado, a igual altura que el elemento del que se tomó la prueba, para que reciba el mismo ciclo de curado; una vez sacado de las cubiertas, se transporta con cuidado (sin agitarlo dentro del camión) y se coloca en una cámara de niebla o en un tanque con agua caliente a 23°C. Se mantiene almacenado continuamente hasta el día anterior a la prueba; por ejemplo, 27 días en el caso de la prueba a los 28 días. Al sacar los cilindros del

tanque, se dejan secar y enfriar por un día, si se va a probar un cilindro tomado directamente de las cubiertas; para determinar la resistencia al inducir el preesfuerzo, es necesario dejarlo enfriar antes de la prueba.

Pruebas de resistencia. El contratista obtiene las resistencias del concreto, especificadas, las cuales son comprobables por medio de especímenes de prueba de conformidad con las normas de la ASTM C-31, C-39 y C-172. Estas pruebas se hacen en 3 cilindros para cada muestreo, un muestreo por día de colado de cada 10 m³ o menos, de concreto vaciado y de acuerdo con la necesidad que se establezca en la obra. Ver tabla 3.11

Tabla 3.11 Días de ruptura de cilindros

Cantidad de cilindros	Día de ruptura
1	7
2	28

El resultado de las pruebas será el promedio de las resistencias de los cilindros ensayados a los 28 días. La obtención, el curado y la prueba de los cilindros se realiza de acuerdo con las normas de la ASTM C-13 y C-39.

El contratista suministrará el concreto para los cilindros de prueba y toda la colaboración para la elaboración de los mismos. Si los resultados de los ensayos de los cilindros no satisfacen lo establecido en las normas de calidad, se toman núcleos en los sitios dudosos señalados por la supervisión, y son ensayados por cuenta del contratista según la norma técnica de la ASTM C-42.

Pruebas de revenimiento. Se realizan empleando el método prescrito por las normas de la ASTM C-143, la cual se realiza a cada volumen de concreto

transportado en camiones; y, cuando la resistencia del concreto varíe entre los diferentes miembros estructurales. El revenimiento máximo admisible es de 4", pero se pueden utilizar aditivos que produzcan mayores revenimientos (ver tabla 3.8) sin alterar la resistencia de la mezcla; el uso de aditivos está sujeto a la aprobación de la supervisión después de los análisis que se consideren pertinentes.

3.3.5 MOLDEADO

3.3.5.1 MOLDES Y FORMALETAS

El diseño y construcción de moldes, encofrados, cimbras, formaletas y cualquier otra estructura provisional, se realiza según las disposiciones establecidas por las normas del ACI-347 y están bajo la responsabilidad del contratista; son presentadas a la supervisión para su aprobación.

Los sistemas de encofrados se clasifican de acuerdo con el material utilizado, así:

- Madera cepillada o plywood. Este tipo de encofrado, presenta la ventaja de ser económico, de poca inversión inicial, de relativa fácil adquisición y su capacidad de ser modificado en su tamaño y forma, para acoplarse a varios tipos de obras. No es recomendable utilizarla más de 5 ó 6 veces, puesto que se pandea y resquebraja. Requiere mayor tiempo de instalación, y necesita especial cuidado en el apuntalamiento y el acabado final del hormigón.
- Molde metálico. Estos sistemas, a diferencia de los encofrados de madera o plywood, son de alta inversión inicial; sus ventajas consisten en un

excelente acabado del concreto, fácil y rápida instalación, y el uso repetido que soportan sin mayores daños. Este uso repetido, hace que los costos por encofrado se reduzcan considerablemente, siempre que se trate de construir obras similares y consecutivas, puesto que estos módulos de encofrado metálico no son factibles de modificar en su tamaño ni su forma.

Los moldes se diseñan para soportar la presión del concreto y las cargas de trabajo de la construcción, sin dar lugar a desplazamientos durante el colado y el curado, asegurándose que las dimensiones, superficies y alineamientos cumplan con lo especificado en los planos. Se colocan firmemente cerrando sus uniones de tal modo que no permitan filtraciones ni escurrimientos de lechada de cemento. Antes de proceder a la construcción de los moldes, al material: madera cepillada, plywood, etc, se le dá un tratamiento desmoldante con pintura o aceite quemado para garantizar la multiplicidad de su uso y el retiro del encofrado sin ninguna dificultad y la textura de la superficie requerida.

En el proceso de colado de vigas, columnas, paredes y muros de concreto, es necesario utilizar moldes, que garanticen, que cuando estas sean desmoldadas “el acabado sea definitivo”, ya que no se realizarán en ellas ningún tipo de acabado superficial. Para resolver esta dificultad, se usa un aditivo antiadherente, que no permita que el concreto se adhiera a las superficies de contacto y así obtener el acabado exigido.

Antes de reutilizar los moldes, se limpian para quitar los residuos de concreto seco de las superficies, ya que estos volverán a estar en contacto con la nueva

mezcla. El diseño y la construcción de los encofrados, cimbras y otras estructuras relacionadas, están bajo la responsabilidad del contratista, pero están sujetas a la aprobación del supervisor antes de ser usadas para moldear el concreto.

El concreto se verifica que tenga la suficiente resistencia. No pueden retirarse los encofrados¹⁸ de columnas ni los laterales de vigas ni de los moldes de muros, antes de 72 horas como mínimo, ó 96 horas, preferiblemente con autorización del ingeniero residente y supervisor.

En el encofrado de vigas y losa o cualquier otro miembro que soporte el peso del concreto no podrá removerse antes de 14 días del colado respectivo. Las operaciones de retiro de encofrado y las siguientes a ésta se realizan de tal forma que no ocasionan daños a la estructura.

Cuando se coloquen los moldes, estos se instalan siguiendo los alineamientos correctos del miembro estructural de concreto tomando en cuenta que no se permitan las fugas de lechada. Los encofrados se construyen con suficiente rigidez para soportar la carga de concreto y la carga de trabajo, sin dar lugar a desplazamientos, ya sea en el proceso de colado o después de su colocación, y lograr la seguridad de los trabajadores. Los encofrados tienen que tener la superficie lisa y estar bien ajustados para evitar los escurrimientos de la lechada y en tal forma que permanezca sin deformarse ni flexionarse. Las aberturas

¹⁸ Sólo si el diseño, procesos y especificaciones lo han indicado por el uso de aditivos que así lo permitan y que tanto el laboratorio y el personal técnico responsable lo garanticen a través de ensayos previos que establezcan y justifiquen este tipo de decisiones que sólo incurrirán en ventajas y no en errores y problemas o generación de condiciones desfavorables al proyecto y a la obra.

temporales deben ser provistas donde sea necesario, para facilitar la limpieza e inspección.

3.3.6 REFUERZO ESTRUCTURAL

Para el armado o colocación del refuerzo estructural, se siguen 3 pasos, corte, doblado y amarrado. El corte de las varillas de acero, depende de las dimensiones requeridas en los planos. Según estos se elabora una planilla de corte, encaminada a producir el menor desperdicio posible. Los cortes pueden realizarse con una cizalla, o sierra. Una forma efectiva de realizar cortes cuando se utiliza una sierra, es profundizar el corte en la varilla hasta aproximadamente el 50% del diámetro, colocar el punto de corte en un pivote, y forzar hacia abajo la varilla por ambos lados. El doblado de las varillas, se realiza en troncos gruesos, a los que se les ha insertado pines, pequeños trozos de varillas verticalmente. Se fija la longitud deseada a doblar, con grifas y con ayuda de un tubo de metal se realiza una palanca y se dobla la varilla. Los requerimientos de doblado se establecen en el apartado 3.2.7.4 de este capítulo. Para el amarre de las varillas, se utiliza alambre de amarre recocado, No 18, el mismo que se presenta en el mercado en rollo de 20Kg Este rollo es fraccionado en 4 partes, de las que se obtiene los segmentos de alambre para realizar el amarre. Se hace uso entonces, de un pedazo de hierro doblado de forma conveniente para el nudo de amarre. Lo más recomendable es utilizar dos segmentos por nudo.

3.3.6.1 HIERRO DE ESFUERZO

Este incluye todo el hierro no presforzado, sean en forma de torones o cables de acero sin esforzar, varillas de acero dulce, varillas de acero de aleación, etc. Por lo general, en un miembro presforzado, este tipo de refuerzo se utiliza para tomar los esfuerzos secundarios y los esfuerzos cortantes, pero también se pueden usar como acero adicional principal para obtener mayor capacidad máxima, o para controlar el funcionamiento del miembro.

El refuerzo elimina muchas de las variables desconocidas en el diseño y la construcción, por ejemplo, cortante, torsión, etc. Su instalación, posición y fijación adecuada son importantes para el funcionamiento de la estructura completa.

Frecuentemente, en los miembros precolados, se utilizan refuerzos soldados, pero es necesario detallar cuidadosamente la localización de la soldadura a criterio del ingeniero, ya que puede incluir reducción en la resistencia del refuerzo por la formación de burbujas de aire por un mal procedimiento de soldadura.

3.3.6.2 HIERRO DE PRESFUERZO

El hierro utilizado en el concreto presforzado puede ser alambre, torón o barras de acero. Los alambres y cables trenzados (torones) son de hierro de alto límite elástico del tipo laminado o trefilado. La resistencia a la rotura varía con el diámetro y el tipo de fabricación, generalmente comprendida entre 136kg/mm² a 160kg/mm² para los alambres y entre 170kg/mm² a 190kg/mm² para los torones. Las barras de acero para postensado están sujetas a cumplir con las normas de la

AASHTO M215. Los cables trenzados o torones compuestos de 7 hilos, llevan un hilo central ligeramente más gruesos que los hilos exteriores y se fabrican en diámetros de 9.5mm a 15.2mm pudiéndose, éste último, tensar a unos 18,000Kg. En diámetros mayores, los hilos individuales serían tan gruesos, que el cordón resultante sería poco flexible, y por este motivo, para fuerzas de presfuerzo muy grandes se utilizan grupos de torones (cables) que van de 2 a 36 torones.

El alambre puede ser de alta resistencia o baja relajación cumpliendo con las normas de la AASHTO M 204 (ASTM A 421) y AASHTO M 204, S1 (ASTM A 421, S1) respectivamente.

El hierro se almacena en un lugar cerrado para evitar su oxidación. Para permitir la ventilación, los rollos más bajos se colocan sobre tablones cruzados, colocados al menos 30cm sobre el suelo. Para su traslado y almacenamiento, el hierro de presfuerzo se cubre con una capa de aceite como protección contra agentes externos y corrosión.

3.3.6.3 TENDONES DE PREESFUERZO

El método más común para inducir un presfuerzo de compresión en el concreto es tensar un tendón y anclarlo. El tendón se puede localizar dentro de la sección transversal de concreto, ya sea empotrado directamente, o dentro de un ducto. También, se puede localizar fuera de la sección, ya sea junto, o a determinada distancia de ella, por ejemplo, como el tirante de un arco. Para lograr que el tendón tenga la resistencia requerida a la tracción y capacidad para mantener indefinidamente un alto estado de esfuerzos, con escasas pérdidas por

relajamiento, corrosión o fatiga, se utiliza alambre y las varillas de hierro estirado en frío ya que tienen estos atributos y son los materiales más comunes para la fabricación de tendones. Sin embargo, se utilizan otros materiales (filamentos metálicos y no metálicos, como la fibra de vidrio) con mayor resistencia a la tracción, pero su utilización depende de aspectos técnicos como su estabilidad química y aspectos económicos de costo de materiales e instalación.

El Alambre de acero estirado en frío, se fabrica en diámetros hasta de 7 mm (0.276 plg.) y tiene resistencias que varían de 17 000 kg/cm² a 21 000 kg/cm² con módulos de elasticidad de 2×10^6 kg/cm² a 2.1×10^6 kg/cm²; sin embargo, la adherencia entre los alambres lisos y el concreto, es baja, lo cual requiere gran cantidad de alambres pequeños para el pretensado, o bien, medios de anclaje adecuados para el postensado.

En Europa, especialmente en Alemania, el uso de alambres de acero aleado laminado en caliente, es muy común; frecuentemente, éstos se laminan con sección transversal ovalada o achatada y pueden tener un diseño o “perfil” corrugado, que permite la adherencia en el pretensado y hace posible el empleo de menor cantidad de alambres de mayor tamaño. Otra solución utilizada es entrelazar varios alambres para formar un torón o cable, aunque se produce una pequeña reducción en el módulo de elasticidad (5% a 10%). El cable de siete alambres se utiliza en su mayoría, cuando se aplican procesos de pretensado más que procesos de postensado y en este último, el alambre, se limita a diámetros nominales de 6.2mm a 17.8mm. En algunas losas de piso, pretensadas,

presforzadas ligeramente y producidas en serie, se utilizan torones de diecinueve alambres, similares al cable de acero de alta resistencia. Por lo general, el tipo de alambre utilizado para este fin es redondo, y a eso se debe a que al formar el torón quedan intersticios entre los alambres; recientemente, se han producido alambres con otro perfil, los cuales llenan totalmente la sección transversal.

En tendones postensados se utilizan, comúnmente, varillas de acero de aleación, cuya resistencia varía de 10 000 kg/cm² a 12 000 kg/cm²; los anclajes en los extremos y los empalmes se facilitan usando conexiones roscadas o mordazas tipo cuña. Los diámetros de las varillas llegan hasta 3 cm y pueden ser lisas o corrugadas.

3.3.6.4 TENDONES DE FIBRA DE VIDRIO

Su mayor problema es la estabilidad química. En la actualidad, es mejor ahogar los filamentos de fibra de vidrio en una matriz inerte, obteniendo así una especie de cable, el segundo problema es encontrar los medios prácticos para el anclaje. La fibra de vidrio ofrece economías potenciales y, al mismo tiempo, muy alta resistencia; sin embargo, se requieren aún, muchos estudios antes de encontrar soluciones prácticas para su uso.

3.3.7 ANCLAJES

Los anclajes son los dispositivos mecánicos que se utilizan para transmitir la fuerza del tendón a la estructura de concreto, e incluyen los medios de fijación del tendón, así como la placa base, el cono reforzado, o cualquier otro método por medio del cual pueda transmitirse la fuerza.

Prácticamente, todos los anclajes son parte de algún sistema patentado de postensado. Por razones competitivas, la mayoría de los contratistas europeos han elaborado su propio sistema, lo cual explica la gran cantidad de dispositivos disponibles; algunos de ellos poseen características superiores, generalmente, debido a una ingeniería más completa y a las pruebas realizadas.

El tendón puede fijarse a los anclajes por medio de cuñas mecánicas, las cuales pueden ser dentadas para apretar el tendón, o bien lisas, suministrando el agarre necesario mediante fricción. En los anclajes, también se puede emplear la acción de cuña de algún accesorio a base de zinc derretido o mortero de cemento, el cual agarra el tendón con una combinación de fricción y adherencia.

En otro grupo de anclajes se usan ensanchamientos sobresalientes que sirven como soporte directo a las placas de apoyo. Se pueden hacer cabezas formadas en frío en los extremos de los alambres y corrugados en las varillas, estas últimas laminadas en caliente; también pueden roscarse las varillas. Debido a las fuerzas que intervienen en estos sistemas, es importante verificar el funcionamiento adecuado y seguro, ya que una falla puede ocasionar un accidente grave o hasta fatal. Por consiguiente, es conveniente emplear sistemas completamente desarrollados y probados, siguiendo exactamente las recomendaciones del fabricante. Sólo se usan anclajes especificados en el diseño y aprobados por el ingeniero responsable; han ocurrido graves deslizamientos del tendón cuando se han permitido, aún, los menores cambios en las especificaciones, en la composición del metal, o en las tolerancias.

Entre las precauciones que se toman para conservar los anclajes y herramientas en buen estado, antes de su colocación es protegerlos de la corrosión y limpiarlos durante su almacenamiento. Después de la instalación, los anclajes se protegen contra la corrosión o el fuego, de acuerdo con los detalles especificados por el diseñador. Es importante, que los anclajes queden alineados axialmente con los tendones; por esto, en la mayoría de los sistemas, se tienen silletas y gatos especiales.

En algunos sistemas, los tendones también se pueden anclar en un extremo, enredándolos alrededor del acero o del concreto, o simplemente ahogándolos a la longitud suficiente en este último; éstos se llaman anclajes “ sin salida “ y al usarlos es necesario apegarse a los radios de doblez especificados y así evitar la falla o ruptura durante el tensado.

Después de tensar el tendón, se fija el anclaje, lo cual implica, por lo general, un pequeño movimiento del tendón hacia el interior, perdiéndose un poco de esfuerzo. Generalmente, esto no altera el funcionamiento esperado, excepto, en tendones muy cortos como los que se usan en conexiones. En algunos tipos de anclajes se suministran calzas o mecanismos de cierre para evitar la “ penetración”. Antes de rellenar los ductos con lechada de cemento, los anclajes presforzados se encuentran bajo la acción de esfuerzos muy altos y por consiguiente son vulnerables por ejemplo, a los golpes accidentales y al calor de una varilla de soldadura, etc. En este estado, pueden convertirse en proyectiles mortales si revientan con toda la energía almacenada en el tendón.

3.3.8 DUCTOS

Es un conducto a través del cual pasan los tendones postensados; puede ser un hueco formado, o un conducto de cualquier material. Por razones económicas, prácticas y de compatibilidad electroquímica, la mayor parte de los ductos están hechos de acero. Los ductos flexibles de metal son articulados, con juntas no impermeables y pueden ser de metal muy delgado, fáciles de embarcar en rollos y de colocar en las cimbras; sin embargo, su flexibilidad es su mayor inconveniente, ya que se mueven demasiado (ocasionando falta de alineación) y requieren soportes muy cercanos, por medio de amarres u otros medios. Uno de estos medios es insertar una pieza de tubo “conduit” rígido en el ducto metálico durante el colado, el cual lo mantiene alineado y es fácil de retirar después. Los ductos flexibles de metal, por su espesor generalmente delgado, están sujetos a daños mecánicos y oxidación; se empacan para protegerlos durante su embarque y almacenarlos en un lugar seco hasta que sean utilizados. Como los ductos no son a prueba de agua, pueden presentarse bloqueos cuando uno de los ductos adyacentes se está relleno con lechada de cemento. Cuando varios de ellos se encuentran en línea vertical, colocados uno encima del otro y tocándose (por ejemplo en el punto de momento negativo máximo, encima de un apoyo), pueden dañarse o cortarse al esforzar los tendones. Aunque son más costosos (debido a su mayor espesor) y más difícil de embarcar y manejar, los tubos de metal rígido se están utilizando más comúnmente, pues requieren menos amarres o apoyos, tienen un factor de fricción bajo (debido a su escaso movimiento) y son a prueba

de agua. En ocasiones, se emplean recubrimientos para proteger los ductos, flexibles o rígidos, contra la corrosión y para reducir la fricción durante el esforzado. El galvanizado se ha empleado, aunque se han hecho algunas advertencias acerca de la posibilidad de que se libere hidrógeno debido a la reacción entre el cemento y el zinc¹⁹.

Actualmente, en los EE.UU., el galvanizado se considera como un proceso generalmente adecuado para reducir la fricción y proteger contra la corrosión; en Francia y Alemania, las normas actuales previenen acerca del uso de ductos galvanizados con tendones de alambre negro. Para eliminar esta duda, se puede tomar en cuenta, que en Europa se está aplicando a algunos ductos un recubrimiento de plomo que no puede generar hidrógeno. También, se han usado ductos de plástico porque no reaccionan con el concreto y pueden conectarse (o empalmarse) fácilmente en campo. Sin embargo, en el caso de tendones curvos, el cable “muerde” las paredes del ducto y los factores de fricción pueden ser excesivos; en tendones rectos o con poca curvatura, los ductos de plástico son satisfactorios.

Generalmente, los valores de adherencia (entre el plástico y el concreto o la lechada) son muy bajos, por lo que la adhesión puede ser insuficiente cuando se desea que los tendones funcionen con adherencia. La resistencia del plástico al fuego es mucho menor que la de los tendones, por lo tanto, la envoltura se puede dañar; sin embargo, al realizar pruebas de este tipo, no se encontró que esto fuese

¹⁹ En pruebas de laboratorio realizada a tendones, no se ha presentado fragilidad debida al hidrógeno y los informes de campo acerca de esto son muy escasos y no son convincentes.

significativo ni que redujera la resistencia al fuego (al calor) del miembro. Cuando se forman huecos en el concreto, mediante ductos o cimbras removibles, es posible producir abrasión al insertar y tensar el tendón y las pérdidas por fricción pueden ser muy altas; si se usa grasa o alguna sustancia similar para permitir el descimbrado del ducto, se puede reducir la adherencia. Por esta razón, este tipo de ductos, formados en el concreto no es muy utilizado, excepto en longitudes muy cortas y rectas, como en el caso de tendones de conexión. Se ha comprobado, que la envoltura con cinta adhesiva a prueba de agua es efectiva. En la construcción por segmentos, las juntas de este tipo son útiles, si se usa además un encamisado; se han utilizado también “camisas” de plástico, pero éstas se han dañado excesivamente durante el colado.

Para obtener la más alta calidad, como en el caso de recipientes a presión o puentes de claros grandes, se han usado juntas roscadas, pero evitando producir discontinuidad en el perfil del ducto, debido a la rigidez extra de la junta; también se han usado juntas soldadas, pero en éstas se toman precauciones para no “quemar” accidentalmente algún tendón adyacente aplicando también técnicas de soldadura adecuadas al espesor de la pared del ducto. Se evita, en lo posible, usar soldaduras para empalmar un ducto cuando el tendón se encuentre dentro de él.

3.3.9 APOYOS

Las vigas presforzadas están sometidas a cambios considerables de volumen en condiciones de servicio, y continúan acortándose por influencia del flujo plástico; las diferencias de humedad entre los patines superior e inferior pueden ocasionar

contracciones diferenciales y las diferencias de temperatura pueden causar aumentos en la contraflecha. Las cargas de servicio ocasionan la consiguiente rotación de los extremos y cambios de longitud. Todos estos fenómenos se presentan también, en cierto grado, en el concreto reforzado convencional; pero en el caso del concreto presforzado se incrementan debido a las secciones más esbeltas y al efecto del preesfuerzo, mantenido constantemente.

Entre las funciones de los apoyos está permitir movimientos longitudinales y rotación, mientras que mantienen también un soporte vertical. Debido a la corrosión ligera, los apoyos de placa de acero, aún de acero inoxidable, pueden “congelarse” en servicio e inutilizarse; se han utilizado placas de plomo, pero éstas están sujetas a deformaciones plásticas en sí mismas bajo el servicio continuado. Los apoyos de neopreno son los más utilizados y se encuentran fácilmente disponibles en varios espesores y tipos de dureza que permiten controlar el movimiento total de la estructura; en apoyos mayores se usa frecuentemente un “emparedado” de neopreno. Con el teflón se logra una superficie casi sin fricción, dura y durable; los apoyos de este material se están usando cada vez más en vigas y puentes de claros grandes.

3.3.10 JUNTAS

Conforme se indique en los planos, el contratista dejará las juntas de dilatación correspondiente a la separación de los cuerpos estructurales. Las juntas de dilatación llevarán tapajuntas, en la parte superior del espesor de la losa, este puede ser de lámina de hierro 1/4” ó puede ser de material epóxico para juntas de

pavimento, que apruebe el supervisor; contra el tráfico vehicular, la junta tiene que ir rellena de durapás. Si se colocara como tapajuntas la lámina de hierro, colocar un sellador para evitar filtración de agua dentro de la junta.

3.3.11 EFECTOS A CONTROLAR EN LA CONSTRUCCION

3.3.11.1 *RELAJACION DE ESFUERZOS*

Los tendones de acero tensado pierden esfuerzo debido al flujo plástico; en aplicaciones comunes se pueden esperar pérdidas del 6% al 13%.

Si durante la operación de preesfuerzo se sobreesfuerza un tendón (hasta 75% u 80% de su resistencia máxima) y se mantiene así por uno o dos minutos, a temperaturas normales (20°C), se inducirá un efecto similar al del suavizado de esfuerzos. En los Estados Unidos de América, la práctica normal es usar un 70%; respecto a la relajación de esfuerzos iniciales.

3.3.11.2 *DUCTILIDAD.*

La ductilidad es un requisito esencial para los tendones, su objeto es evitar que se rompan fácilmente durante su instalación y servicio. Para medirla se utilizan, por lo general, pruebas de doblado y de alargamiento, estas últimas deben hacerse en tramos de tendón suficientemente largos para compensar la influencia del área de estrangulamiento.

3.3.11.3 *CORROSION.*

La corrosión puede afectar la ductilidad de los tendones o reducir su sección transversal, disminuyendo así el preesfuerzo y por tanto la resistencia máxima; la corrosión puede reducir la resistencia a la fatiga.

La corrosión atmosférica antes de la instalación es frecuente pero no afecta las condiciones mecánicas y físicas de los tendones. La corrosión ocasionada por celdas salinas y los tipos de corrosión electroquímica originadas por ésta son severas y están relacionadas principalmente con la protección del concreto que cubre el tendón.

Para lograr que los tendones cumplan los requerimientos de servicio para los cuales se diseñaron sin que estos sean alterados en las etapas de transporte, almacenamiento, manejo, instalación, esforzado y colado o relleno con lechada de cemento, se recomienda considerar y controlar las etapas siguientes:

3.3.11.4 EMBARQUE.

Envolver los tendones con papel impermeable, y colocar cristales dentro de la envoltura para inhibir la producción de vapor (V.P.I), los rollos no se aprietan mucho, pues al tener radios de doblez muy pequeños se presentan grietas microscópicas en la superficie del acero, por lo cual ocasiona corrosión por esfuerzos.

3.3.11.5 ALMACENAMIENTO.

El lugar de almacenamiento puede ser cerrado y con clima artificial, para mantener la humedad relativa menor que 20%; nunca se almacenan en el lodo y se evita el almacenamiento abierto cerca de refinerías y plantas industriales, especialmente, en las que se quema carbón o aceite y que emiten sulfatos a la atmósfera.

3.3.11.6 INSTALACION.

Cuando los tendones se usan para pretensado, no hay que exponerlos a la atmósfera normal por más de 24 horas, principalmente cerca de refinerías u otro tipo de plantas que emitan aunque sea cantidades mínimas de gases sulfurosos (H₂S). En el postensado hay que asegurarse que los ductos estén libres de agua, drenándolos y sopleteándolos con aire comprimido; evitar la abrasión en el punto de entrada al ducto, colocando un embudo en la entrada. Después de la instalación se procede al preesfuerzo dentro de las 48 horas siguientes, rellenando con lechada de cemento según diseño detallado en especificaciones, 24 horas después del esforzado. Cuando no sea posible realizar el presfuerzo dentro de las 48 horas, hay que espolvorear completamente los tendones con polvo para inhibir la vaporización (VPI); la inhibición del polvo VPI es efectiva sólo a 15 cm después, los extremos del ducto son sellados con cubiertas de plástico a prueba de vapor (o con cinta adhesiva).

Cuando es necesario presforzar por etapas, es recomendable presforzar totalmente sólo algunos tendones y rellenar con lechada de cemento, dejando los demás sin presforzar o bien a preesfuerzo bajo.

3.3.11.7 COLADO DE TENDONES PRETENSADOS

Seleccionar una mezcla plástica, con baja relación agua-cemento y consolidarla totalmente por medio de vibrado especificado según diseño del elemento; para que haya corrosión electroquímica, es necesario que exista un gradiente de

oxígeno (producido por lo general por los huecos que hay a lo largo del tendón) y este tipo de corrosión progresa más rápido en los concretos permeables.

3.3.11.8 FATIGA

Los esfuerzos de fatiga no causan problema en los aceros utilizados para preesfuerzo, porque los tendones de preesfuerzo atraviesan por un rango muy pequeño de cambio de esfuerzos, mientras, la carga varía desde cero hasta su valor máximo; esto se ha verificado por medio de exhaustivas pruebas efectuadas por la Asociación Americana de Ferrocarriles (American Association of Railroads). Sin embargo, las cargas cíclicas pueden causar reducción en la adherencia entre el tendón y el concreto, esto aumentará la longitud de transferencia y puede ocasionar un problema en miembros pretensados muy cortos, como durmientes para ferrocarril y voladizos.

3.3.11.9 ADHERENCIA

La adherencia (y la longitud de transferencia) es un mecanismo complejo, en la cual influyen la contracción del concreto alrededor del tendón, la dilatación del tendón debido al efecto de poisson, la liga mecánica de las corrugaciones o vueltas del torón o cable y la adherencia. Un torón en superficie muy pulida ofrecerá muy baja adherencia; de manera similar, cualquier lubricante que se deje en los alambres después de colocados, reducirá la adherencia. Los amarres laterales, como las espirales o estribos, aumentan la adherencia. Generalmente, el alambre y los torones o cables tienen superficies adecuadas, pero, de vez en cuando, los cambios en los procesos de fabricación pueden causar problemas, en este

aspecto, nuevamente, esto es importante sólo en miembros muy cortos y en voladizos. Uno de los factores que propician la disminución de la adherencia es el desgaste ocasionado por la puesta en servicio, cargas cíclicas y a causa de la suciedad, el aceite o la grasa.

3.3.11.10 TEMPERATURAS MUY BAJAS

A temperaturas muy bajas, los aceros usados para preesfuerzo, como el alambre estirado en frío, conservan completamente las propiedades adecuadas, aumentan la resistencia y el módulo de elasticidad y disminuye la ductilidad.

3.3.11.11 TEMPERATURAS ELEVADAS

Conforme aumenta la temperatura, se incrementa sustancialmente la relación de relajación de esfuerzos y aumenta la ductilidad; por encima de la temperatura crítica de 400°C a 500°C se presenta pérdida importante de esfuerzo.

3.3.11.12 PRECAUCIONES PARA LOS ANCLAJES

En la selección de anclajes se recomienda utilizar los anclajes especificados siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante, utilizando para la instalación procesos y herramientas recomendadas y acondicionando lugares limpios y secos para su almacenaje. Durante su instalación, debido a los esfuerzos de tensado, es necesario establecer un equipo a los trabajadores y medidas de protección para evitar golpes accidentales, exposición excesiva al calor y arcos eléctricos (como los de la soldadura). Al finalizar la instalación se aplica, al anclaje, una cubierta protectora (contra la corrosión y el fuego), porque este es un mecanismo crítico, altamente presforzado.

3.3.11.13 ACCESORIOS AHOGADOS EN EL CONCRETO

En las construcciones de concreto son muy comunes los casos en que es preciso ahogar alguna pieza en el miembro como es el caso de tuberías y conductos; pero en el caso del concreto presforzado es necesario tomar algunas precauciones ya que pueden producir reacciones concreto-aluminio, en el caso de tubería o conductos de aluminio a menos que los mismos se pinten o recubran o la acción electrolítica entre el aluminio y el acero. Además pueden afectar la resistencia del concreto.

3.3.11.14 CAMBIOS DE VOLUMEN

Los miembros presforzados se acortan, en movimientos elastoplásticos; dando lugar a cambios en la relación dimensional entre piezas críticas que se encuentran inmersas en el concreto.

La baja relación agua-cemento, necesaria para alta resistencia, requiere, por lo general, vibrado más vigoroso (frecuencias de 9000rpm), el cual puede mover las piezas ahogadas en el concreto. También, el curado con vapor en cimbras metálicas produce expansión (en los miembros presforzados) mayor que del concreto, mientras el concreto se encuentra aún sin resistencia; esto puede ocasionar desplazamientos relativos de las piezas ahogadas.

3.3.11.15 CORROSION

A menudo, ha ocasionado preocupación la posibilidad de que se transmita corrosión, a un tendón debido a la corrosión de una pieza ahogada en el concreto, especialmente de algún cable o varilla de acero; la experiencia señala que la

corrosión atmosférica se detiene a profundidad de 3 mm a 13 mm de la superficie. Sin embargo, si el concreto que rodea la pieza ahogada está quebrado, aplastado o agrietado, se acelerará la corrosión.

El óxido que emana de las piezas ahogadas (y de los extremos expuestos de los cables) puede ser perjudicial aún para la resistencia de las estructuras; esto puede evitarse con un sellador epóxico. Otro recurso es, galvanizar o recubrir con cadmio las piezas que se van ahogar en el concreto. En tal caso, será conveniente mantener la parte galvanizada separada del contacto directo con los tendones.

Cuando la línea del preesfuerzo cruza por una abertura, ésta se forma de manera que no se cierre el agujero debido a la distorsión ocasionada por el preesfuerzo.

Por lo general, los tendones se pueden colocar alrededor de las piezas ahogadas o de las aberturas, sin que se produzcan efectos adversos sobre la distribución del esfuerzo. Como en todo el sistema de presforzado, el concreto es el que se encuentra bajo la acción del esfuerzo, automáticamente se forma un flujo elastoplástico, sin importar la localización exacta del tendón.

3.3.12 ACEPTACION DE LA ESTRUCTURA

Los miembros colados con dimensiones inferiores a las proyectadas serán consideradas potencialmente deficientes, en cuyo caso, serán sujetos de evaluación estructural para determinar la aceptación o rechazo. Los miembros colados con dimensiones mayores que las proyectadas, la supervisión evaluará el caso desde el punto de vista: resistencia y apariencia, para determinar su rechazo u aceptación. Los miembros colados desplomados o fuera de nivel serán

rechazados por la supervisión y colados de nuevo en la forma que se indique en los planos. La resistencia de la estructura se considerará deficiente cuando se tengan los siguientes casos:

- a) El concreto o el hierro de refuerzo no satisfagan los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas de la construcción.
- b) El curado se realice en forma inadecuada o durante un tiempo menor que el especificado.
- c) La estructura presente daños mecánicos producto del proceso de curado, tales como sobrecargas, golpes o vibraciones.
- d) El moldeado o encofrado sea retirado prematuramente.
- e) Las pruebas de resistencia no cumplan las especificaciones a los 7 y 28 días.

La supervisión podrá rechazar cualquier estructura parcial que se considere deficiente; por lo tanto, el contratista está obligado a reforzar o reemplazar el miembro estructural señalado con toda la autoridad de la supervisión, cuando ésta evalúe la calidad terminada. El contratista pagará los costos de cualquier reparación de las estructuras, así como el análisis estructural o las pruebas adicionales requeridas.

3.4 CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO CON MOLDES DE MADERA

Los requerimientos son similares a los descritos en el método de puentes de concreto, excepto en la construcción de los moldes de los puentes, donde la cimbra, encofrados y moldes se elaboran de madera; para su utilización se revisan

las condiciones de sanidad y resistencia a la compresión cumpliendo con las normas y especificaciones del proyecto.

3.5 CONSTRUCCION

3.5.1 PLANOS

En el proyecto del puente, para su realización, los planos constructivos contienen el detallado de los miembros constituyentes, concordantes con la memoria de cálculo. Estos indican lo siguiente.

- Ubicación del puente.
- Vista general del puente.
- Esquema de localización de sondeos en los estudios de suelo en los estribos, pilastras, anclajes en el puente.
- Encofrados de los elementos.
- Armaduras de los elementos componentes.
- Esquemas de los procesos constructivos especiales.
- Esquema de colocación del concreto.
- Sistemas de drenaje.
- Detalle de señalización.
- Especificaciones especiales.
- Tablas de metrado.

La presentación de los planos se realiza de acuerdo con la normalización oficialmente dispuesta. Para su identificación, se incluye un membrete con información sobre las entidades licitantes, nombre del puente, ubicación, luz

total, contenido, sobrecarga, responsables del proyecto, diseño, gráficos, revisión y aprobación, escalas utilizadas y fecha. Además, se incluye una tabla para agregar las modificaciones que se realicen al diseño; esta contiene información sobre la modificación realizada, los responsables de la modificación y la fecha de aprobación.

3.5.2 ESPECIFICACIONES PARTICULARES

Las especificaciones técnicas y las instrucciones generales, particulares y complementarias, son proporcionadas en el proyecto y están indicadas en los planos. Su mejor descripción está constituida en las especificaciones generales en el cuerpo de los mismos, o en anexos o apéndices de estos, según el caso.

3.5.3 METRADOS

Se indican los datos que permiten la identificación de cada elemento medrado, sus dimensiones y detalles de construcción en campo, así como la cantidad de material necesario, en las unidades correspondientes. Los metrados dependen del detallado que requiera el proyecto.

3.5.4 REALIZACION DE OBRA

La realización de la obra está constituida por todas las actividades, procesos, métodos y técnicas necesarias para construir físicamente la obra de paso. La realización de la obra también incluye todas las actividades de planeación y realización, donde el constructor controle que la calidad de los procesos constructivos, mano de obra, materiales, obra total terminada, incluyendo la obra realizada por los subcontratistas y proveedores, cumpla con los requisitos

estipulados en el contrato y especificaciones. Para lograr este objetivo, el realizador utiliza métodos y procesos de control y realización de la obra y almacena registro e informes que le permitan controlar la calidad de la obra.

3.5.4.1 DOCUMENTOS, REGISTROS, ARCHIVOS O REPORTE UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION

Archivos o registros. Son parte del sistema de información que permite recopilar información de un proyecto. Por ejemplo, un sistema de archivo para la fase de construcción puede contener: actividades de la fase de licitación, preconstrucción, construcción y liquidación de un proyecto que permita dar seguimiento a las actividades necesarias para la realización del proyecto.

Registros individuales del Proyecto. Es responsabilidad del ingeniero residente, determinar las necesidades específicas en relación con los tipos de registros de un proyecto; sin embargo, algunas empresas utilizan formularios que contienen información de trabajo, teniendo los procedimientos establecidos para el manejo, distribución y almacenamiento de los registros. Estos registros, se utilizan para reportar las actividades y conversaciones diarias, donde se resumen compromisos verbales hechos con la supervisión o los que el realizador haya ofrecido, problemas de campo durante la construcción y cómo se resolvieron, avisos al contratista y otra información similar. Sin embargo, estos registros no son sustitutos de la bitácora.

- Registro de construcción. La siguiente lista contiene los principales tipos de registro de construcción que el ingeniero residente debe mantener:

- a. Avance del trabajo. Describe el trabajo iniciado, estatus del trabajo en realización, mano de obra y equipo en el proyecto, condiciones de clima, visitantes al sitio de la obra, etc.
 - b. Llamadas telefónicas. Todas las llamadas recibidas o hechas indicando la naturaleza o propósito de las mismas.
 - c. Pruebas de materiales. Llevar un registro de todas las muestras enviadas al laboratorio, así como las realizadas en campo. Es importante detallar la ubicación y el sitio exacto en la estructura, o el material que se utilizará o el que fue utilizado.
 - d. Cada miembro del personal de campo lleva un registro diario donde se muestre si se realizó trabajo o no.
 - e. Registro de propuesta. Hacer un registro de todas las propuestas de materiales y cualquier obra o cambios en la obra, propuesto, sometido a aprobación, por el realizador.
- Archivos de la oficina de campo. Las oficinas de campo se mantienen actualizadas y preparadas para cualquier referencia en el lugar de trabajo durante toda la fase de construcción. Cuando esta fase termina, los archivos son enviados a las oficinas del contratista quien retendrá algunos de ellos y enviará otros al propietario. Estos archivos contienen lo siguiente:
 - a. Correspondencia almacenada cronológicamente.

- b. Planos que contengan cambios, aclaraciones o información adicional; además, un juego de los planos contractuales.
 - c. Planos de taller que se hayan revisado y aprobado por la supervisión.
 - d. Requisiciones de pago. Copia de todas las requisiciones de pagos hechas por el realizador.
 - e. Reportes y copias de todos los reportes en forma cronológica.
 - f. Muestras. Todas las muestras de materiales aprobados o acabados marcadas e identificadas.
 - g. Pruebas de operación. Resultados obtenidos de todas las pruebas que se lleven a cabo, registradas cronológicamente.
- Registro del progreso de la construcción. Es presentado por el ingeniero residente o el gerente de control de calidad y se realiza mediante la utilización de reportes diarios de construcción, aunque no se haya realizado trabajo en la obra. El contenido de estos incluye la siguiente información:
 - a. Nombre del proyecto.
 - b. Nombre del cliente o propietario del proyecto.
 - c. Nombre del realizador.
 - d. Nombre del gerente de proyecto de la organización o empresa de diseño.
 - e. Número y fecha del reporte.
 - f. Día de la semana.

- g. Condiciones climáticas.
 - h. Recursos promedios: nombre de cada contratista o subcontratista presente, número de trabajadores calificados y no calificados, número de personal de dirección de campo (maestros de obra, caporales, etc).
 - i. Visitantes del proyecto, incluyendo nombres, empleadores, hora de llegada y salida.
 - j. listado de equipo de construcción indicando su número de inventario, capacidad o tamaño, tipo y condición de trabajo.
 - k. Detalle del trabajo comenzado; trabajo asignado, en progreso o realización; identificación de la ubicación y descripción del mismo, nombre del realizador o contratista que lo está realizando.
 - l. Firma del reporte, nombre completo, posición, cargo y fecha.
- Reporte mensual. Se elabora uno, conocido como reporte mensual de rendimiento y otro el reporte general del estado actual del proyecto.
 - Bitácora. Es un libro numerado, foliado, si se requiere o según formato, que se utiliza para llevar un control de decisiones e instrucciones en el campo, de todas aquellas actividades relacionadas con la obra que no tenga relación con el proceso constructivo y seguimiento del proyecto. Todo lo que tenga relación con el control de calidad, se lleva en los archivos de control de calidad, en los formatos aprobados.

3.5.4.2 ESTABLECIMIENTO DE LA COMUNICACION EN LA CONSTRUCCION

La comunicación en la obra, o comunicación de campo, está referida al proyecto. Al inicio de un proyecto, una de las primeras actividades es, determinar la línea autorizada de comunicaciones y autoridad, y el método de manejar la comunicación, por ejemplo, entre subcontratistas, proveedores, fabricantes, y el realizador.

3.5.4.3 PLANOS COMO CONSTRUIDO

Desde el inicio de la obra se establece un mecanismo para la elaboración de planos “como construido” de la obra y la recepción final se realiza hasta que el contratista entrega los planos “como construido” a satisfacción de la supervisión.

3.5.5 ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION Y ADMINISTRACION DEL CONTRATO

Administración del contrato significa manejo de las relaciones de negocios entre las partes que llevan a cabo el contrato, de lo cual, popularmente se dice que está limitado al papeleo administrativo. Administración de la construcción, implica responsabilidad más amplia de relacionar todas las opciones del proyecto entre las diferentes partes del contrato; no sólo las tareas tradicionales de la administración del contrato, sino las de conducción de las partes, las relaciones con el contratista, las comunicaciones, procedimientos, responsabilidades, autoridad, y las tareas de todas las partes en cuanto a documentación requerida, operaciones de construcción, planificación y programación, coordinación, control

de materiales, administración de los pagos, orden de cambio, trabajo extra, manejo de disputas y reclamos, negociaciones, liquidación del proyecto, inspecciones finales, limpieza final, y cierre administrativo.

Para administrar la construcción, el realizador se responsabiliza de la calidad de la construcción, de la obra, desarrollando un plan de control de calidad que consiste en programas y procesos, así como la organización necesaria para garantizar que la construcción final esté conforme con las especificaciones establecidas en el contrato. El plan comprende todas las operaciones de construcción que se llevan a cabo en el lugar de emplazamiento del puente, así como las que no se encuentran en el lugar (como los talleres mecánicos, procesos de prefabricado de vigas, etc.) relacionadas con la secuencia del proceso constructivo propuesto. En la realización de todas estas operaciones, el constructor lleva un control documentado de la calidad y seguridad en las obras realizadas.

En el sitio donde se realice la construcción de la obra, el ingeniero residente es responsable de la calidad del trabajo y de todas las actividades en el lugar, y por lo tanto, éste es el representante del realizador. El seguimiento del plan de control de calidad, es responsabilidad de la supervisión que se encargan de verificar que se cumplan con los requisitos de calidad especificados, los cuales se registran sistemáticamente en documentos para que sean puestos a disposición del propietario.

3.5.5.1 CONTENIDO DEL PLAN DE CONTROL DE CALIDAD

El plan de control de calidad incluye todo lo que garantice la descripción de todas las operaciones de construcción in situ, o afuera, incluyendo las de los subcontratistas, los fabricantes y los proveedores. Esto es:

- Descripción de la organización, y un organigrama mostrando las líneas de autoridad y reconocimiento. El personal incluye un gerente de control de calidad que reportará al contratista.
- Nombre, hoja de vida, funciones, responsabilidades, y autoridad asignada a cada una de los miembros de la organización que intervienen en el plan de control de calidad (PCC).
- Copia de carta-poder debidamente acreditada, mediante la cual el realizador o su representante legal otorgan suficiente autoridad al gerente de control de calidad, para que pueda desempeñar adecuadamente sus funciones, incluyendo la potestad de parar la obra que no esté de conformidad con el contrato.
- Procedimiento para la presentación y verificación de los materiales que serán utilizados en la construcción de la obra contratada realizada por el supervisor externo.
- Método de control, verificación y aceptación de los procesos de pruebas de laboratorio de suelos y materiales, conforme a programa de pruebas previamente presentado. Incluye, el nombre de la prueba, y veces realizada

periódicamente, sus especificaciones, resultados, y nombre de la persona responsable de realizarla.

- Procedimiento para control de la realización de las fases de inspección preparatoria, inicial y de seguimiento. Incluyendo control, verificación y aceptación de pruebas con su documentación.
- Procedimiento para dar seguimiento a las deficiencias constructivas señaladas a través de un proceso aceptable de corrección. Dentro del proceso se verifica, que las deficiencias detectadas han sido corregidas. Para ello, se establece un control separado para facilitar su seguimiento, en el que se señala la fecha de identificación de la deficiencia, fecha propuesta por el contratista para superar la deficiencia y fecha de deficiencia superada. Además, el personal y proceso acordado para la corrección de la misma.
- Reporte de procedimientos, incluye formatos propuestos.
- Un Listado de actividades que, conforme al criterio del realizador, conforman la totalidad del trabajo, donde se listen todas las actividades cuya naturaleza sea distinta de las demás y que por lo tanto requiere controles separados, y que pueden ser identificadas por materiales y disciplinas distintas.
- Plan de higiene y seguridad industrial, PHSI. Además, el plan debe contener acciones correctivas para cuando no se cumpla con lo establecido.

Antes de iniciar el proceso de control de calidad, el realizador presenta el plan al supervisor externo para su revisión, donde identifica al personal que participará en este plan, los procesos constructivos, controles, instrucciones, pruebas, registros y formularios que serán empleados. El supervisor puede realizar cambios al PCC, incluyendo la sustitución de personal, si fuere necesario, y posteriormente lo presenta al propietario e instituciones gubernamentales correspondientes para su aceptación. En el caso de instituciones gubernamentales, como el FISDL y el MOP, encargadas de realizar obras de este tipo, una vez que el PCC ha sido recibido, cualquier cambio se realiza por medio de solicitudes, entregadas por escrito, las cuales son aprobadas posterior a la revisión y recomendación del supervisor. Sin embargo, se aceptan aprobaciones parciales. En todo caso, todos los cambios son debidamente informados y no son adoptados hasta que el propietario o su representante los haya aprobado.

3.5.5.2 CONTENIDO DEL PLAN DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL (PHSI)

El PCC incluye el plan de higiene y seguridad industrial (PHSI). Para ello, se toma como referencia todo lo contenido en el reglamento del Ministerio de Trabajo con relación a este tema.

El lugar de trabajo estará adecuadamente señalizado y todos los equipos recibirán mantenimiento preventivo y correctivo, siendo responsabilidad del realizador mantenerlos limpios y en buen estado. El PHSI también incluye un programa de

emergencias. El contratista presenta en su PHSI sus consideraciones de seguridad propuestas para las tareas que se detallan a continuación:

- Concientización. Capacitación al personal nuevo entrante
- Plan de emergencia:
 - a. Plan de evacuación. Incluir medios de transporte.
 - b. Primeros auxilios.
- Instalaciones Sanitarias (Si no existe servicio de agua potable presentar una solución alternativa).
 - a. Agua potable.
 - b. Servicios sanitarios dispuestos en lugares estratégicos donde al discontinuar su uso no constituyan problemas futuros.
- Equipo de Protección Personal: protección para los ojos, protección para los oídos, protección para la cabeza, protección para pies y manos, protección para el sistema respiratorio.
- Iluminación para trabajos nocturnos (si se realizan trabajos nocturnos o es requerido).
 - a. Iluminación del sitio de trabajo.
 - b. Iluminación para la utilización de equipos pesados.
- Señalización.
 - a. Zona de uso de casco.
 - b. Señales de peligro.
 - c. Señales de aviso.

- Protección contra fuego.
 - a. Extintores.
 - b. Contenedores de combustibles.
 - c. Identificación (color y etiquetas de contenedores).
- Protección en actividades de soldaduras.
 - a. Equipo de soldadura.
 - b. Equipo de protección personal (ojos, cabeza, pies, manos).
 - c. Aislamiento eléctrico.
 - d. Protección para el público.
- Electricidad.
 - a. Instalaciones temporales.
 - b. Herramientas eléctricas.
 - c. Desconexión y protección / resguardo de circuitos y/o tableros.
- Almacenamiento y manejo materiales.
 - a. Almacenamiento.
 - b. Transporte.
 - c. Desecho de materiales sobrantes.
 - d. Higiene, limpieza y organización de bodega y sitio de trabajo en general.
 - e. Control de polvo.
- Equipo Pesado.

- a. Plumas y otros equipos pesados deben ser operados por personal calificado. Pruebas de habilidad del operador deben ser requeridas para demostrar su capacidad.
 - b. El Gerente de Control de Calidad debe inspeccionar y aceptar todo equipo traído al sitio de trabajo.
 - c. Las operaciones con grúas deben tener encargado de la señalización.
- Protección contra las caídas.
 - a. Barandas y pasamanos.
 - b. Barricadas.
 - c. Andamios.
 - a. Escaleras.
 - b. Cuerdas salvavidas (arneses).
 - c. Plataformas.
 - Demoliciones.
 - a. Remoción de escombros.
 - b. Remoción de estructuras (a mano y con maquinaria).
 - Excavaciones.
 - a. Accesos seguros.
 - b. Pendientes mínimas seguras para taludes.
 - c. Ademados.

3.5.6 REQUISITOS DE PERSONAL

Los requisitos de personal para la organización del PCC son de un gerente de control de calidad, y de todo el personal adicional que el realizador estime necesario para garantizar la higiene, seguridad industrial y cumplimiento del contrato. Todo personal especializado que se identifique como necesario para el control de un determinado proceso, también formará parte del “staff” del PCC, y tendrá las mismas capacidades y autoridad que los demás miembros.

El gerente de control de calidad tiene la responsabilidad de permanecer físicamente en la obra, todo el tiempo que dure la construcción, y tiene la autoridad y responsabilidad de tomar cualquier acción necesaria para garantizar el cumplimiento del PCC. En proyectos gubernamentales, el personal es evaluado y aceptado por la entidad responsable de gestionar proyectos de este tipo como el FISDL, MOP, alcaldías, etc. presentados según informe del supervisor externo.

El realizador provee espacio suficiente y adecuado, mobiliario, equipo y todos los recursos necesarios para que pueda funcionar adecuadamente el personal que compone la organización del PCC. Además, lleva archivos y registros completos de toda la correspondencia, información de los materiales y documentos del proyecto en general, para que pueda ser presentado al propietario o su representante, cuando este así lo requiera. El gerente de control de calidad es el responsable de mantener en la obra todos estos documentos así como de su custodia. Su responsabilidad incluye haber visitado el lugar de trabajo, con el propósito de entender la naturaleza de las instalaciones provisionales que sean necesarias. Si

no lo hace, el propietario asume que todas las condiciones son conocidas y, por lo tanto, son de su responsabilidad.

3.5.6.1 GERENTE DE CONTROL DE CALIDAD

El realizador tiene la obligación de nombrar como gerente de control de calidad, a un profesional graduado en ingeniería civil o arquitectura, con cinco años de experiencia, mínima, en el área de construcción de obras civiles y que permanezca en la obra, como responsable de todo el manejo del PCC y del PHSI, quien tendrá la autoridad para comparecer en todos los procesos y gestión de ambos planes.

Al gerente de control de calidad no se le asignarán otras tareas distintas a las del control de calidad y el plan de higiene y seguridad industrial (PHSI). El gerente de control de calidad será una persona distinta al residente, y/o superintendente y para cuando eventualmente tenga que ausentarse, en el PCC estará identificado su sustituto.

El seguimiento del PCC es responsabilidad del gerente de control de calidad, quien además realiza las inspecciones y pruebas de todas las tareas requeridas en la obra, incluyendo las provistas por los subcontratistas, para garantizar el cumplimiento de las especificaciones de los materiales, la calidad de la mano de obra empleada, el proceso constructivo, los acabados, y el funcionamiento de la misma después de terminada.

3.5.7 SUPERVISION

El supervisor es el representante del propietario en la construcción con la responsabilidad de observar o vigilar que el trabajo realizado cumpla con las

expectativas del propietario utilizando como apoyo los planos, especificaciones y otros documentos contractuales, así como notificando cualquier variación durante el proceso constructivo. El supervisor externo, garantiza que el plan de control de calidad (PCC), funcione debidamente para que la obra sea concluida conforme lo detallan planos constructivos.

Las responsabilidades que asume el supervisor son:

- Conocer los planos y especificaciones.
- Notificar al contratista cualquier material o porción del trabajo no está conforme con los requerimientos de los planos y especificaciones, explicándole las razones y anotarlo en bitácora.
- Realizar sus tareas promoviendo el progreso de la obra. El supervisor colaborará con el contratista para prever posibles errores o atrasos en la construcción.
- Evitar cualquier inspección, prueba, u otra actividad que pueda ser considerada responsabilidad del contratista.
- Permanecer durante todo el tiempo que dure el proceso de realización de una actividad. Si tuviera que abandonar el proyecto se delega a otro supervisor.
- Verificar los materiales tan pronto como sean entregados en la obra y antes de su colocación.
- En el caso de pruebas “in situ”, realizarlas con rapidez y cuidado, manejar y proteger las muestras y reportar cualquier falla al contratista.

- Realizar las pruebas e inspecciones oportunamente, de acuerdo con la programación de actividades del proyecto y avance de obra.
- Verificar con anticipación el trabajo preparatorio, como la limpieza de moldes, formaletas o encofrados para minimizar atrasos.
- Inspeccionar el trabajo a medida que progresa la construcción.
- Disponibilidad para realizar inspecciones en cualquier momento.
- Si se encuentran tolerancias específicas en los documentos contractuales que se consideren irreales, es responsabilidad del supervisor comunicárselo al contratista.
- Siempre que sea posible, el supervisor puede anticiparse a los problemas y realizar las observaciones al contratista por medio de un aviso para contribuir al avance de la obra.
- Reconocer el trabajo defectuoso o inaceptable en el momento en que ocurran y durante sus etapas tempranas y reportarlo al contratista antes de que se produzca un problema mayor, haciendo más costoso el proceso o retrasando la obra. La notificación puede hacerla por escrito cuando sea necesaria.
- Antes de tomar cualquier decisión, el supervisor tiene que investigar la situación y sus posibles consecuencias para evitar decisiones apresuradas o que perjudiquen al propietario.
- Respaldar cualquier decisión que haya hecho sobre problemas o situaciones concernientes al trabajo del contratista.

- En el transcurso de su trabajo adquirir la capacidad de diferenciar aquellos items que son esenciales para el proyecto.
- El supervisor tiene la responsabilidad de estar alerta y ser observador. Cualquier situación que pueda causar retraso puede reportarla de inmediato.
- Velar por la seguridad dentro del proyecto y los colindantes para garantizar la vida de los trabajadores y vecinos del proyecto; además para agilizar el mismo sin problemas de retrasos por accidentes o daños a terceros.

El supervisor puede ejercer su autoridad cuando la situación lo demande, por ejemplo, aprobar los materiales y calidad de mano de obra que satisfagan los requerimientos del contrato, tomar en cuenta cualquier desviación de los requerimientos del contrato acompañado por una orden de cambio, dirigir las instrucciones directamente al contratista. Por el contrario no puede ordenar al contratista que detenga sus operaciones o procesos injustificadamente ya que cuando a un contratista se le ordena detener el proceso de construcción de manera inmediata, puede ocasionar costos muy elevados, particularmente si están involucrados equipos y materiales como el concreto. Si la orden no es justificable de acuerdo con los términos del contrato, el contratista puede demandar el reembolso por los atrasos ocasionados. El supervisor tampoco puede exigir al contratista que le proporcione más datos o información que la requerida en los planos y especificaciones contenidas en el contrato, ni dirigir el trabajo del contratista.

3.5.8 PROGRAMACION

En los proyectos en los cuales se lleva a cabo la construcción de un puente, las actividades son distribuidas en principales y secundarias de tal forma que las principales constituyen la ruta crítica de la construcción. Utilizando un método adecuado de programación (Critical Path Method “CPM“ o diagramas de barras)²⁰ son calendarizadas y distribuidas todas las actividades en el tiempo estimado para la realización de la obra. En general, la programación significa dar periodos de tiempo a cada actividad a desarrollar.

3.5.9 COSTOS Y PRESUPUESTOS

El costo real de la obra debe poseer una variación mínima con respecto al presupuesto pactado en el contrato, de tal forma, que no afecte los recursos económicos disponibles para la construcción. Con el presupuesto, lo que se pretende es buscar aquel valor que más se acerca al valor real de la obra que se construye.

El constructor para la elaboración del presupuesto evalúa los recursos con que dispone como mano de obra, materiales, infraestructura para desarrollo de actividades logísticas y administrativas y, herramientas y equipo. Para minimizar los costos, generalmente se utilizan estrategias que permitan alcanzar mayores utilidades utilizando los mínimos recursos. Por ejemplo, utilizar maquinaria o personal en varios proyectos o disponer de materiales del sitio. Otro elemento que se considera en la elaboración de presupuestos son los costos por subcontrato.

²⁰ Ver: ANTIL, J. El Método de Lanuza crizica.ED. Limusa.Méx.

3.5.10 CONTROL DE COSTOS Y PRESUPUESTOS

Por la naturaleza de este tipo de obras, se requiere un exhaustivo control de calidad en costos y presupuesto, de tal manera, que no existan pérdidas de materiales o desperdicios que afecten la buena realización de la obra.

La firma constructora tiene que monitorear constantemente la cantidad de obra realizada con los materiales entregados para este fin con el objetivo de garantizar el buen uso de los recursos asignados a cada etapa del proyecto.

Durante el proyecto el contratista utiliza formularios elaborados para el proyecto para verificar, comparar y actualizar los costos reales con los estimados en el presupuesto, al mismo tiempo, elabora estimaciones de trabajo, por periodos de un mes como máximo. Las fechas de entrega de las estimaciones son previamente establecidas en el contrato. Los formularios pueden ser diferentes a los utilizados para el control de costos del contratista, éstos detallan la cantidad trabajo durante un periodo estipulado y sirven para hacer cobros parciales al propietario. Cuando se elaboran las estimaciones generalmente se levanta una acta que es firmada por el propietario y el contratista que sirve como comprobante del trabajo realizado hasta la fecha de realización del acta.

3.5.11 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad de una obra de carreteras comienza por una comprobación del diseño para verificar que éste alcanza la calidad respecto a la importancia social y económica, de las necesidades de la población, del nivel de servicio que se

pretende y de todos los parámetros técnicos-económicos que sirven para definir la importancia general de la obra.

La supervisión de la calidad del diseño se realiza por un grupo de técnicos expertos en diseño, construcción y control de calidad, que examinan los diferentes apartados del diseño para verificar su idoneidad según los requerimientos particulares de cada diseño.

Además, es necesario que todos los procesos para llevar a cabo la construcción, planos, especificaciones, y la construcción misma se realicen cumpliendo las expectativas del propietario, en cuanto a costo, tiempo de ejecución y calidad. Esto implica, aplicar procesos y actividades donde cada participante de la construcción, realicen adecuadamente sus actividades, desde el propietario hasta los obreros. Para lograr calidad en las construcciones, hay que establecer un orden en la organización de la obra, las responsabilidades de todos los involucrados en el proyecto y procedimientos y actividades que permitan optimizar recursos, costos, recursos humanos y tiempo, obtener construcciones de acuerdo con planos y especificaciones. Por lo cual, es necesario desarrollar un plan de control de calidad, donde se controle la calidad de los materiales y la calidad de la mano de obra, procesos constructivos y de la empresa que realiza la construcción. Este plan de control se puede estructurar de la siguiente manera: ensayos previos (EP), ensayos de construcción (EC), ensayos finales (EF), ensayos especiales (EE), recomendaciones prácticas (RP).

3.5.11.1 ENSAYOS PREVIOS (EP)

Son todas aquellas acciones, comprobaciones o ensayos de laboratorio encaminados a:

- Determinar las características de los materiales a utilizar en la obra.
- Seleccionar los materiales y la maquinaria.
- Comprobación de las unidades de obra anteriormente ejecutadas en lo que a su composición se refiere.
- Comprobar la capacidad resistente de los terrenos.
- Establecer parámetros previos que sirvan de referencia a los ensayos de construcción.
- Determinar fórmulas de trabajo en mezclas de materiales para lograr la mejor capacidad resistente y adecuada a la obra.
- Realizar tramos de ensayos de procedimientos constructivos, contrastando, para establecer sistemas de construcción posteriores, que son convencionales, novedosos o innovadores para aplicar durante la realización, cuando previamente se haya aprobado y autorizado su uso en producción, al haberlo evaluado por lo menos como nuevo.
- Establecer límites de tolerancia geométrica en la recepción de materiales.
- Establecer límites de temperaturas de uso para la aplicación de materiales.
- Tarado y calibrado de instrumentos de ensayos y medidas.

3.5.11.2 ENSAYOS DE CONSTRUCCION (EC)

Corresponden a todas las acciones y ensayos encaminados a:

- Comprobar, que los materiales empleados son los seleccionados en los ensayos previos y que mantienen sus parámetros característicos a lo largo de toda la obra.
- Comprobar, que la maquinaria empleada en la obra obtiene los rendimientos previstos y produce unidades de obra terminadas con la calidad especificada en los pliegos de condiciones técnicas.
- Comprobar la idoneidad de las unidades compuestas que se ejecutan.
- Calcular los parámetros característicos de cada unidad de obra para compararlo con el previsto u obtenido en los ensayos previos.
- Comprobar, que las fórmulas de trabajo de mezclas de materiales se encuentran dentro de límites de tolerancia especificados en los pliegos o en los ensayos previos.
- Aplicar los procedimientos constructivos obtenidos en los tramos de ensayo realizados previamente.
- Comprobar, que la temperatura ambiente o de los materiales y mezclas se ajusta a los límites establecidos.
- Comprobar, periódicamente, el tarado de instrumentos de ensayo o medidas para compararlo con el inicial.
- Comprobar las alineaciones o cotas de encofrados o referencias de elementos guía para la ejecución de unidades de obra.

3.5.11.3 ENSAYOS FINALES.

Tienen por objeto:

- Comprobar la capacidad resistente final del conjunto de unidades terminadas con pruebas de carga o ensayos similares a través del cálculo de módulos o deformaciones.
- Comprobación de cotas y alineaciones finales.
- Comprobación de la forma de las superficies (planas, inclinadas, irregulares).
- Establecer parámetros finales de caracterización de los pavimentos (uniformidad, deflexión, coeficientes de rozamiento, etc.) que sirvan de referencia inicial para su seguimiento, evolución y toma de decisiones de conservación.
- Establecer parámetros finales de caracterización de estructuras auxiliares para el mismo fin que en el apartado anterior.
- Realización de pruebas para la obtención de muestras y parámetros mecánicos en casos de duda de la buena calidad de las unidades de obra ejecutadas.
- Comprobación de espesores mediante extracción de testigos “in situ” o mediante topografía.

3.5.11.4 ENSAYOS ESPECIALES (EE)

Tienen como finalidad:

- Servir de complemento a los ensayos de caracterización de materiales en los ensayos previos y de construcción, en aquellos materiales que necesiten varios elementos de juicio o identificación.

- Utilizarlos como ensayos alternativos previos a de construcción cuando éstos son difíciles de realizar o poco adecuados a la circunstancia.
- Aportar un medio de comprobación no normalizado cuando no existen ensayos o procesos normalizados en esa unidad de obra.
- Sugerir ensayos de circulación real o de utilización en condiciones de tráfico normal para comprobar la idoneidad de unidades terminadas.
- Sugerir ensayos alternativos basados en normas de diferentes países, como por ejemplo:
 - Normas alemanas..... DIN
 - Normas francesas..... AFNOR o LCPC
 - Normas suizas..... SNV
 - Normas norteamericanas ASTM o AASHTO
 - Normas británicas..... BS
 - Normas españolas..... NLT o UNE
 - Normas europeas..... NE
- Pruebas de carga o de caracterización mecánica, cuando no se hayan hecho habitualmente en los ensayos previos, ensayos de construcción o ensayos finales.
- Aportar experiencias personales que sirvan de ensayos complementarios no habituales para mejorar la calidad de la obra.

En el país, el Ministerio de Obras Públicas (M.O.P) dentro de los requerimientos de licitación, en proyectos viales, solicita a los realizadores el ejercicio de un plan de control de calidad en las construcciones. Otras instituciones como el FISDL y recientemente ha desarrollado un plan de control de calidad para proyectos de tipo social por instituciones gubernamentales como el Fondo de Inversión Social y Desarrollo Local (FISDL) aplicando el “Método de las tres fases” para llevar un control de calidad para cada actividad definida como distinta y única en su naturaleza. Esto se describe a continuación:

Fase preparatoria. Es una reunión convocada y conducida por el gerente de control de calidad, asisten: el propietario o entidad gubernamental (representante del MOP o FISDL), el ingeniero residente, el maestro de obra y el supervisor externo. En esta se realizan las siguientes actividades:

- Revisión de las especificaciones aplicables, referencias a códigos y normas. El realizador presenta una copia de las mismas, las cuales pone a disposición para su consulta.
- Revisión de planos constructivos y de taller.
- Revisión que todos los materiales de construcción que han sido aprobados de conformidad con las especificaciones de los mismos para el proyecto.
- Revisar que se han hecho las provisiones necesarias para llevar a cabo las pruebas de los materiales cuando así se ha establecido. Provisionando, por ejemplo, el laboratorio de suelos.

- Inspección del área de trabajo para garantizar que todo el trabajo preliminar ya ha sido realizado.
- Discusión los procesos de control de calidad, deficiencias, destreza de mano de obra requerida, rendimientos esperados, tolerancias.
- Revisar y confirmar que la operación en cuestión ha sido aprobada por el Supervisor.
- Presentar el proceso constructivo incluyendo equipo, herramientas, personal auxiliar y obrero, y el proceso de control de calidad.
- Realizar un análisis de amenazas y riesgos para protección del personal que ahí trabaja.
- Presentar el detalle de los materiales de construcción a utilizar con sus atestados y/o ensayos de laboratorio.

Para realizar esta fase, el realizador comunica esta actividad con al menos 48 horas de anticipación tanto al supervisor como al propietario. El resultado se documenta en actas separadas, los cuales son anexadas al reporte diario de control de calidad.

Fase inicial. Convocada por el ingeniero residente, asisten: el representante del propietario (empresa particular o entidad gubernamental), el gerente de control de calidad, el maestro de obra y los obreros que realizarán la actividad, realizando las siguientes actividades:

- Autorizar el inicio del proceso constructivo después de determinar que todo está conforme con lo presentado en la fase preparatoria.

- Constatar que el proceso de construcción, según la etapa correspondiente a la programación de obra, cumple con todos los requisitos del contrato, verificando las inspecciones establecidas de control y de pruebas.
- Establecer el grado de destreza de la mano de obra y que cumple con los estándares mínimos aceptables; construir paneles de muestra para comparar con tal propósito.
- Resolver todas las diferencias que surjan en la reunión respecto a los planos, procesos de construcción o cualquier otro tipo de diferencia de opinión relacionada a la construcción del proyecto.
- Revisar el análisis de amenazas, que se cumple con el plan de higiene y seguridad industrial (PHSI) y se repasa con cada trabajador.

El resultado de la fase preparatoria se documenta en actas separadas por el gerente de control de calidad, y son anexadas al reporte diario de control de calidad, además de marcar el lugar exacto donde se inició el trabajo para referencia futura y comparación con la fase de seguimiento.

Fase de seguimiento. La conduce el gerente de control de calidad y será de naturaleza permanente, realizando las actividades siguientes:

- Constatar que lo acordado en la fase inicial se está cumpliendo, hasta la conclusión de la tarea en particular.
- Comprobar las medidas conforme a los planos.
- Corroborar plomos y niveles.
- Elaborar reportes de control de calidad, enviándolos al supervisor externo.

- Reportar deficiencias encontradas en el avance de obra, procesos, técnicas o metodologías constructivas.

Fases adicionales. Cuando la calidad del trabajo obtenido no es aceptable en alguna de las operaciones, el realizador programa nuevas fases, preparatoria e inicial; igualmente, cuando existan cambios en el personal responsable de control de calidad, el proveedor, o en el personal obrero asignado; cuando se reinicie alguna operación después de haber estado inactiva por un período de tiempo sustancial; o cuando algún otro problema se detectare.

3.5.11.5 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Antes de que se pongan en marcha la construcción, el ingeniero jefe de región notifica por carta al ingeniero del proyecto la cantidad de muestreos y pruebas que se espera se hagan en el campo, junto con información respecto a las inspecciones que se necesitarán en lo referente a materiales producidos industrialmente. En la fecha más temprana posible, el ingeniero residente solicita al realizador que le proporcione por escrito una lista de todas las fuentes de los materiales que se propone utilizar en el Proyecto. Estas fuentes son enviadas inmediatamente a la oficina regional, para que puedan hacerse los arreglos necesarios para las pruebas de los materiales.

Durante la construcción, el supervisor puede exigir la prueba de cualquiera o de todos los materiales, por medio de muestras, o en otra forma, en los lugares de producción, o después de su entrega, o en ambos sitios, si así lo determinare, por lo cual, el realizador suministra las facilidades requeridas para la recolección y

envío de las muestras a un laboratorio especializado. Los materiales son utilizados después de que las pruebas hayan sido hechas y se compruebe que el material reúne los requisitos de las especificaciones y se le considere aceptable. En todo caso, el realizador suministrará gratuitamente las muestras requeridas.

Los realizadores, son los que proponen un laboratorio de suelos y materiales para hacer las pruebas necesarias a los materiales que se utilizarán en la construcción, así como al suelo sobre el cual se cimentara la estructura del puente. Por lo cual, es responsabilidad del propietario revisar que el equipo de laboratorio propuesto cumpla con los estándares especificados, como también los procedimientos empleados por los técnicos del laboratorio. Si es requerido, el realizador entrega al supervisor, una muestra del producto sometido a prueba, para que el supervisor pueda igualmente someterle a prueba con sus propios medios, para su comprobación.

La planta de concreto del realizador y los materiales acopiados deben ser accesibles al supervisor en cualquier tiempo para su inspección y toma de muestras. El realizador provee los servicios del laboratorio debidamente aprobado por el supervisor y lleva a cabo las siguientes tareas:

- Verificar que los procedimientos de prueba cumplan con los requisitos del contrato.
- Verificar que el Laboratorio contratado cumpla con los estándares de calidad requeridos.

- Revisar la calibración de los instrumentos contra los estándares certificados, metrológicamente.
- Verificar que los formularios de registro de pruebas y que el sistema de numeración de identificación de los controles han sido preparados.

Los resultados de todas las pruebas, tanto buenas como falladas, son registrados en un reporte fechado del gerente de control de calidad. El reporte incluye la referencia del párrafo que contiene la especificación, el lugar en que se llevó a cabo y el número correlativo que se ha asignado a la prueba. El laboratorio envía directamente al supervisor copia del resultado de la prueba. La falta de envío oportuna de las pruebas de laboratorio puede ser motivo para que la estimación de obra no sea aprobada, o para que el laboratorio contratado sea sustituido.

3.6 CONCLUSIONES

- Los métodos de presfuerzo han sido utilizados en el país frecuentemente por sus múltiples ventajas que ofrecen respecto a las construcciones de concreto reforzado, en lo que respecta al tiempo y recursos económicos.
- La industria de la construcción de puentes de concreto, actualmente está utilizando diversas técnicas constructivas que conllevan a mayor eficiencia en las obras construidas y a menores costos de realización.
- La calidad de la construcción de los proyectos, resulta del continuo y estrecho contacto entre proyectistas, constructores y técnicos especializados en procedimientos constructivos.

CAPITULO IV:

***REALIZACION DE LA CONSTRUCCION DE
PUENTES DE UNO Y DOS CLAROS***

CAPITULO IV

REALIZACION DE LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE UNO Y DOS CLAROS

4.1 DISEÑO²¹ Y PLANOS CONSTRUCTIVOS

El diseño del puente considera como mínimo:

1. Ubicación, descripción, topografía del sitio.
2. Diseño arquitectónico.
3. Diseño estructural.
4. Programa de trabajo para el diseño o tiempo estimado de diseño.
5. Planos para la construcción mostrando: plantas, secciones, elevaciones, detalles, áreas de circulación, zonas peatonales, etc.

4.2 DISEÑO CONCEPTUAL

Resulta de la evaluación de varias alternativas del proyecto de un puente en particular, constituido por el diseño del proyecto, los planos y especificaciones presentados, antes de iniciar la construcción, en esta fase se constituye el diseño conceptual. Sin embargo, puede haber modificaciones durante la construcción, ya que es en la práctica donde se completa totalmente el diseño y se va evaluando este así como su calidad.

²¹ Ver anexo 7 Memoria de diseño de puente conchagua.

4.1.2 PLANOS DE TRABAJO

Los planos constructivos se utilizan después de que son revisados y aprobados por la supervisión, se complementan con los planos de taller elaborados durante la construcción, por el realizador, asumiendo la responsabilidad de su coherencia con los planos constructivos y especificaciones técnicas del proyecto. Es posible hacer modificaciones y correcciones sobre los planos constructivos cuando se encuentren omisiones, deficiencias o errores que no permitan el avance del proyecto. Cualquier corrección hecha a los planos de taller o planos constructivos se presenta a la supervisión para su aprobación.

4.2 LUGAR DE COLOCACION

Para definir la ubicación del puente se toman en cuenta racionalmente, aspectos como la economía de la estructura, menor luz posible, fundaciones a poca profundidad, permanencia del cauce; sin embargo, lo que define finalmente su ubicación está determinada por el eje del río o camino bajo el puente y eje del camino al cual se le va a dar continuidad a través del puente. Es decir, por ejemplo, que el diseño geométrico del camino (eje de la vía proyectada) y el eje del cauce son los elementos que definen el tipo de puente, su ubicación y por consiguiente el costo del mismo. Sin embargo, para localizar en el campo el sitio de emplazamiento del puente se realizan estudios previos que permitan al realizador recolectar la información y tener conocimiento de las condiciones existentes que posteriormente le servirán para hacer su presupuesto.

4.2.1 INSPECCION DEL SITIO

El realizador hace visitas de campo e inspecciones del sitio para examinar todas las condiciones existentes, informarse de la naturaleza y localización del trabajo, personalmente, conocer las condiciones locales, aprovisionamiento, proyectar dónde es posible el almacenamiento de los materiales, verificar la disponibilidad de mano de obra, agua potable, energía eléctrica, establecer medidas necesarias para no interferir en las operaciones del propietario y pobladores del lugar. Esta actividad se realiza para fines de diseño, elaboración de presupuestos y construcción; de esta forma, el realizador o diseñador prevee con anticipación cualquier costo adicional al proyecto que pueda causar mayores costos que los ofertados.

4.3 PREPARATIVOS DEL SITIO

Antes de comenzar las operaciones de excavación en cualquier zona del proyecto, se realiza la limpieza y desbrozo que comprende actividades siguientes:

- Eliminación y remoción del sitio de la construcción de todos los árboles que según estudio previo obstaculicen la construcción, así como los materiales, raíces, troncos, arbustos, cercas, basura y cualquier otro material inservible dentro de los límites de la construcción de la vía y de las estructuras.
- Remoción de árboles, troncos, raíces y otros materiales inservibles dentro del área donde se construirán terraplenes. Los árboles son removidos hasta que ha sido autorizado por la supervisión y una vez aprobada la actividad

son talados, picados y dispuestos en partes de manera que no dañen a los que se dejen en la zona de la carretera o en las propiedades particulares.

- Limpieza y chapeo, se realiza con cuadrillas de personal, utilizando herramientas manuales y no se permitirá el uso de maquinaria pesada, salvo para la operación de destroncado, la cual se hace posteriormente al chapeo manual.
- Remoción del material proveniente de la limpieza. Incluye todos los materiales, troncos enterrados, raíces, matorrales, troncos de desecho, ramas y copas de los árboles o cualquier otro desperdicio resultante de las operaciones de limpieza y chapeo. En caminos existentes, sobre los cuales se apoye el proyecto, no se llevan a cabo trabajo de limpieza y chapeo, a menos que sea ordenado por el ingeniero. Dentro de las zonas en que haya que efectuar excavación, se eliminan hasta una profundidad no menor que un metro (1 m), todos los troncos y raíces. Por debajo de la superficie de la subrasante, el área total queda libre de matorrales, troncos carcomidos, raíces y otras materias vegetales u orgánicas susceptibles a la descomposición. Las áreas a cubrir con terraplenes de tres metros o menor altura ($h \leq 3\text{m.}$), se destruncan y desenraizan hasta profundidad no menor que un metro ($d \geq 1\text{m.}$), bajo la superficie del terreno natural. Las áreas a cubrir con terraplenes mayores que tres metros de altura ($h > 3\text{ m.}$), se destruncan y desenraizan a nivel de la superficie del terreno natural. Los troncos en el derecho de vía, fuera del área de la excavación o de los

terraplenes, son desarraigados a profundidad no menor que sesenta centímetros (60cm.), bajo la superficie del terreno. En las áreas que queden fuera de los límites de construcción, en secciones pantanosas o cenegosas, se cortan los árboles a ras del suelo o del agua. Las ramas de los árboles que se extiendan sobre el camino se podan de manera que quede una altura libre mínima, o gálibo, de seis metros (6m), sobre la superficie de la vía.

- Barricadas y avisos de peligro. Muchos proyectos se encuentran en zonas que son consideradas zonas de riesgo o su construcción representa peligro ya sea a colindantes, al proyecto o a las personas que trabajan dentro del proyecto. Para controlar o mitigar el peligro inminente ocasionado por el proyecto, se utilizan dispositivos de prevención como barricadas, luces rojas, señales de peligro y letreros que son ubicadas en las zonas que representen peligro dentro del proyecto o colindantes al sitio de construcción para evitar cualquier accidente; aunque también son utilizadas para dirigir el tránsito de materiales y equipo. Otra medida de protección es proveer de vigilantes y señaleros que garanticen la protección de la obra y la seguridad del público. Cuando se realicen trabajos de noche, es recomendable iluminar las barricadas, obstrucciones y equipo para prevenir accidentes.
- Uso de explosivos. Cuando sea necesaria la utilización de explosivos, el realizador solicita permiso al supervisor con previa anticipación, por

escrito, para tal uso, dentro del área de construcción, siempre que cumpla con los requisitos legales y reglamentarios correspondientes.

- **Preservación de la propiedad.** El realizador se responsabiliza de hacer los arreglos y actividades necesarias par prevenir daños a la propiedad donde se realice la obra, colindantes a lo largo de la zona de trabajo o en su proximidad, o zona que estuvieren de cualquier otra manera afectadas por la obra, especialmente en zonas cuyo daño cause gastos, pérdidas o inconveniencias considerables al proyecto como propiedades telegráficas, telefónicas, y empresas de fuerza motriz, y aquellas cuya remoción o destrucción no estuviere prevista en los planos. Cuando el realizador no garantiza la seguridad del proyecto y colindantes, este es responsabilizado por cualquier daño a terceros, lo que significa pagar costos para indemnizar, reparar o reconstruir las obras dañadas o dejarlas como mínimo en las mismas condiciones que se encontraron.

4.4 TOPOGRAFIA Y TERRACERIA

4.4.1 ALCANCES

En los trabajos topográficos se toman detalles y niveles para la elaboración de planos de planimetría y altimetría, detalles para la ubicación de construcciones existentes. Los trabajos topográficos, durante la construcción, son utilizados para realizar replanteos y chequeos horizontales y verticales de los elementos que componen la obra.

Por ejemplo, en puentes que atraviesan ríos, el chequeo horizontal, consiste en establecer la dirección definitiva que tendrá el puente respecto al eje del proyecto, así mismo, el ángulo que formarán los ejes del puente y el canal. Esta dirección del eje del puente, se establece, en lo posible, sin causar cambios bruscos en el cauce natural, ya que esto ocasiona problemas de flujo y hace necesario un aumento de sección. Además, se establece la alineación y longitud de los muros de ala, y posibles encauzamientos. El chequeo vertical, se refiere a la pendiente y niveles de los elementos constitutivos principales del puente, y por lo general depende de los suelos de cimentación.

Luego de realizar todas las comprobaciones y correcciones de niveles, se colocan referencias o estacas definitivas, por lo general se clavan en los extremos del elemento a replantear. Las estacas se pueden obtener de arbustos cercanos, y pueden medir de 40cm a 70cm. En caso de variación de pendiente o altura de cimentación éstas no son removidas, sino que sirven de referencia para los nuevos niveles de excavación o reposición.

Una vez que se inician las construcciones del proyecto se toman para el replanteo y verificación de niveles de la estructura a construir, por ejemplo, zapatas, tuberías, pilas, etc. En los trabajos de terracería se realizan las excavaciones, acarreo y descarga de material excedente, protección de las excavaciones, cortes y refines de taludes, preparación del fondo de las excavaciones, trabajos de compactación, investigaciones mecánicas de suelos y demás labores auxiliares y/o complementarias como el bombeo, encofrado, desaguado, apuntalado,

construcción de entramados y ataguías, la subsecuente remoción de encofrados y ataguías. Además del suministro y colocación del material de relleno granular aprobado, para reponer el material inadecuado que se haya encontrado abajo de la altura de la cimentación de las estructuras.

4.4.2 EXCAVACIONES

Las excavaciones se refieren al movimiento de todo material y de cualquier naturaleza (material suelto, roca suelta y roca fija), que es necesario remover para proceder a la construcción de cimentaciones y elevación de las subestructuras. Incluye todas las operaciones de perforación y voladura de bloques rocosos, la rectificación y conservación de perfiles, carga, transporte, disposición y nivelación de materiales en los lugares de descarga aprobados.

4.4.3 RELLENOS

Se refiere al movimiento de tierra realizado para completar los espacios excavados y que no son ocupados por las cimentaciones y elevaciones de la subestructura. Son construidos hasta las líneas, rasantes y secciones transversales que se indican en los planos. El material utilizado para relleno es especificado en los planos y especificaciones técnicas; en general, no contiene material orgánico ni elementos de fácil alteración. En las excavaciones en roca, el relleno se realiza con concreto. En caso de no disponer de suficiente material de relleno, dentro de los límites del proyecto, se utilizan bancos de préstamo cuyo material es aprobado por la supervisión según lo requerido para la construcción de terraplenes o para otras partes de la obra.

4.4.4 ELIMINACION DEL MATERIAL EXCEDENTE

El suelo de relleno que no es utilizado para trabajos de compactación es desalojado y depositado en otro lugar donde no ocasione obstrucción a la construcción. La eliminación del material excedente comprende actividades como el transporte y eliminación del material procedente de las excavaciones que resulten excedentes y del material inservible que es depositado en lugares donde no se creen dificultades o daños a terceros.

Los botaderos, dependiendo de la clase de material que se deposite en ellos, pueden posteriormente ser vaciados, o reutilizados como áreas verdes. Cuando se trata de materiales derivados de las excavaciones, estos materiales se recuperan para la conformación de rellenos permeables; los materiales orgánicos (capa vegetal), son utilizados para recuperar áreas de corte, de explotación de bancos, o botaderos cuyo material no sirve para ser reutilizado.

4.5 ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOLOGIA DEL LUGAR

Se realizan trabajos de campo en los que se reporta con detalle la ubicación del río, ancho proyectado del puente, tipo de muestras, pruebas y sondeos, profundidad y ubicación exacta de los mismos, memoria fotográfica; posteriormente se obtienen los datos de laboratorio donde se analizan las muestras; de lo cual se determina el tipo de cimentación más adecuada para el tipo de suelo encontrado en el punto de emplazamiento del puente.

4.6 HIDROLOGIA Y CAUCE DEL PASO, PUNTO DE CONTROL

4.6.1 MEMORIA HIDROLOGICA PARA EL DISEÑO

Consiste en un informe del estudio hidrológico del lugar de emplazamiento del puente para determinar el caudal máximo de agua que éste alcanza, durante el invierno. El informe contiene lo siguiente:

- Descripción actual del punto de emplazamiento: se describe el sitio para construir el puente y los niveles alcanzados por las aguas durante la época seca y lluviosa, además se toman las cotas del sitio o nivel respecto al mar, e información que se considere necesaria para el estudio hidráulico.
- Planteamiento del problema: se plantea las condiciones socio-económicas, culturales, características y causas que son fuente de problema para la población donde se pretende construir el puente y que estén directa e indirectamente relacionadas con la necesidad de construir la obra de paso, enfocando los procedimientos para recopilar la información para diseñar el puente, y los métodos de cálculo a utilizar, mapas de vulnerabilidad ante inundaciones del país, cuadrante del sitio para obtener las elevaciones de la zona de interés respecto al nivel del mar, levantamiento topográfico del sitio, memoria fotográfica.
- Criterios de diseño hidráulico: de acuerdo con los resultados obtenidos e información recopilada, se analiza la zona de interés determinando su ubicación exacta, el tipo río (seco, por temporadas, permanente), tipos de

afluentes, niveles máximos de agua e inundaciones que permitan considerar las condiciones más desfavorables para realizar el diseño hidráulico.

- Estudio hidrológico: permite determinar el tirante máximo esperado apoyándose en información del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) y mediante visitas técnicas realizadas a la zona (por entrevista con vecinos locales, vestigios de huellas de inundaciones).
- Recomendaciones: resultan del cálculo hidrológico y estudios previos donde se propone una sección hidráulica correspondiente al puente a construir en el punto de control establecido o punto de emplazamiento.

4.7 CONSTRUCCION

4.7.1 INSTALACIONES PROVISIONALES

Las instalaciones provisionales son construidas de acuerdo con las condiciones existentes del lugar de construcción, el tamaño y duración del proyecto. La ubicación de las instalaciones provisionales es determinada por el realizador mediante planos de ubicación estratégica que le permitan, a su criterio, desarrollar eficientemente la construcción. Entre las actividades realizadas, están las siguientes:

- Montar el plantel completo de construcción.
- Instalaciones para permanencia de los trabajadores, así como lugares de alimentación de los mismos.
- Propiciar todas las facilidades necesarias para el desarrollo de los trabajos.

4.7.1.1 PLANTEL DE CONSTRUCCION DEL CONTRATISTA

Es el espacio abierto, determinado a satisfacción del realizador para el uso de bodegas, parqueo de equipos, y área de construcción, localizados en un lugar conveniente según el criterio del realizador. Al final de la construcción el contratista deja las áreas utilizadas en las mismas condiciones originales o de manera satisfactoria aprobada por el propietario. Se prevee la permanencia de un botiquín que contenga lo necesario para primeros auxilios; además se tiene previsto un medio ágil de comunicación y transporte para los casos de extrema urgencia que no se puedan atender en el lugar y necesitan traslado a una clínica u hospital.

4.7.1.2 FACILIDADES MEDICAS Y SANITARIAS

El realizador provee la integridad física de los obreros suministrando todas las facilidades sanitarias y de primeros auxilios necesarios en el lugar de trabajo. Estas facilidades son previstas en el plan de higiene y salud, elaborado antes de iniciar la construcción.

4.7.1.3 OFICINA DE CONSTRUCCION

La localización de las oficinas de construcción está de acuerdo con las visitas de campo, planos de conjunto del proyecto y estrategias de optimización de tiempo y recursos disponibles. Es importante, que el contratista elabore un plano de ubicación de oficinas de construcción y otras construcciones adicionales y proporcione una copia a la supervisión.

4.7.1.4 FACILIDADES PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO

Entre las facilidades necesarias para el desarrollo del trabajo están: agua potable, instalación eléctrica para luz y fuerza mecánica durante la construcción, vallas de protección, rótulo de identificación del proyecto y vigilancia.

4.7.2 TRASLADO Y ACOPIO DE MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

4.7.2.1 EQUIPO Y HERRAMIENTAS DEL CONTRATISTA

El equipo y herramientas se seleccionan de acuerdo con la calidad y tiempo esperado del proyecto. Para garantizar la calidad del equipo se solicita al proveedor la certificación, donde se especifique que cumple con los requisitos para desarrollar el trabajo al cual se destine. El almacenamiento se hace en lugares que los protejan del deterioro y cualquier daño o que disminuyan su rendimiento en el trabajo, además de las consideraciones descritas en el capítulo III. El contratista tiene que considerar que la supervisión, justificadamente, puede retener pagos, o inicio del trabajo o suspender temporalmente el proyecto si no se tiene el equipo requerido por el proyecto que pueda ocasionar mayores costos que los previstos.

4.7.2.2 ACOPIO DE MATERIALES

El acopio o almacenamiento de los materiales de construcción se hace en bodegas previamente acondicionadas, de tal forma que no se alteren sus propiedades y calidad de estos. Las bodegas se dimensionan considerando, por ejemplo, el largo de las varillas, cantidad de bolsas de cemento a almacenar, volumen de arena o

grava a comprar, etc.; esto definirá el área a utilizar y las protecciones que se deban prever.

4.7.3 OBTENCION DE MANO DE OBRA Y MATERIALES

4.7.3.1 PERSONAL DE DIRECCION

El personal empleado para dirigir el proyecto depende, en gran medida de la experiencia y capacidad del personal de la empresa que lo realice, en todo caso, las empresas designan al proyecto ingenieros que cumplan con los requerimientos del propietario (cuando éste lo solicite) o que tengan la capacidad necesaria para dirigir y desarrollar el tipo de proyecto destinado. Cuando en la empresa constructora no hay suficiente personal especializado para desarrollar el proyecto, se procede a subcontratar ya sea personal calificado o empresas especializadas para realizar una actividad en particular, por ejemplo, el laboratorio de suelos.

4.7.3.2 EXPERIENCIA Y CONDUCTA DE LOS TRABAJADORES

Para obtener la mano de obra, se consideran aspectos como la pericia y experiencia de los trabajadores en los procesos de construcción para los que serán asignados. Cuando el trabajo requiere de expertos o sea de carácter especial por su peligrosidad o grado de dificultad, la habilidad y experiencia es requerida en el proyecto para desarrollar las actividades, en forma adecuada y satisfactoria, y para hacer funcionar el equipo según lo especifiquen los parámetros que definen el perfil del personal a contratar.

Algunas causas que puede ocasionar la sustitución inmediata de un trabajador o varios son consecuencia de deficiencia en el desempeño del trabajo, irrespeto a

autoridades, circunstancias de desorden y censura. La suspensión y sustitución pueden ser llevadas a cabo por el contratista o el supervisor, en este último caso, la reubicación de los trabajadores requiere una previa aprobación por escrito del supervisor. Cualquier sustitución de personal que omita el contratista puede causar retención de pagos o suspensión de la obra temporalmente hasta cumplir la orden. Tales decisiones consideran lo establecido en la legalidad, en correspondencia con lo judicial, código de trabajo, contrato colectivo u otras que influya en la buena marcha del proyecto, tal que no ocurran conflictos que retracen el avance hacia el cumplimiento de programaciones de obra y metas.

4.7.3.3 OBTENCION DE MATERIALES

Los materiales destinados a la construcción de un puente o cualquier obra de carretera se obtienen de dos fuentes: productos manufacturados a escala industrial (tales como tubos de alcantarilla, hierro para concreto armado y pintura) adquiridos y transportados hasta el lugar para incluirlos en la obra y materiales (tales como agregados triturados, mezclados bituminosas para el pavimento y concreto) que el realizador produce en la obra.

Para garantizar la calidad de los materiales que se utilizan en el proyecto, el ingeniero residente asume la responsabilidad de:

- Utilizar materiales aprobados que cumplan con las especificaciones.
- Revisar que los informes de prueba tengan información completa y correcta, ya sea que se hayan realizado en obra, por laboratorios designados o por cualquier otro mecanismo de inspección.

- Garantizar que todos los materiales producidos industrialmente enviados al proyecto vayan acompañados de resultados o certificaciones de pruebas numéricas referentes de conformidad con las especificaciones.
- Delegar personal para revisar los materiales al momento de entrega en el proyecto.

Cuando sea necesario, particularmente durante períodos limitados de tiempo, el ingeniero jefe de la región y el jefe de la oficina central pueden hacer una solicitud para asignar personal especial de ayuda al ingeniero residente con el fin de que organice sus propias pruebas de campo, verifique el equipo requerido para pruebas, determine las mezclas de concreto o le ayude en cualesquiera otros problemas de materiales.

4.7.4 CRITERIOS Y LINEAMIENTOS CONSTRUCTIVOS DEL PUENTE

Los criterios y lineamientos constructivos de los puentes construidos en El Salvador obedecen a normas y reglamentaciones técnicas utilizadas en el diseño de los mismos tales como: AASHTO LRFD BRIDGE SPECIFICATION, AASHTO STANDARD BRIDGE DESIGN SPECIFICATION, ACI 318-99: reglamento de las construcciones de concreto reforzado, y el reglamento para la seguridad estructural de las construcciones – norma técnica para diseño por sismo, MOP, El Salvador.

4.7.5 NORMAS Y ESPECIFICACIONES DEL PUENTE

Las normas utilizadas para el desarrollo de proyectos de puentes²² son, las establecidas por el Ministerio de Obras Públicas “Standard Specification for Highway Bridges”, publicado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) que contiene normas para el cálculo de solicitaciones y diseño estructural, así como de diseño de fundaciones y dimensionamiento de superestructuras y subestructuras en obras de paso. Esta norma cubre también detalles de estructuras, en acero y concreto, así como requisitos geométricos de las estructuras.

Para diseño por sismo se utiliza el Reglamento de Seguridad Estructural de las Construcciones, en su Norma Técnica de Diseño por Sismo, el cual es ley de la República desde 1996 y contiene los parámetros para el cálculo de solicitaciones sísmicas en pilas, superestructuras y estribos. Otras normas utilizadas son la ASTM, ACI 318-99 y FP-96. Sin embargo es aplicable el uso complementario de otras normas internacionales como los eurocódigos, normas alemanas y francesas citadas en el capítulo III. Cualquier diseño, proyecto de puentes elaborado por extranjeros o que lleven a cabo la realización, estará sujeto por las normas de la AASHTO y lo establecido por el MOP, e integrarán su propia experiencia, criterios, tecnología u otros elementos que beneficien el proyecto y duración de la estructura sin detrimento alguno, siempre que sea autorizado por el propietario o el MOP.

²² Las del MOP que toman en cuenta lo contenido en el manual, “Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras” publicado por la Secretaría de Obras Públicas de México.

4.8 CONSTRUCCION DEL PUENTE

4.8.1 TRAZO Y NIVELACION

Comprende todas las actividades necesarias para obtener todos los trazos, escuadras y niveles indicados en los planos constructivos o los que señale la supervisión, el traslado de bancos de marca para referencia durante la construcción de la obra. Entre las actividades que se realizan están: desmonte, tala, eliminación y remoción de árboles, de toda vegetación, viva o muerta, así como de otros materiales que queden dentro de los límites del derecho de vía; la remoción de obstáculos que no sean de utilidad o no tengan uso o servicio público, excepto los que se hayan especificado que queden en sus lugares o que tengan que ser quitados de acuerdo con otras secciones de estas especificaciones. Se preservan de cualquier tipo de daño todas las construcciones de utilidad que se mencionen en los planos o indique el ingeniero.

El trazo del proyecto, puede seguir el siguiente procedimiento:

- Trazo del eje del puente. Revisar la línea base, y establecer los bancos de marca a utilizar en el proyecto usando equipo topográfico como teodolito tradicional, GPS o estación total (ver figura 4.1) usando coordenadas geométricas. A partir de la línea base se trazan los puntos del elemento a replantear y se revisa el trazo, en planta y en niveles. En base a la revisión anterior, el realizar todos los ajustes y modificaciones al trazo y rasante que considere necesarios para encajar adecuadamente el diseño a las condiciones encontradas en campo.



Figura 4.1 Equipo Topográfico

- Entregar en campo al supervisor, el trazo definitivo del eje del proyecto, y los listados de computadora de la geometría horizontal y vertical a utilizarse en el proyecto.
- Trazar y estaquillar, secuencialmente por el eje, el trazo aprobado por el supervisor. Antes de iniciar operaciones de construcción, nivelar el eje y tomar secciones transversales del terreno, en coordinación con el supervisor.
- Realizar los trazos y nivelaciones de todas las líneas superiores e inferiores de excavaciones y rellenos, utilizando para ello, "estacas" y otras señales visibles cuyo número estará en función del tipo de estructura. Cada señal indica el estacionamiento y ubicación de la estructura y las alturas de corte o relleno, según el caso. Asimismo, las líneas superiores de todas las excavaciones se replantean.
- Para el trazo y replanteo de curvas, se colocan puntos estacionados cada cinco (5) metros, con al menos cuatro (4) puntos a lo largo de la longitud de la curva. Se colocan puntos de referencia de cada curva.

El ingeniero traza la rasante y dimensiones de la construcción del puente y de las demás estructuras previstas en el proyecto, de acuerdo con las medidas y niveles marcados en los planos, o como lo indique el supervisor. Además, establece las referencias planimétricas y altimétricas (bancos de marca) necesarias para el replanteo de ejes y niveles.

4.8.2 EXCAVACIONES

4.8.2.1 DESCRIPCION Y REALIZACION

Antes de iniciar cualquier actividad de excavación, el contratista notifica con suficiente anticipación al supervisor, para rectificar las elevaciones, medidas de las secciones transversales del terreno original y que el terreno natural contiguo no sea afectado o alterado sin la autorización del ingeniero o del supervisor. Con la utilización de pala mecánica o retroexcavadora, se procede a realizar la limpieza, desbroce y descapote del sitio, y posteriormente los cortes (excavaciones), según señalen las estacas de corte colocadas por el equipo de topografía.

La conformación de zanjas o fosas de cimentación de la estructura del puente y taludes se realiza utilizando como guía las alineaciones y rasantes o elevaciones mostradas en los planos o según fuesen estaquilladas por el ingeniero. El ancho de las excavaciones es determinado por las dimensiones de las cimentaciones y los requerimientos de estabilidad lateral de la excavación. El supervisor puede solicitar por escrito y debidamente justificados, cualquier cambio en dimensiones o elevaciones que pudiese considerar necesarios. Es posible que durante la

realización de estos trabajos se encuentren peñascos, troncos o cualquier material inconveniente, los cuales tienen que ser retirados.

4.8.2.2 SOBREEXCAVACIONES

En muchas ocasiones, las excavaciones efectuadas sobrepasan sin previa autorización de la supervisión las líneas preestablecidas, por lo cual, el contratista tiene que rellenar por cuenta propia el volumen correspondiente a la sobreexcavación; generalmente, se hace con concreto o relleno de calidad aprobada por la supervisión.

4.8.2.3 EXCAVACIONES EN ROCA

Para realizar excavaciones en roca, el contratista presenta un diseño de voladuras para restringir la voladura al prisma de excavación y no alterar la estructura de la roca al nivel de la cimentación. Para realizar excavaciones en roca se emplean explosivos o desgarradores; asimismo, en todos los peñones u otros pedruscos que tengan un volumen de 1/2 metro cúbico o más según lo comprueben mediciones físicas o visuales hechas por el ingeniero. Si al llegar al nivel de fondo se encuentran bolones de roca que al ser removidos originen huecos grandes, éstos son rellenos. Para evitar esta situación el contratista puede usar disparos tipo plastas para partir la roca sin formar huecos en el fondo de la excavación; adicionalmente y sólo para estos casos es posible sobrepasar hasta 0.20m respecto a los niveles y dimensiones indicadas en los planos, y pueden sobresalir bolones no destruidos completamente hasta 0.075m por debajo del fondo de las excavaciones señaladas en los planos. El nivel se alcanza rellenando con suelo

granular compactado con compactadora manual tipo plancha en capas no mayores que 0.15m. Al finalizar la excavación se efectúa una compactación del fondo, con rodillo vibratorio o plancha vibratoria, sobre la superficie del fondo para restablecer o mejorar la condición natural existente.

Si se produjera sobreexcavación, se procede a rellenar con concreto. En algunos casos, se pueden presentar dos o más tipos de roca, para lo cual, se adecua el diseño a las características de las mismas en la parte que les corresponde tomando las medidas de seguridad en cuanto a personal, colindantes, equipos y obra en conjunto.

4.8.2.4 ACABADOS

En los acabados de la superficie de excavación, se realizan nivelaciones del fondo de las cimentaciones rebajando los puntos por encima de la cota de cimentación, evitando rellenar debajo de esa cota. En cualquier tipo de suelos, en las actividades de excavación y nivelación se toman precauciones de no alterar la consistencia del terreno natural de base. En general, el acabado de la superficie está definido por el material de excavación, pero el acabado de los taludes se encuentra definido por los planos. El acabado de taludes que quedan expuestos en forma permanente se puede realizar con retroexcavadora, tractor o a mano según la elección del contratista.

4.8.2.5 CONTROLES

Caso I. Puente sobre otra vía de circulación o quebrada seca.

Para controlar la calidad del trabajo realizado, el contratista, además de contar con personal con experiencia y capacidad, comunica al supervisor cualquier situación anómala en la realización de los trabajos, ya sea por motivos ajenos a su responsabilidad, o causada por él, particularmente cuando se encuentran condiciones de cimentación distintas a las previstas en el diseño, o de rellenar los niveles en caso de sobreexcavaciones. Para asegurar la estabilidad de las paredes, cuando representen un peligro de derrumbe o por que las condiciones particulares del suelo no sean estables, se construyen obras de defensa como apuntalamientos y ademados. Otro aspecto importante que se tiene que controlar es el drenaje de las excavaciones para evitar inundaciones, sobre todo, en época de invierno. Y para proteger la construcción parcial o totalmente, cuando la obra se encuentre en una zona fluvial, se considera eliminar el material excedente de las excavaciones, aún cuando provisionalmente fuese permitido, o no, que se dejara dentro de una zona fluvial, para que no obstruya la corriente ni perjudique en modo alguno la eficiencia o el aspecto de la construcción. En la medida que sea adecuado, todo el material excavado, se utiliza como relleno o terraplén, siempre que se compruebe mediante pruebas de laboratorio que es capaz de soportar adecuadamente las cargas a que será sometido. El material que no sea utilizado para relleno y sea adecuado, puede utilizarse para ampliación de terraplenes, taludes, defensas o nivelaciones de depresiones de terreno sin afectar el área del cauce o claro a salvar, estética de los accesos y construcción de la obra.

Respecto al empleo de detonadores eléctricos para excavaciones en roca, se utilizan siempre que no exista ocurrencia de tempestades eléctricas.

Caso II. Puente sobre una corriente de agua.

Uno de los controles de mayor importancia en este caso, es el control del nivel freático. Se tiene que instalar un sistema que garantice que todas las aguas de escurrimiento y del nivel freático, sean evacuadas a un cauce natural o dren. Entre los sistemas están, pozos abiertos, bombas y zanjas de conexión. En cada caso es necesario instalar medidores de agua para controlar el caudal bombeado para la aplicación de las partidas respectivas. La operación del sistema de contención del nivel freático se realiza de tal manera que la velocidad y el caudal de bombeo no produzca ningún daño en el subsuelo por variación del nivel freático, asimismo, para el caso de un ascenso brusco del nivel freático por la paralización del sistema. Para evitar anomalías en la variación o afectación en el abatimiento de pozos y canaletas circundantes, se pueden llevar reportes diarios del bombeo donde se registre cualquier variación en éstas y posteriormente tomar decisiones sobre las actividades a realizar en caso que éstas variaciones pongan en peligro la condición natural de pozos y canaletas existentes.

Es recomendable realizar las excavaciones sin alterar el lecho natural de la corriente contigua a la construcción y éstas se localicen afuera de cajones de aire comprimido (campanas neumáticas), encofrados, ataguías y tablestacado, salvo que sea autorizado por la supervisión. Si alguna excavación o dragado se realiza antes de que los cajones de aire comprimido, encofrados, o ataguías sean

hundidos en el lugar, el realizador rellena todas las excavaciones hasta la superficie original del terreno o lecho de la corriente de agua, después que el asiento de la cimentación se coloque.

4.8.2.6 RELLENO Y TERRAPLENES PARA LAS CONSTRUCCIONES

Luego de realizados los trabajos de corte y excavación con maquinaria de la compañía contratista y colocadas las estacas que marcan los niveles, se evalúa en obra las condiciones del suelo de cimentación. Si el suelo de cimentación no corresponde a suelo firme ni a roca no meteorizada, se escoge una alternativa de solución, entre las cuales las más aplicadas son:

- Reponer el suelo deficiente, por suelo compactado mecánica o manualmente.
- Reponer el suelo deficiente con concreto ciclópeo o concreto pobre.
- Bajar el nivel de solera de la zapata.
- Una combinación de las anteriores

El relleno de las zonas excavadas alrededor de las construcciones se hace con material aprobado, en capas horizontales que no excedan de 6 pulgadas (15 cm) de profundidad, hasta el nivel original del terreno. Cada capa es humedecida o secada, según sea necesario y compactada con apisonadoras mecánicas. El material utilizado para relleno o terraplenes se coloca simultáneamente, hasta donde es posible, a la misma altura en ambos lados de un estribo, pilar o muro. Detrás de los estribos y aletones del puente, el relleno se deposita y compacta en capas de espesor no mayor que 0.30m con tamaño máximo de piedras no mayor

que 6" (15cm) para alcanzar el porcentaje de compactación del 90% del proctor modificado. Si las condiciones exigiesen la colocación del relleno o terraplén en forma notablemente más alta en un lado que en el contrario, el material adicional en el lado más alto se coloca hasta que el ingeniero lo autorice y es preferible hacerlo hasta que la mampostería, si es el caso de la fundación, haya alcanzado 14 días de colado el concreto, con los ensayos realizados por el laboratorio, bajo la supervisión del ingeniero, cuando se haya comprobado que se ha alcanzado la resistencia necesaria para resistir cualquier presión resultante de la utilización de métodos y materiales, sin causar daño o esfuerzo que excedan al factor de seguridad previsto.

En el caso de paredes de concreto correspondiente a estribos de construcciones de marco rígido, los rellenos o terraplenes se construyen detrás de las paredes de los mismos, hasta que la losa superior está colocada y curada. Los rellenos o terraplenes detrás de los estribos sujetos en su parte superior, por la superestructura, se realizan simultáneamente detrás de ambos estribos o paredes laterales.

Los terraplenes contiguos a construcciones, se construyen en capas horizontales y compactados según especificaciones, excepto que pueden usarse apisonadoras mecánicas para obtener la compactación requerida. Se utiliza escalonamiento o dentados para evitar la acción de cuña, principalmente, en la construcción, declives o dentro de las zonas por rellenar. En las excavaciones en roca, los rellenos se realizan únicamente con concreto.

Una vez terminada la excavación se notifica o informa al supervisor para que se apruebe el inicio de actividades consecuentes como cimientos, material de relleno, alcantarilla de tubo. El material excedente es cargado y transportado (con cargador frontal o volquete) a los botaderos indicados.

4.8.3 COLOCACION DE LA CIMENTACION

4.8.3.1 CIMENTACIONES SUPERFICIALES

A. Preparado. Antes de colocar la estructura que conformará la cimentación, es necesario acondicionar la zona donde se colocará, de modo que la zanja o foso tenga condiciones similares a las consideradas en el diseño de los cimientos, en este sentido, las piedras u otro material duro para la cimentación son limpiadas de todo material flojo y cortado para que tenga una superficie firme, ya sea plana, escalonada o dentada, según lo ordene el ingeniero; la piedra suelta y desintegrada o estratos delgados, se quita; cuando el lecho se apoya sobre material que no sea roca, se excava justamente antes de colar el cemento; se retira el material inadecuado (blando, fangoso o inadecuado a juicio del supervisor) y posteriormente se rellena con material granular aprobado. Este relleno se coloca y consolida en capas de 6 pulgadas (15 cm) cada una, hasta que alcance la elevación de la cimentación. Cuando se utilicen pilotes para la cimentación, la excavación de cada fosa se termina antes que sean hincados los pilotes, y cualquier colocación de relleno para cimentación se hace después que los pilotes han sido hincados. Una vez terminada esta operación, todo el material suelto y desplazado se retira, dejando un lecho liso y sólido para recibir el cemento.

La construcción de zapatas aisladas o corridas se realiza efectuando los preparativos generales del terreno de apoyo como son: el abatimiento del nivel freático (en caso de existir); posicionamiento del equipo de excavación (ver figura 4.2.a), excavación sistemática y tratamiento previo del terreno (ver figura 4.2.b), en todos los casos. Una vez terminado los preparativos del terreno se procede al armado y colocación del hierro estructural según los planos constructivos.



Figura 4.2.a Excavación de pila central, Puente Conchagua, La Unión.

B. Moldeo. Es conveniente, que todas las cimentaciones sean provistas de encofrados para su llenado, exceptuando aquellas en el que el suelo sea rocoso. Para este último caso, se construyen losas de nivelación de concreto con espesor de 5cm a 7.5cm hasta nivelar el fondo de la cimentación y se procede al colado de la misma (ver figura 4.2.c).



Figura 4.2.b Cimentación de pila, Puente Amapolita, La Unión.

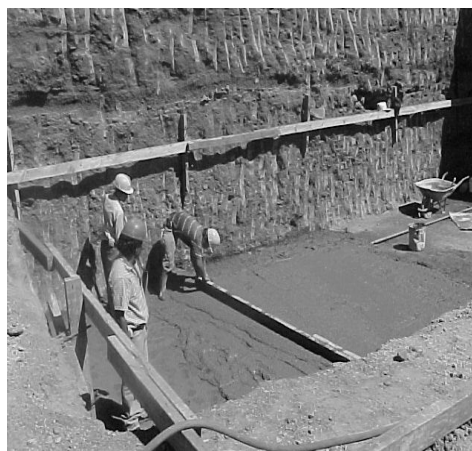


Figura 4.2.c Losa de cimentación, Puente Amapolita, La Unión.

Las cimbras que se construyen sobre cimientos se diseñan con suficiente resistencia para soportar las cargas sin asentamiento apreciable. Cuando no puedan ser fundadas sobre zapatas macizas son soportadas por medio de amplios pilotajes para cimbras, diseñados para soportar las cargas completas que descansan sobre ellas. El detalle de dibujos de las cimbras se presenta a la supervisión para su aprobación.

Para realizar el encofrado, es necesario considerar lo siguiente:

- Que los moldes sean herméticos al mortero, y suficientemente rígidos para evitar la distorsión debida a la presión del concreto y otras cargas incidentales en las operaciones de la construcción, incluyendo la vibración. Su construcción y conservación se realiza evitando la apertura de juntas debido a la contracción de la madera.
- Revisar el cepillado de la madera de la cimbra de todas las superficies expuestas al concreto, por lo menos en una cara y dos cantos, preparándola para hacer juntas herméticas al mortero, superficies lisas y parejas en el

concreto. Revisar que los moldes tengan chaflanes o biseles detallados en los planos y rectificar su biselado o ahusado en el caso de todas las proyecciones, como vigas y remates, con el fin de facilitar su retiro.

- Colocar amarres de metal o anclajes dentro de los moldes de madera hasta profundidad de al menos 1 pulg (2.54cm) para permitir que sean removidos sin dañar el concreto. Una vez retirados los amarres o anclajes se rellenan con mortero de cemento dejando superficies lisas, parejas y de color uniforme.
- Dejar sueltas las tablas más bajas de los moldes o tomar medidas que permitan remover cualquier material extraño antes de colar el concreto, cuando el fondo del molde sea inaccesible. Evitando utilizar materiales o tratamientos sobre los moldes que se adhieran al concreto o lo decolore.
- Tratar los moldes con aceite quemado, antes de colocar el refuerzo y lavarlos con agua antes de colar el concreto.

Las consideraciones para moldes de madera, en cuanto a diseño, impermeabilidad al mortero, esquinas achaflanadas, resaltes biselados, apuntalamiento, alineación, remoción, re-usado y aceitado, son aplicables a moldes del metálicos.

Para conservar los moldes metálicos, se protegen del herrumbre, grasa y otras materias extrañas.

Uno de los elementos utilizados para el moldeo de las excavaciones en lechos de ríos, son las ataguías, que son utilizadas cuando se encuentran estratos o capas

freáticas situadas arriba de la elevación del fondo de la excavación. Una de sus funciones es dar protección al concreto fresco contra el daño que puede causar una repentina creciente de la corriente de agua y para evitar daños por erosión a la cimentación. Antes de iniciar el proceso de construcción, el realizador presenta mediante dibujos el método propuesto para la construcción de ataguías. Por lo general, se colocan abajo del fondo de los cimientos y son apuntaladas e impermeabilizadas; sus dimensiones interiores se disponen de tal forma que permitan espacio para la construcción de moldes, inspección de sus exteriores, y el bombeo fuera de los moldes. Además de proporcionar el espacio libre necesario para enderezarlas o ampliarlas cuando en el proceso de hundimiento se inclinen o se muevan lateralmente. Cuando sea necesario, el apuntalamiento y maderamen en las ataguías, éstos se construyen sin interferir o interceptar el interior de la subestructura de mampostería, salvo que se tenga permiso por escrito del supervisor. En este tipo de construcciones, es importante determinar y construir desagües de la cimentación que son diseñados para resistir cualquier subpresión. Si los desagües son inadecuados, es posible construir tapones de concreto, según lo indiquen los planos. Posteriormente se procede al desagüe de la cimentación y se coloca el cimiento.

Cuando se utilizan encofrados pesados, para resistir parcialmente la presión hidrostática que actúa en el fondo del cimiento, una alternativa para traspasar el peso del encofrado al tapón es construir un anclaje especial tal como espigas o

cuñas. Sí el tapón se construye bajo el agua, las ataguías tienen aberturas al nivel del agua mínima.

C. COLADO DEL CONCRETO

Antes de colocar el concreto, el ingeniero residente notifica al menos 24 horas antes que inicien las operaciones de colado, de tal forma que el supervisor pueda comprobar la cimbra, el refuerzo, la disponibilidad de materiales para el proceso de colado en la cantidad y calidad requerida. El método y secuencia del colado se realiza según el orden detallado en la programación de obra aprobada. El colado de las zapatas se hace por etapas, evitando dejar juntas frías de construcción que puedan degenerar en agrietamientos indeseables. Es importante, vigilar el correcto posicionamiento del hierro de refuerzo y la vibración adecuada del concreto. Todo el agregado grueso es forzado desde la superficie, y se echa el mortero contra los moldes hasta obtener un acabado liso, exento de agua y burbujas de aire o cavidades alveolares. En depósitos aluviales o de suelos blandos, es conveniente mantener abierta la excavación el menor tiempo posible, para evitar expansiones del fondo que puedan afectar la magnitud de los asentamientos que experimente la zapata al empezar a transmitir gradualmente las cargas de operación, y con ello ocasionar alteraciones en el funcionamiento estructural de la misma. Una vez alcanzado el nivel de desplante, y sólo en caso de requerir anclajes de tensión para asegurar la estabilidad de la cimentación en condiciones de momento de volteo por acción sísmica o por acción eólica, es cuando suelen realizarse las perforaciones en el terreno para la construcción de

estos; en caso contrario, se construyen plantillas de apoyo con suelo granular grueso, suficientemente compactado o concreto de baja resistencia, evitando en lo posible que se pueda contaminar con materiales lodos o ajenos a su carácter friccionante o inerte. Si por condiciones de temperatura del ambiente hay necesidad de controlar el calor de hidratación, ese control se efectúa de acuerdo con el respectivo reglamento general de construcción y según lo indique la residencia de la obra. Construido el elemento de concreto, es necesario suspender el funcionamiento de las bombas de abatimiento y rellenar los costados del elemento con suelo competente y compactado de acuerdo con lo especificado en el proyecto.

Cuando se utilizan ataguías, el colocado del concreto se realiza desde el interior de la misma, siempre que el concreto no presente riesgo de ser arrastrado por el agua. Los bombeos que se requieran durante el colado del concreto o por lo menos en un período de 24 horas después del mismo, se efectúan desde un resumidero apropiado fuera de los moldes de concreto. Para desaguar un encofrado sellado, el bombeo se comienza hasta que el tapón se encuentre suficientemente fraguado para resistir la presión hidrostática. Para retirar los encofrados, ataguías, con todas las tablaestacas y apuntalamientos correspondientes, es recomendable terminar la construcción de la subestructura, de manera que no altere o dañe la mampostería ya terminada, cuando sea el caso.

4.8.3.2 CIMENTACIONES PROFUNDAS

A. Cajones y cilindros de cimentación. La secuencia general de hincado de cajones y cilindros de cimentación utiliza diversos métodos de construcción, los más utilizados en la construcción de puentes son:

- El método del Pozo Indio. Utilizado en cauces con pequeños tirantes de agua o secos. Se construye un terraplén o se hace una excavación en el lugar de ubicación del cilindro o cajón. Cuando se tiene agua, se construye el terraplén para evitar la utilización de forros perdidos (cuyo costo es demasiado elevado), y se realiza la excavación cuando el cauce está seco, con nivel freático a cierta profundidad, puesto que su costo es bastante más bajo que el del hincado; después, se nivela una plataforma de trabajo sobre la que se arma la cuchilla y se colocan los moldes y el hierro de refuerzo para el colado de la sección tronco-cónica; colada y fraguada esta sección, se descimbra al alcanzar el concreto la resistencia suficiente y se inicia el hincado (el cual se suspende al llegar el borde superior o brocal, a una altura conveniente sobre el terreno, que facilite la colocación de los moldes y el hierro para el colado del siguiente tramo (Figuras 4.3 a 4.6 y Figura 2.7); en esta forma, se continúa el ciclo hasta que la cuchilla llega al nivel de desplante necesario.



Figuras 4.3, Puente Ixtapa, México

Al terminar el hincado (y sólo en caso de ser necesario) se limpia el fondo y se cuela el tapón inferior con uso de tubo tremie, de manera similar a como se hace para pilotes (Figura 2.8). Cuando el concreto tiene la resistencia de proyecto, se desagua el interior y se inspecciona para determinar el estado del tapón inferior y de la pared, procediendo después al relleno del hueco y por último al colado del tapón superior.



Figuras 4.3. Puente Ixtapa, México



Figura 4.4 Puente Ixtapa, México

- Método de labor manual: es una técnica primitiva, únicamente es factible usar, cuando el nivel del agua dentro del hueco se puede controlar fácilmente, excavándose con herramienta manual y extrayendo el material desde la parte superior mediante un recipiente accionado por un malacate o draga. Debido a que es lento y peligroso, se utiliza poco en la actualidad.
- Método con eyector: se inyecta aire a presión por un tubo de pequeño diámetro adosado a otro de diámetro mayor que se sumerge en el cauce hasta el fondo de la excavación, formando una corriente ascendente que arrastra el agua y el material así erosionado; su utilización está limitada a materiales no cohesivos como arenas y gravas de tamaño pequeño. Con cucharones de concha de almeja o gajos accionados por malacates o dragas: consiste en dejar caer el cucharón abierto para que se encaje en el material, cerrarlo e izarlo para extraerlo (Figura 4.5). Puede utilizarse en condiciones de cauce seco y con tirantes de agua.



Figura 4.5 Puente Espuelas I

- Método con arietes: cuando el suelo tiene una dureza tal, que no permite un trabajo eficiente con el cucharón, entonces se utilizan arietes rectos o arietes inclinados; estos están constituidos por elementos metálicos

pesados, con punta en el extremo golpeante, para romper o aflojar el material. El ariete recto sólo permite tratar material que se encuentra en el área limitada por el perímetro interior, mientras que el ariete inclinado se utiliza para tratar material que se encuentra bajo la sección tronco-cónica.

- Método con bombas hidráulicas: en algunos casos, la extracción por bombeo del agua en el interior del elemento favorece el hincado, ya que el retiro del agua facilita que a su vez el agua exterior al elemento fluya entre la pared y el material circundante, provocando así, fuerzas de flujo descendentes que “lastran” al elemento, y lubricación que disminuye la fricción que se opone al hincado; para que esta medida funcione, se requiere que la cuchilla no esté apoyada en el material del fondo, es decir, existirá caja bajo la misma, para que el cilindro o cajón pueda deslizarse.
- Método con lastre: es un procedimiento que requiere la construcción de plataformas (o ménsulas) dispuestas en la parte superior o lateral del elemento para colocar lastre sobre éstas; también, requiere de caja bajo la cuchilla. Esta técnica es lenta debido a las dificultades típicas del montaje del lastre. Se utilizó en el Puente J. Tampico, mencionado en el Capítulo 3.
- Método con chiflones de aire o agua: en esta técnica se utilizan chiflones colocados externa o internamente al cilindro, los cuales expulsan agua o aire a presión, ya sea dirigiendo al fluido hacia la parte interna, o bien, hacia la externa del elemento; en el primer caso, se trata de cortar o aflojar el material, siendo necesario utilizar buzos para guiarlos cuando hay

tirante de agua; en el segundo caso, se trata de reducir la fricción entre el suelo y la pared, por lo que se requiere introducir el chiflón desde el nivel del brocal hasta cerca de la cuchilla, dirigiéndolo a lo largo de todo el perímetro. En ambos casos, es un trabajo lento y se requiere caja bajo la cuchilla.

- Método con dinamita: se utiliza en dos formas, la primera para fracturar el material cuando es roca, o bien, suelo muy duro con boleos, requiriendo buzos para barrenación (o emplastamiento) cuando hay tirante de agua; la segunda forma se utiliza para producir una vibración que rompa la fricción. Es necesario también, tener agua y excavación en caja bajo la cuchilla. Esta técnica es peligrosa y laboriosa de ejecutar, por lo que para su aplicación hay que extremar precauciones con el personal calificado de ejecución.
- Método con buzos: para trabajos directos, inspección y verificación. Su tarea es lenta, cara, difícil y peligrosa, y generalmente, estas personas no acatan las normas de seguridad que se requieren, lo que les puede ocasionar serios problemas de salud. Para profundidades mayores que 20 m se requiere usar una cámara de descompresión, la cual muy rara vez se dispone en obra. En la actualidad, para trabajos de inspección, ya se están utilizando cámaras de televisión.

Generalmente, es necesaria la combinación de varias técnicas para el hincado de los cilindros y cajones de cimentación, siendo muy difícil dar reglas generales, ya

que la forma de hacerlo depende del tipo y condiciones de los materiales que se atraviesan, de la habilidad de los operadores de los equipos y del ingenio y conocimiento de las personas que están a cargo de los trabajos. Para facilitar y dar solución a los problemas que se presentan, hay que registrar una serie de datos y controles, tales como la naturaleza y espesor de los materiales en que se hinca, procedimientos y equipos utilizados, desplomes, sus correcciones, avances logrados en relación con el tiempo.

Los problemas más difíciles en los hincados se presentan cuando en el subsuelo se encuentran grandes boleos que provocan desplomes al apoyarse la cuchilla del elemento sobre ellos (lo que también sucede con los mantos rocosos inclinados), siendo indispensable para la solución, el trabajo de los buzos cuando hay tirantes de agua. Las arcillas duras también dificultan el hincado y, por lo común, requieren chifloneo por fuera de las paredes para reducir la fricción, así como el uso de arietes inclinados por dentro, antes de colar el tapón inferior (para despegarla de la sección tronco-cónica). Para evitar la fricción se puede disminuir la sección transversal a determinada altura de la cuchilla, rellenándose el hueco con bentonita, conforme se hinca el elemento, sustituyéndola por mortero (o lechada de cemento) después de colar el tapón inferior, para dar nuevamente confinamiento lateral. Esta situación puede provocar mayor problema durante el hincado a causa precisamente de la falta de confinamiento. En materiales no cohesivos hay que vigilar la formación de cráteres alrededor del elemento, los

cuales llegan a provocar desplomes o que el equipo de excavación caiga dentro de ellos.

B. Cimentaciones piloteadas. Pilotes colados en el lugar. Son elementos de concreto reforzado que se construyen dentro de una perforación cilíndrica previamente realizada en el terreno. Pueden clasificarse en dos categorías: 1) los que se construyen con un forro metálico (previamente hincado en el terreno y vaciado) que sirve de molde y que puede ser o no recuperable, y 2) los que se construyen por vertido directo del concreto en la perforación previamente ejecutada, que sirve de cimbra (en estos elementos, el concreto queda finalmente en contacto con el suelo). Los pilotes con forro se prefieren en muchos casos, por permitir una inspección detallada del espacio interior antes del colado del concreto, así como un control más cuidadoso del colado mismo. Los pilotes colados sin ademe suelen ser más baratos, pero su construcción se limita a formaciones de suelo en que las paredes de la excavación se mantengan estables en toda la profundidad de colado. Cuando el terreno lo permite, se les forma una ampliación de base (denominada campana) que puede llegar a medir hasta tres veces la sección transversal y con altura igual a un diámetro. Las profundidades máximas que se pueden alcanzar con estos pilotes son del orden de 40 m.

La construcción de pilotes se realiza mediante perforadoras que permiten excavar, en forma de barreno cilíndrico, el subsuelo, hasta la profundidad requerida; cuando es necesario, el barreno se estabiliza con un ademe fluido o con un ademe metálico (recuperable en ciertos casos) y se introduce hasta el nivel de desplante.

Terminada la excavación, se limpia el fondo y se introduce el hierro de refuerzo previamente armado (jaulas), centrándolo y dejando el recubrimiento especificado; de inmediato se vierte el concreto (utilizando un tubo tremie cuando así se requiere), ya que si se espera demasiado tiempo el terreno puede expandirse por relajamiento hacia la perforación, provocándole a ésta, disminución de su área y de la resistencia del material con probables deficiencias en el funcionamiento del pilote.

Las perforadoras, son equipos que excavan por medio de una barra, en cuyo extremo inferior se coloca una herramienta (que puede ser una broca o un bote cortador, accionados mediante rotación, o también, un trépano accionado por percusión). Las brocas espirales, formadas por una hélice de acero alrededor de la barra, pueden ser cilíndricas o cónicas, provistas en su parte inferior de dientes de acero de alta resistencia o bien, de carburo de tungsteno, para cortar el terreno. Las brocas cilíndricas se utilizan en suelos cohesivos sin agua y las brocas cónicas en suelos con boleos o como guías en terrenos duros. Los botes cortadores (constituidos por cilindros de acero con tapa articulada en la base, donde se encuentran las cuchillas y trampas que permiten la entrada del material e impiden su salida), se utilizan en suelos cohesivos (aún bajo tirantes de agua). Los botes corona son cilindros abiertos con dientes en el borde inferior (del mismo material ya indicado), propios para excavación en suelos duros y en rocas relativamente suaves ejemplo dacitas y andecitas; estos botes permiten extraer el material con un aditamento cónico en su interior, mientras que los botes

ampliadores lo permiten con un dispositivo formado por uno o dos alerones que se abren y sobresalen del cuerpo a medida que se corta el material (con objeto de ampliar la base para formar la campana en la parte inferior, lo que a su vez reduce los esfuerzos sobre el material de apoyo en el extremo).

En caso necesario, se emplean trépanos para romper la roca o los boleos. Estos elementos son masas de acero de muy variados tipos que se dejan caer directamente sobre el material a romper. Utilizando almejas hidráulicas guiadas, se pueden hacer perforaciones relativamente grandes con secciones rectangulares, oblongas o combinadas, según se requiera. Es, importante en excavaciones para los pilotes, determinar si las paredes de la perforación necesitan o no ademe para asegurar su estabilidad y evitar derrumbes o cierres de la misma, requiriendo del conocimiento de las condiciones físicas, así como de las características mecánicas e hidráulicas del suelo. Es conveniente, colocar un brocal en la parte superior del barreno para proteger los bordes de la perforación y evitar su destrucción por el funcionamiento del equipo, con el consecuente escurrimiento de los lodos bentoníticos que se utilicen como ademe. Durante el proceso, es necesario verificar continuamente la verticalidad de las paredes de la perforación, ya que las obstrucciones (principalmente por boleos, que frecuentemente dificultan en forma notable el avance) pueden desviar la perforación. Si los equipos se apoyan en terrenos blandos, entonces se pueden provocar asentamientos no previstos. El uso de explosivos no es aconsejable, aunque en algunos casos extremos éstos se requieran.

Los ademes con lodos para la perforación, son una mezcla de agua con arcilla coloidal (típicamente bentonita) usados para estabilizar las paredes formando sobre éstas una película plástica e impermeable, conocida como “enjarre”, “costra” o “cake”, producida por el depósito de las partículas del lodo al filtrarse a través de ellas, y que permite que se desarrollen las presiones hidrostáticas del propio lodo sobre las paredes, logrando su estabilidad e impidiendo a la vez, la pérdida excesiva del agua del lodo y el paso de agua del terreno al interior del barreno, ya que ésta es una de las causas que propicia la inestabilidad. Por otra parte, la circulación de los lodos induce a que se remuevan y transporten a la superficie los recortes de suelo que caen al fondo por desprendimientos provocados al entrar en operación los equipos de perforación, a la vez de enfriar y lubricar la herramienta de corte en contacto con las paredes del barreno (evitando el peligro que representa la generación de calor por la fricción continua). El peso del lodo se opone a la falla de fondo de la excavación y a la vez contrarresta las subpresiones que se puedan presentar por gases o artesianismo. Si fuera necesario, se pueden adicionar materiales inertes pesados (como la barita) para aumentar la densidad del lodo y, con ello, aumentar el efecto estabilizador de las presiones hidrostáticas que generan. El lodo sustituirá progresivamente el material extraído de la perforación, teniendo cuidado de conservar su nivel muy cercano al brocal para garantizar la carga máxima sobre las paredes; en algunos casos es conveniente reutilizarlo, requiriendo instalaciones especiales, tales como,

un hidrociclón (para restaurar las propiedades que se merman cuando se contamina por captación de sólidos ajenos).

Cuando el terreno por atravesar no tiene cohesión, entonces se requiere de un ademe metálico perdido para evitar la disminución de la sección transversal de la perforación, o la pérdida de concreto durante el colado; esta se usa en la parte del pilote que queda bajo el tirante de agua; tanto para la colocación del ademe como para la excavación en su interior, se pueden utilizar gatos hidráulicos dispuestos verticalmente, que aplican empuje para ayudar a su penetración en el terreno, y con gatos dispuestos horizontalmente se le inducen movimientos de semirotación para vencer la fricción con el suelo, facilitando así el trabajo de perforación. Cuando se trabaja en cauces con tirantes de agua, los equipos se colocan sobre chalanes, que se apoyan en el fondo con zancos guiados mediante torres (esto para lograr un trabajo más eficiente). Si debido a los esfuerzos a que vayan a estar sometidos estos ademes se requieren secciones robustas, entonces es muy conveniente recuperarlos (acción que se realiza con el mismo equipo y para lo cual se introduce, una vez colocado y hecha la excavación, otro ademe ligero que formará el molde para el colado del pilote con la sección requerida). Con estos sistemas pueden construirse pilotes inclinados fijando el equipo en plataformas acondicionadas, apoyadas éstas sobre algunos de los pilotes verticales, construidas previamente, y en caso de no existir éstos, entonces se recurre a los zancos guiados mediante torres.

Para revisar la integridad física y las propiedades del concreto, se recurre a ensayos no destructivos, como el método del eco (basado en la medición del tiempo de recorrido entre un emisor y un receptor de una vibración provocada) y que también puede aplicarse a pilotes prefabricados ya hincados; el de “cross hole” que requiere dejar tubos ahogados en el concreto a lo largo del pilote y el de los rayos gamma, similar al anterior, con la limitante que la distancia máxima entre el emisor y receptor es únicamente de 80 cm.

4.8.4 COLOCACION DE BASES PARA ESTRIBOS Y PILAS

4.8.4.1 PREPARADO

El ingeniero residente notifica al supervisor, con 24 horas de anticipación, la finalización del colado de zapatas y solicita autorización para iniciar las actividades de encofrado de estribos y pilas. El encofrado es construido de madera, metal o una combinación de ellos siguiendo las especificaciones y detalles en planos constructivos. Se verifica que el diseño del encofrado proporcione espacio para permitir el colado y vibrado y que los materiales del encofrado estén limpios y se encuentren sin daños para que no representen peligro en la estabilización de la estructura. Cuando se termina el encofrado se presenta a la supervisión, para su aprobación antes de iniciar el proceso de colado, para su aprobación.

4.8.4.2 COLADO

El colado puede ser realizado con concreto premezclado o colado in situ. Los elementos son colados monolíticamente, sin interrupciones. Para obtener un

colado uniforme se dejan ventanas correrizas, en el encofrado, para permitir la introducción de vibradores. Excepto cuando se ordene lo contrario, el concreto se compacta por medio de vibradores mecánicos aprobados, operando dentro del concreto. Cuando se requiere, el vibrado es suplementado por la compactación manual. Los vibradores son del tipo y diseño aprobados (ver tabla 3.9), debiendo ser manejados en tal forma que trabajen el concreto completamente alrededor del refuerzo y dispositivos empotrados, así como en los rincones y ángulos de los moldes. Los vibradores no se usan como una manera de hacer que el concreto fluya o corra a su posición, en lugar de ser vaciado.

En el caso de pilas o estribos con cabezales de concreto, las vigas de acero o de concreto prefabricado son colocadas sobre los cabezales hasta que éstos tengan, cuando menos 3 días y el tablero de la superestructura se coloca sobre los cabezales hasta que el concreto de los mismos haya alcanzado, como mínimo, el 80% de la resistencia requerida a los 28 días.

Colocación de concreto bajo el agua. El concreto se deposita bajo el agua únicamente bajo la supervisión personal del ingeniero, y empleando los métodos que se describen en los siguientes párrafos:

Solamente el concreto clase "S" se deposita bajo el agua. Para evitar la segregación, el concreto se deposita cuidadosamente en una masa compactada, en su posición final, por medio de una tolva y tubería (o tubo embudo), o bien de un cucharón de descarga con fondo cerrado, o por otros medios aprobados, y no se toca después de su colocación.

4.8.5 CONSTRUCCION DEL TABLERO

4.8.5.1 PREPARADO

Antes de colocar el concreto para las losas o tableros, se preparan reglas de enrazar, escantillón manual o enrasadoras mecánicas y las herramientas de acabado aprobadas por el ingeniero residente, para nivelar y dar el acabado a la superficie de la losa, según lo indicado en los planos y especificaciones. Se verifica que el encofrado refuerzo o cualquier dispositivo que deba quedar ahogado en el concreto, estén en su ubicación correcta y según las especificaciones de los planos y sean aprobados por la supervisión.

Si se utilizan canales de conducción para depositar el concreto, éstos se construyen de lámina galvanizada y con pendiente comprendida entre los límites 1:2 a 1:3 (vertical a horizontal).

4.8.5.2 REFUERZOS

El refuerzo en la losa del tablero es longitudinal y transversal. La varilla superior se refuerza transversalmente para distribuir lateralmente la carga viva, y como margen de seguridad en caso de que la losa se deteriore y la varilla quede al descubierto, lo cual causaría daño a los vehículos o producir accidentes. El hierro de refuerzo utilizado tendrá resistencia de 60,000 psi (4,200 kg/cm²), comprobada mediante pruebas de laboratorio, previamente.

Para cortar el hierro, no se recomienda utilizar equipo de acetileno debido a que afecta las distancias efectivas de las varillas. El hierro por temperatura, y el correspondiente hierro transversal se dejan con un recubrimiento de 0.065 m

mientras que el hierro en compresión y las varillas transversales correspondientes con recubrimiento 0.025 m. En todo caso, el largo donde se une una varilla con otra es de 40 veces el diámetro de la varilla, según el manual de especificaciones de carretera. FHWA (Federal Highway Administration).

4.8.5.3 COLOCACION Y COLADO DE LA LOSA

El colado, tanto para las losas de puentes como para las vigas secundarias (diafragmas) que las unen a las vigas principales de una superestructura y las aceras contiguas, se realiza en una sola operación, a menos que en los planos y/o en las especificaciones se detalle de otra forma (ver figura 4.6). Cuando la colocación del concreto no se realice en una sola operación, se proveen anclajes especiales de corte, para evitar juntas frías entre la viga principal y la losa. El concreto se coloca preferentemente en franjas del espesor total de la losa o según se indique en los planos. El ancho de las franjas se dispone de tal manera que el concreto de una de ellas no alcance su fraguado inicial antes de que se efectúe la colocación de la siguiente.



Figura 4.6 Colado de losa y aceras, puente Conchagua, La Unión, El Salvador.

En el caso de vigas T con más de 1.20m de peralte y vigas cajón, la losa superior es llenada hasta que el alma de las vigas tenga al menos 5 días de llenado. El concreto se deposita continuamente, manteniendo el estado plástico de la masa, lo más cercano posible a su posición final para evitar la segregación debido al manejo repetido. Para el colado de la losa, es aplicable el uso de camión bomba por la altura del puente, por lo cual, el concreto contiene aditivos para poder pasar a través de los conductos de la bomba y se coloca con rapidez por la presencia de aditivos acelerantes del fraguado. Otro equipo utilizado es el rodo automático, utilizado para rastrear, dar forma a las pendientes y suavizar la superficie final. Colocado el concreto, se procede a vibrar la losa para evitar la formación de burbujas de aire que afecten la resistencia u ocasionen grietas en la misma. Antes que se endurezca el concreto, se utiliza un cepillo especial para formar las franjas transversales utilizadas para proporcionar tracción en las ruedas de los vehículos al momento de frenar. Posteriormente se deposita concreto con aditivos que eviten que las temperaturas afecten la losa.

4.8.5.4 VIGAS DE CONCRETO

El concreto para las vigas principales se coloca en una sola operación, depositándolo uniformemente, en capas horizontales a todo el largo de la viga. En el caso de vigas simplemente apoyadas, el concreto se deposita, de preferencia, al centro de la luz y de allí se distribuye hacia los extremos. Para vigas continuas, cuando así se requiera por razones de diseño, la secuencia de colocación del concreto es indicada en los planos y/o en las especificaciones del proyecto.

4.8.5.5 VIGAS ACARTELADAS

Para vigas acarteladas con ménsulas de menos de 1 metro de alto de peralte, el concreto es colocado al mismo tiempo que el vástago o nervio de la viga, cortando las pilas, o los cabezales de las pilas o estribos de tal manera que formen los apoyos de las cartelas. Cuando las cartelas o ménsulas tengan una profundidad mayor que 1 metro de alto, los cabezales, las ménsulas y las vigas se pueden colar en tres operaciones sucesivas, colando primero el cabezal hasta la parte inferior de la ménsula, luego la ménsula hasta la parte inferior del nervio o vástago de la viga y luego el resto de la viga. Para vigas acarteladas continuas con ménsulas, el concreto es colocado en el nervio de la viga (incluyendo la ménsula), hasta su parte superior. Cuando el volumen de colado es tal, que no sea posible una operación continua, las juntas verticales de construcción se localizan preferentemente dentro de las áreas de inflexión.

4.8.5.6 VIGAS "T"

El moldeo de la losa se puede hacer anclando madera entre las vigas para evitar que estos fallen cuando se esté colando la losa. Para evitar que la madera absorba el agua del concreto se vierte agua sobre la misma. El concreto de vigas "T" o vigas de losas o tableros de puentes, se coloca en una operación continua, conjuntamente con la losa. Sin embargo, las vigas "T" con luces mayores que 10 metros y/o peralte mayor que 1.2 metros, pueden ser fundidas en dos operaciones. La primera, el colado de los nervios (vigas y diafragmas) y la segunda (5 días después) el colado de la losa y asegurando la unión de nervio y losa por

medios mecánicos como llaves de corte; y por desbaste de la superficie superior del nervio o por anclajes especiales adecuados. Un tipo de unión que se puede realizar es, embutiendo tacos de madera aceitados de 50mmx100 mm (2pulgadas x4 pulgadas), con un largo de 100mm, menor que el ancho del nervio, colocados horizontalmente y perpendiculares a la línea central de los nervios. A fin de lograr su fácil remoción, los tacos son aceitados y sus lados y extremos biselados 6mm (1/4 de pulgada). Los tacos se colocan con espaciamiento no mayor que 300mm y se remueven tan pronto como el concreto haya alcanzado el endurecimiento necesario para que los agujeros mantengan su forma.

4.8.5.7 VIGAS CAJON

En vigas de cajón, el concreto puede ser colocado en dos o tres operaciones separadas. En todo caso, se hace el colado de la losa del fondo, asegurando la unión mecánica con las vigas laterales. Si éstas son coladas independientemente de la losa superior, se asegura la unión mecánica con la losa. Las uniones pueden ser hechas en la forma indicada para vigas “T”, excepto que no se requiere que los tacos sean embutidos a una profundidad mayor que la de la cama superior del refuerzo en la losa del fondo de la viga. La losa superior es colada después de al menos 5 días de haber colado las vigas laterales (diafragmas).

4.8.5.8 ACABADOS DE LA LOSA

Los pisos de losas de puentes que vayan a ser cubiertos con una capa asfáltica son enrasados de forma manual o mecánica sin ningún acabado adicional, mientras que los pisos de losas de puentes que vayan a servir como capa de rodadura,

reciben un acabado completo, enrasado, alisado, nivelado y ranurado como se describe a continuación:

- **Enrasado Manual.** Antes de fundir el concreto se colocan guías de madera o de metal, con la superficie superior ajustada al bombeo y a la alineación requeridos para la vía, en ángulo recto con el eje de la vía o en el caso de puentes en esviaje, con el ángulo de esviaje correspondiente, dejándolas al nivel apropiado. El concreto, después de colocado y compactado, se nivela y enrasa con una plantilla maestra de madera o de metal, desplazándola paralelamente al eje de la vía y apoyándola sobre las guías. No se permite el uso de apoyos intermedios para las maestras o plantillas. La plantilla se dispone de tal forma que permita su ajuste para curvas verticales y para contraflechas y tener la resistencia y la rigidez suficientes para conservar su forma bajo cualesquiera condiciones de trabajo. La maestra o plantilla se desplaza sobre las guías, con un movimiento de aserrado, conservándola paralela al eje de la vía y desplazándola gradualmente de un lado al otro de la losa. Durante todo el proceso se deja un pequeño exceso de concreto por delante del borde cortante de la plantilla o maestra.
- **Enrasado Mecánico.** Para losas de puentes, losas superiores de alcantarillas, losas de acceso y otras losas de estructuras que sirvan para el tránsito de vehículos, puede utilizarse una máquina de acabado mecánico equipada con llanas o flotadores oscilantes transversales o longitudinales. Es ajustada para adaptarse al perfil o sección transversal requeridos del

pavimento. Este equipo se opera sobre rieles de soporte o cabeceras adecuados y colocados en forma tal que el equipo de acabado pueda operar sin interrupción sobre la superficie, cuyo acabado se esté realizando. Los rieles o cabeceras son ajustados según sea necesario para corregir asentamientos o desviaciones imprevistas durante las operaciones de acabado. La máquina de acabado recorre cada zona de la superficie hasta obtener el perfil y la sección transversal requerida. En todo momento, se deja un ligero exceso de concreto delante del borde cortante de la llana o flotador. Este exceso se transporta durante todo el trayecto y posteriormente se desecha. Asimismo, el exceso de agua, lechada o materiales extraños traídos a la superficie en el curso de las operaciones de acabado, son retirados inmediatamente después que hayan aparecido, por medio de rastrillos de goma, o por el movimiento del emparejador mecánico desde el centro de la losa hacia los bordes de la misma. Durante las operaciones de acabado no se permite la adición de agua a la superficie que se está trabajando. Al terminar esta operación, la superficie es cotejada con un escantillón o regla de metal de 3 metros operado paralelo a la línea del centro del puente o vía. La máquina de acabado es probada previo a la colocación del concreto en el área en la que trabajará a efecto de comprobar deflexiones de los rieles, asentamientos, espesores de losa de tablero, alineaciones, recubrimiento de refuerzos, etc., y la operación

adecuada del equipo con las correcciones requeridas antes del inicio de la fundición de concreto.

- Alisado. Después del enrasado y nivelado indicados, la superficie es uniformizada, alisándola transversal o longitudinalmente, o en ambos sentidos, por medio de una llana o flotador de tipo adecuado. De preferencia, el alisado se realiza en el sentido longitudinal, excepto en los lugares en los que esta forma no sea factible. El alisado puede ser efectuado manualmente o por máquinas alisadoras que produzcan resultados equivalentes. Antes de aplicar la llana o flotador, el concreto se deja endurecer lo suficiente para que las huellas de zapato sean apenas visibles. El alisado no se inicia hasta que la brillantez del agua haya desaparecido de la superficie. Para evitar desplazamientos de finos y agua hacia la superficie se evita trabajar en exceso.
- Alisado longitudinal. La llana o flotador de tipo longitudinal, operado desde un andamio, se desplaza con un movimiento de aserrado, conservándolo en posición paralela al eje de la vía y desplazándolo gradualmente de un lado al otro del pavimento. La llana o flotador se mueve hacia adelante, la mitad de su longitud y la operación se repite hacia atrás.
- Alisado Transversal. La llana o flotador transversal se opera a lo ancho del pavimento, iniciando en uno de sus bordes, moviéndola gradualmente hasta el centro y regresándolo de nuevo al borde. Luego, el flotador es

movido hacia adelante y a la mitad de su longitud y la operación se repite. Se verifica durante el trabajo que no se remodifique la sección transversal del pavimento.

- Nivelado final con escantillón. Una vez terminado el alisado y removido el exceso de agua, y estando el concreto aún en estado plástico, se comprueba la exactitud del nivel de la superficie de la losa por medio de un escantillón. Para el efecto, el Contratista suministra y usa un escantillón exacto de tres (3) metros de longitud, con mangos cuya longitud sea un (1) metro mayor que la mitad del ancho de la losa. El escantillón es colocado en posiciones sucesivas, paralelamente al eje de la vía, en contacto con la superficie y es desplazado sobre toda el área de la losa. El escantillón se adelanta por etapas sucesivas, no mayores que la mitad de su longitud. Las depresiones que se encuentren son llenadas de inmediato con concreto fresco, niveladas, consolidadas y acabadas; las áreas altas son cortadas para su reacabado. La prueba con el escantillón y el realisamiento se continúan hasta que la superficie no muestre huellas dejadas por el escantillón en su movimiento y la losa haya obtenido la elevación y el contorno requeridos, con diferencias no mayores que 3 mm por debajo del escantillón.
- Texturizado o Ranurado. Una vez que el concreto haya endurecido lo suficiente, se le da a la superficie un acabado por barrido con escoba, cepillo, lona, brin u otro elemento aprobado previamente por el ingeniero. El barrido se hace transversalmente, de orilla a orilla de la losa y

traslapando ligeramente las pasadas contiguas. Los aditamentos usados tienen que penetrar lo suficiente para producir corrugaciones regulares de 2mm a 5mm de ancho y profundidad de 3 a 5 mm. La superficie terminada tiene que quedar libre de partes porosas, irregularidades, depresiones, ratoneras o marcas ásperas debidas a daños accidentales durante el barrido final, así como de partículas de agregado grueso incrustadas en la superficie. El texturizado puede ser manual o por medio de una máquina previamente aprobada que produzca el tipo de ranuración especificado.

4.8.5.6 CONTROLES

Sistemas de impermeabilización. La impermeabilización del tablero consiste en la aplicación de un tratamiento superficial para constituir una membrana protectora, que impida el paso del agua que se filtra por la capa de aglomerado asfáltico; evitando que penetre en la masa de concreto a través de fisuras de retracción, juntas de construcción o a través de la porosidad del concreto. La impermeabilización se hace para evitar los procesos de expansión del agua dentro de la masa de concreto durante los ciclos hielo-deshielo, ya que la esbeltez de los tableros los hace vulnerables a las bajadas de temperaturas. El revestimiento impermeable óptimo es una membrana con elevada adherencia, pero con capacidad para puentear fisuras y soportar las temperaturas de puesta en obra de las mezclas bituminosas en caliente. Los productos y sistemas empleados en la impermeabilización de tableros de puentes son variados, aunque los más utilizados se pueden agrupar en tres grandes grupos: membranas de

impermeabilización “in situ” (en sistemas adherentes en capas delgadas), másticos bituminosos e impermeabilizaciones con láminas prefabricadas.

4.8.6 CONSTRUCCION DE SUPERFICIE

4.8.6.1 EXTENDIDO DE LA CAPA DE RODADURA

La capa de rodadura puede ser de concreto o mezclas bituminosas. El contrapiso o capa de rodamiento de concreto se construye guiado por los planos. Generalmente, se construye simultáneamente con la losa principal, dejándole a ésta el espesor y refuerzo correspondientes a la capa de rodadura estipulada en los planos. En tramos de armadura de acero, el concreto es colado simétricamente por todos los lados de la línea media del tramo, comenzando por el centro y trabajando simultáneamente hacia cada extremo, o comenzando en los extremos y trabajando simultáneamente hacia el centro.

Cuando está formada por mezclas bituminosas en caliente, se construye de acuerdo con las especificaciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes. Si la extensión de la mezcla requiere la ejecución de un riego de imprimación o adherencia, se realiza de acuerdo con lo establecido en la especificación. El extendido del aglomerado se puede realizar con extendedora de ruedas neumáticas, respetando las juntas de dilatación estructurales. Los compactadores de la mezcla bituminosa pueden ser cilindros lisos no vibrantes, con peso superior a 500Kg, dependiendo el incremento del peso del cilindro de la resistencia de la membrana al punzonamiento estático y dinámico. Se controla que la temperatura de fabricación de la mezcla en caliente esté comprendida entre

140 ° C y 160° C, que la pérdida de temperatura para la puesta en obra respecto a la de fabricación no descienda más de 20° C. Otro control es, verificar que la densidad de la mezcla sea igual o superior al 97 % de la obtenida aplicando a la fórmula de trabajo la compactación prevista en el método Marshall según la Norma NLT-159/75. La maquinaria utilizada para la puesta en obra del aglomerado se utiliza evitando maniobras de radio pequeño sobre la membrana o sobre su capa de protección ya que puede dañarlos. La velocidad de los camiones es lenta, no dando lugar a aceleraciones o frenadas bruscas.

4.8.7 CONSTRUCCION DE BARANDALES

El concreto para los barandales de puentes se coloca después de que se hayan removido los puntales y demás obra falsa y formaletas en toda la luz. En la construcción de barandales, se revisa que los moldes utilizados sean lisos y apretados, que puedan sostenerse rígidamente a la alineación y rasante y además que puedan ser removidos sin dañar el concreto. Las molduras, paneles y tiras biseladas, se construyen de acuerdo con los planos detallados, con las juntas acabadas. Se revisa que las esquinas en el trabajo de acabado, sean exactas, perfiladas y limpiamente presentadas así como libres de grietas, lascas u otros defectos.

Las partes precoladas de barandas son coladas en moldes herméticos, y se sacan de los moldes tan pronto como el concreto esté suficientemente duro, entonces se conservan cubiertos con arpillera saturada de agua o lona impermeable durante 3 días como mínimo. Después de éste tratamiento, el curado se complementa por

medio de la inmersión en agua, o rociándolas cuando menos dos veces al día durante un período de 7 días, por lo menos. Las partes precoladas que resultasen astilladas, sucias o agrietadas, antes o durante el proceso de su colocación, se rechazan y se retiran de la obra.

El método de almacenamiento o manejo se hace de tal modo que los bordes y las esquinas se conserven con sus dimensiones y uniformidad. En la construcción de casquetes y coronamientos, moldeados los balustres son protegidos contra manchas y deterioro durante el proceso del colado y acabado del concreto.

4.8.8 CONSTRUCCION DE DRENAJES

4.8.8.1 ALCANCES

Los elementos y dispositivos utilizados para conducir el agua superficial hidráulicamente controlada y de forma rápida incluyen desde cunetas, goteras, ductos internos, transiciones entre peraltes, impermeabilizaciones de superficie, sistemas de vertido y/o conducción de agua, etc. Para determinar el diseño y construcción de los dispositivos adecuados según los requisitos del proyecto se consideran los siguientes elementos:

4.8.8.2 RECOGIDA Y EVACUACION

Para evitar la afluencia de agua desde el exterior del puente se disponen elementos de recogida y evacuación, así como sistemas de protección superficial de taludes para que las escorrentías de las cunetas contiguas no erosionen los rellenos del trasdós de estribos (ver fig 4.a) La evacuación del agua sobre el tablero se realiza mediante la pendiente resultante de la combinación de la

transversal y la longitudinal, de las características de la capa de rodadura y de los sumideros (ya sea sobre la superficie de la calzada o en las cunetas y zonas anexas), además de los aspectos relativos a las aguas de infiltración y a las juntas de dilatación. A continuación se describen los dispositivos más empleados.

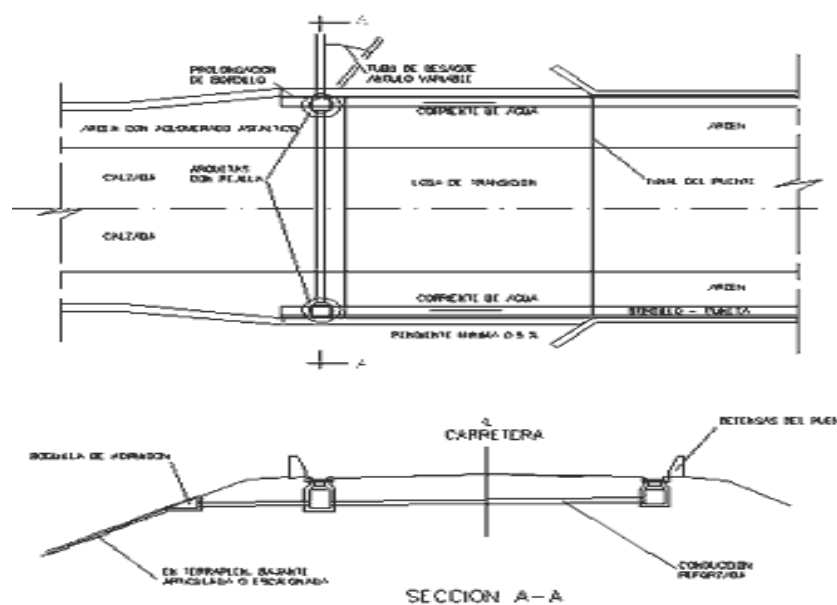


Figura 4.a Ejemplo de sistema de desagüe en el final del puente

A. Evacuación de aguas superficiales en calzada. Aunque haya pendiente transversal y pendiente longitudinal, el agua corre por la pendiente resultante. La evacuación transversal de aguas superficiales a través de la calzada se realiza mediante las pendientes que se le dan al pavimento para dirigir el agua hacia la canalización longitudinal. Los valores mínimos de la pendiente transversal se sitúan entre el 1% y 3 % (valor medio superior 2 % según criterios y zonas), siendo necesario disponer de pendiente longitudinal en zonas con riesgo de estancamiento de agua (cambios de pendiente o zonas con pendiente nula). Si se

produce algún problema de evacuación, la tendencia usual es la de aumentar el porcentaje de la pendiente transversal.

La pendiente longitudinal se define en el proyecto, ya sea por compromiso de seguridad o constructivo. En cualquier caso, tanto las pendientes transversales como las longitudinales se proyectan mayores que 0.75 % (con lo que se asegura una pendiente de escorrentía superficial superior al 1%). La eficacia de la pendiente se mide por la ausencia de estancamiento del agua en la superficie de rodadura. Hay ocasiones en las que, al no existir una correlación entre la pendiente y la eficacia necesaria, para tener garantía de buen funcionamiento se recurre a la influencia de otros factores tales como características de la capa de rodadura, anchura de la calzada, intensidad pluviométrica o estabilidad de la superficie de rodadura.

B. Evacuación de aguas superficiales en zonas anexas y cunetas. La evacuación de las aguas en las zonas anexas es tratada eficazmente y sin mayores problemas de mantenimiento. Cuando se dispone de aceras elevadas, la evacuación de las aguas superficiales en estas zonas anexas se lleva a cabo dotándolas de pendientes transversales del 2 %, orientadas hacia la cuneta del puente y utilizando para la salida del agua los mismos mecanismos que para la evacuación del agua de la calzada. Para evitar infiltraciones en el pavimento de las zonas anexas se impermeabiliza la capa superior del mismo, especialmente en las zonas más frías. Cuando el tablero carece de aceras elevadas se provee de un sistema para evitar

goterones a lo largo del borde exterior. En este sentido, se pueden considerar dos situaciones excepcionales:

- Cuando la pendiente de la calzada es inversa, se instala un canal o cuneta adicional entre la acera y la calzada para evitar que el agua de la zona anexa atraviese la calzada.
- Cuando hay algún obstáculo que impide al agua alcanzar el canal junto a la calzada, teniendo el agua que circunvalar el obstáculo (es preferible instalar un desagüe o agujerear el obstáculo para facilitar la salida del agua).

C. Dispositivos de drenaje. El flujo de agua entre la elevación de la acera y la pendiente superficial de rodadura escurre a lo largo de un canal o sobre una parte del revestimiento adyacente de la calzada (generalmente en el arcén). En la mayoría de los casos, el canal se forma por la intersección de la pendiente transversal de la calzada y el borde que determina la acera o el pretil (una única cuneta junto al cordón y a lo largo de la acera), sin ninguna modificación geométrica complementaria. Pero también existe la posibilidad de instalar diversos dispositivos de drenaje como sigue:

- Formación de un caz, es la sección recta en “u” longitudinalmente situada junto al cordón, por el retranqueo de la capa de rodadura sobre una primera capa de aglomerado extendida a todo lo ancho de la calzada, de forma que la capa de rodadura desagüe transversalmente sobre la sección (ver fig. 4.b), algunas características de este dispositivo son, facilidad de

conformación, mantenimiento, reparación, durabilidad y bajo riesgo de colmatación; presentando como inconveniente la disminución de la seguridad para el tráfico (por la rotura de la continuidad del pavimento junto al cordón).

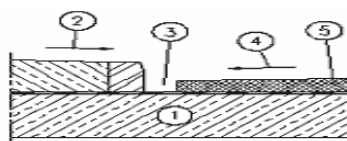


Figura 4.b

- 1: Tablero de concreto
- 2: Pendiente de la acera
- 3: Cunetilla en borde
- 4: Pendiente de la calzada
- 5: Aglomerado

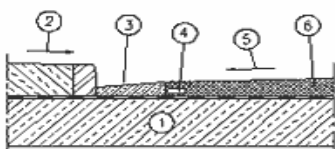


Figura 4.c

- 1: Tablero de concreto
- 2: Pendiente de la acera
- 3: Cuneta de concreto
- 4: Perfil drenante (desagüe al sistema general)
- 5: Pendiente de la calzada
- 6: Aglomerado

Para proteger la membrana impermeabilizante, en el caz, se dispone un sistema compatible con la impermeabilización, resistente a los rayos UV. En el caso de aglomerados asfálticos porosos, estas protecciones se fijan con mortero epoxi, o solución similar, tanto al cordón como a la membrana impermeabilizante (colocando piezas en forma de “L”). Para aglomerados asfálticos no porosos también se fijan al borde de la capa de rodadura (piezas en forma de “U”).

Una variante de la solución anterior es la terminación en bisel del caz (ver fig. 4.c), formando una sección inclinada (normalmente formando el bisel a mano con mortero o concreto de árido no grueso). Su realización es más complicada y de menor capacidad de desagüe pero proporciona un mejor acabado estético y mayor seguridad de uso.

- Mezcla porosa como terminación de la capa de rodadura, se complementa con la instalación puntual de imbornales (diámetros de 6 pulgadas) cubiertos con rejillas metálicas, perforadas lateralmente y enrasadas con la capa de rodadura. Los imbornales son dispositivos de vertido directo empleados solamente en puentes, de cuyo tablero el agua de los caces se vierte directamente a través de ellos.
- Drenaje longitudinal prefabricado. Se instala junto al cordón con ranurado superior, embebido en la pavimentación y enrasado con la capa de rodadura. Esta debe tener un mayor espesor junto al dren para almacenar el agua infiltrada hasta su evacuación. Destaca por su capacidad de desagüe y su difícil colmatación. Este tipo de drenes longitudinales prefabricados también se pueden situar bajo un pavimento drenante. Su construcción, mantenimiento y reparación es más complicada que las anteriores pero presentan menor riesgo de obstrucción y mayor seguridad de uso (al no verse desde el exterior).
- Instalación de cordones conformados con canal en su interior y una abertura lateral situada hacia el pavimento. La abertura se instala por debajo de la capa de rodadura drenante para recoger el agua transversal.

D. Desagües. Se emplean desagües con formas de salida variables según zonas y criterios. Algunas de estas formas de salida son:

- Salida de desagüe única en el extremo del puente o “aguas arriba” de cada junta de dilatación; sobre todo, cuando estas no son totalmente herméticas.
- Proyección de varios desagües.

En el caso de estructuras de tablero sobre vigas, como los empleados en puentes presforzados, los sumideros se construyen sobre cada pila, exista o no junta, dado que es frecuente que la contraflecha de las vigas origine charcos peligrosos para el tráfico cuando la pendiente longitudinal es pequeña. Si no se prevee esta condición, se producirán problemas en el mantenimiento del aglomerado y el tablero en general. En la mayoría de los casos, los sumideros son colocados sobre el canal, sólo en situaciones excepcionales se colocan fuera de él (quedando debilitada, en tal caso, su eficacia y rendimiento), y raramente sobre la calzada. La práctica habitual es situarlos aguas arriba del puente y, también, antes de cada junta de dilatación. La tipología del sumidero (que no es la del sistema o cantidad de desagües) está condicionada por la aplicación a que se destinen: zonas peatonales, edificios de estacionamiento, puentes de ferrocarril, puentes en zonas de tráfico, e incluso reparación de puentes.

Los parámetros que determinan la distancia entre desagües son: superficie de evacuación, periodo de retorno correspondiente a la pluviometría, perfil longitudinal, capacidad del desagüe y capacidad del canal. Una vez recogida el agua del tablero, es necesario conducirla hasta el exterior sin producir daños en la estructura ni molestias en la circulación de las vías inferiores; para lograr este

objetivo en el diseño del puente, es conveniente tomar en cuenta la presencia de una red de drenaje propia. El agua puede ser evacuada por el extremo más bajo del puente, optando el proyectista, a tomar la opción de vertido libre (ver fig. 4.d) o el diseño de un sistema de desagüe controlado con bajantes. La utilización de salidas conducidas, está condicionada por condiciones climáticas (la fuerza del viento), el entorno (para evitar erosionar el suelo en su caída o contaminar las aguas que pudieran escurrir bajo el puente), y la situación del puente (en el caso que circule bajo el, una línea de ferrocarril u otra carretera).

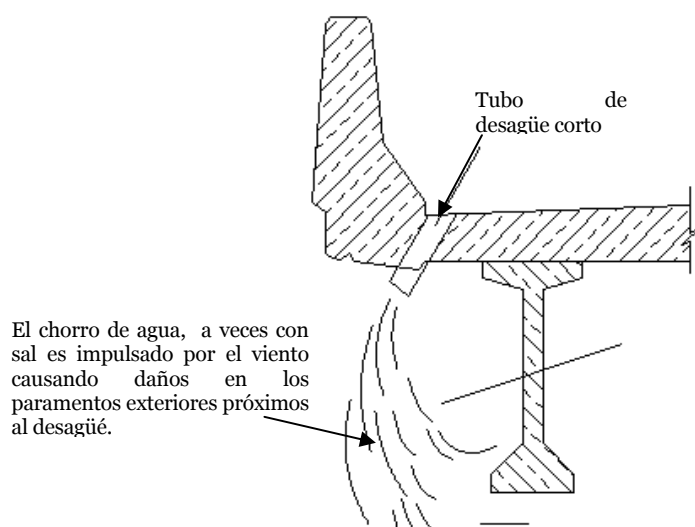


Figura 4.d Problemas con tubos de desagües cortos

Es recomendable, minimizar las conducciones con tubos interiores debido a los inconvenientes en la estructura y dificultades de conservación (ver fig. 4.e). La instalación de tuberías puede llevarse a cabo exteriormente o dejando un cajón en la estructura y pilas (raramente utilizado por su costo e inconvenientes de mantenimiento). En todo caso, es recomendable poner especial atención a los

codos (limitando los ángulos y el radio de curvatura), a las sujeciones a la estructura y prever orificios de acceso (para facilitar la limpieza interior).

No obstante, evitar el vertido libre, en zonas urbanas o en otras carreteras o vías, permite lograr condiciones estéticas favorables con el entorno ambiental y la protección de suelos que en caso contrario podrían contaminarse o dañarse. El recogimiento del agua, en caída libre, se proyecta en puntos concretos mediante sumideros para evitar escurrimientos y controlar el chorro de agua de modo que el viento no pueda desviarla hasta los elementos estructurales. Otra consideración de diseño que permiten el buen funcionamiento del sistema de drenaje es, considerar un diseño que prevenga inundaciones de la calzada cuando ocurra una eventual obstrucción de sus elementos, asegurándose que el agua pueda evacuarse por rebose de cualquiera de los elementos exteriores al puente.

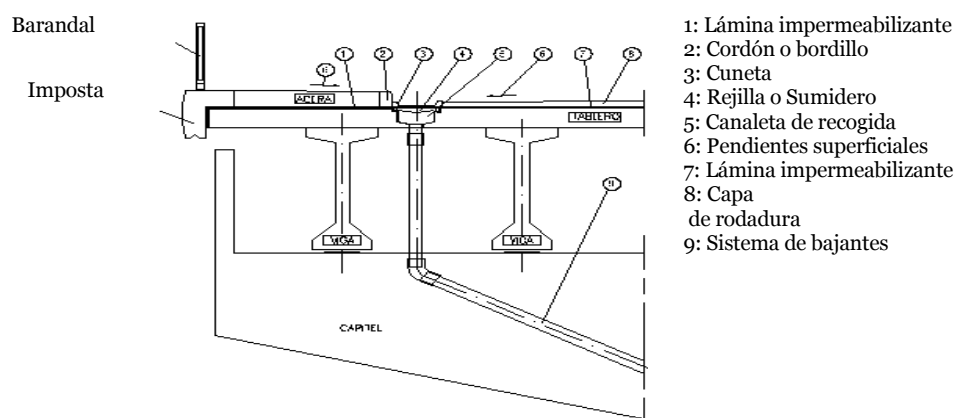


Figura 4.e Componentes básicos del drenaje

El sistema de evacuación de agua más generalizado en los estribos es instalar desagües que se evacuan en la red general (ver fig 4.f), a través de conductos, enterrados o abiertos, mediante una canaleta a lo largo del talud.

Cuando la junta no es totalmente hermética en los estribos, éstos, se diseñan y construyen ocasionalmente con una pendiente apreciable en la zona de apoyos con el fin de evacuar el agua que pueda filtrarse a pesar de los accesorios previstos. También, es importante, prever la salida a las aguas infiltradas detrás del estribo. Para ello, se usa normalmente una masa granular de arena o de piedras con granulometría seleccionada, la cual reconduce el agua hacia tubos perforados situados en la base. Como variante, es posible utilizar geotextiles para complementar las masas drenantes citadas, evitando así la colmatación de los huecos.

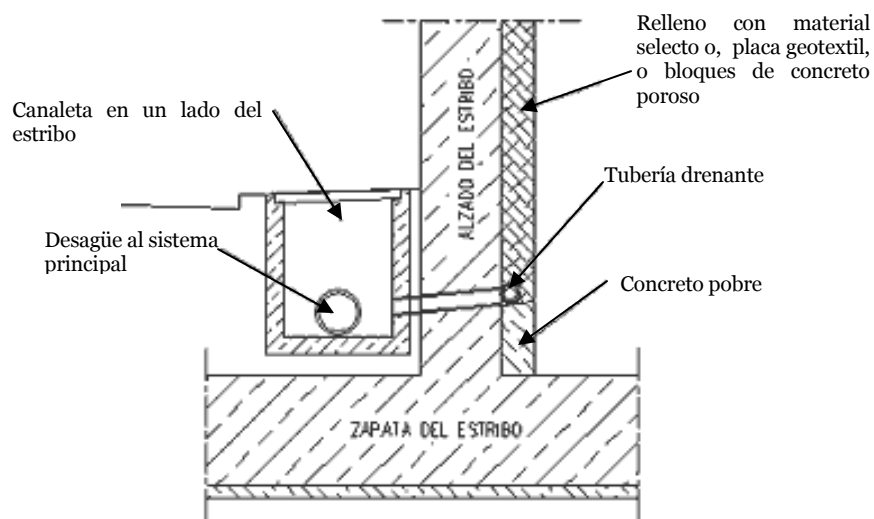


Figura 4.f Ejemplo de drenaje normal de trasdós de estribo

E. Drenaje en juntas de dilatación y estribos. Cuando la presencia de juntas inadecuadas (por geometría o falta de hermeticidad) en los estribos y/o pilas interrumpe, por un lado la circulación de agua a través del tablero, y por otro, la circulación a través de los caces longitudinales de recogida de aguas, es necesario que aguas arriba de todas las juntas, sean estos de pilas o estribos, se sitúe un

sumidero (dispositivo de evacuación enterrado), con la suficiente capacidad, de tal forma que se garantice que el agua del caz no escurra a través de la junta para un determinado periodo de retorno (que no debe ser menor que 10 años), para esto, se utilizan tubos de desagüe de 15 cm de diámetro como mínimo. El sumidero puede ser situado en el lateral del bordillo o en la horizontal de la superficie. Igualmente, para facilitar el drenaje interno de la capa de aglomerado, es conveniente colocar un dren contiguo a la junta de dilatación.

Por otro lado, la junta es un mecanismo para evacuar el agua, ya que ésta, antes de llegar al caz, escurre a través de ella como consecuencia de la resultante de las pendientes longitudinal y transversal. La falta de estanquedad y/o la ausencia de sumidero (o que aún existiendo, no funcione correctamente), origina que la esorrentía caiga sobre los capiteles y muros de los estribos, produciendo degradaciones en el concreto, armaduras y en los aparatos de apoyo. Por ello, es frecuente complementar algunas juntas con drenes paralelos (ver fig. 4.g) y recogiendo las filtraciones de éstas mediante diversos dispositivos que desagüen de forma controlada por el extremo más bajo del tablero; como por ejemplo:

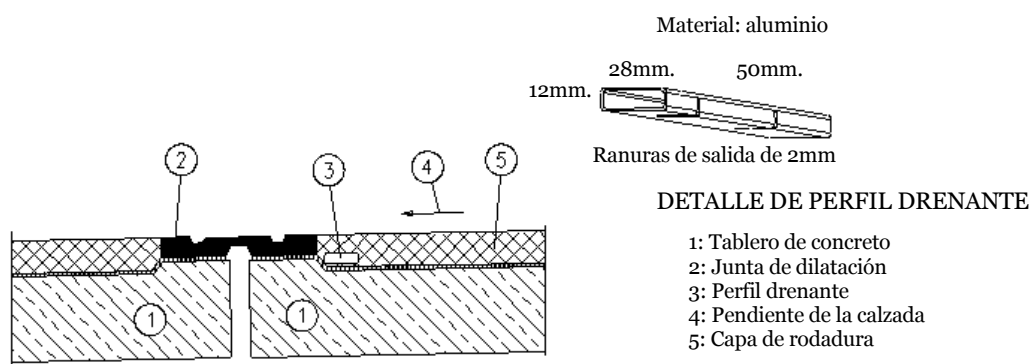


Figura 4.g

Colocando por la parte inferior del módulo de junta, una lámina de neopreno reforzado en forma de puente, en el espacio que queda libre en la junta (ver fig. 4.h). Se utiliza si no existe acceso desde el capitel, en reparaciones cuando la junta no es hermética y su empleo presenta problemas. Al colocar la lámina de neopreno por debajo de la junta, esta fijación es precaria y hace difícil limpiar el canalillo que forma la lámina.

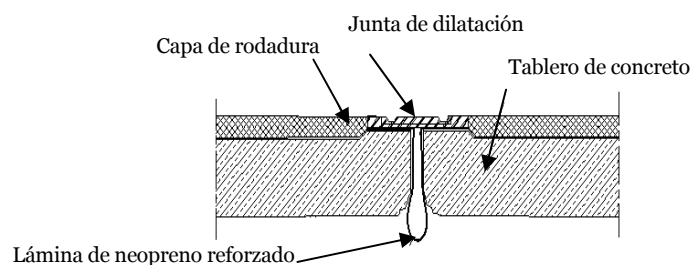


Figura 4.h Método de recogida de agua bajo la junta, en caso de no existir acceso desde la pila, desaguar en forma controlada desde el extremo más bajo.

Otro mecanismo utilizado, es la colocación de un canalón (de PVC, 2 mm de espesor o de acero inoxidable de 1 mm) por la parte inferior del tablero, uniéndolo mediante un amarre fijo a uno de los extremos de la junta y mediante una fijación deslizante al otro (ver fig. 4.i). Se utiliza si existe acceso desde el capitel.

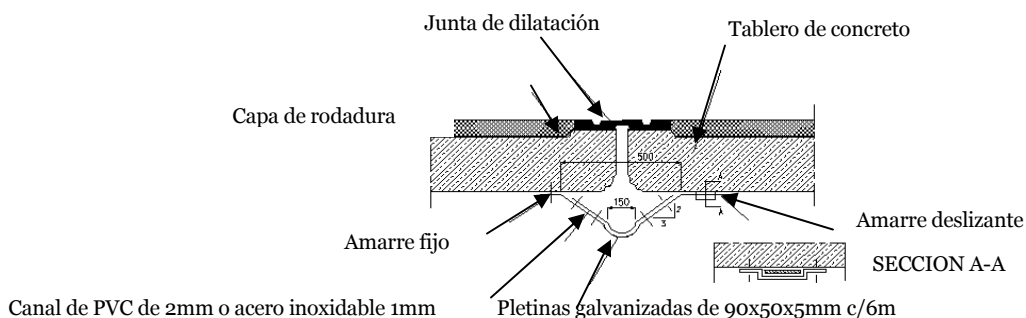


Figura 4.i Método de recogida de aguas bajo las juntas

Esta solución es empleada en reparaciones, cuando la junta no es hermética. Los escurrimientos se producen por los paramentos del concreto hasta llegar al canalón. La limpieza del canalón genera problemas cuando no se realiza de forma continua y adecuada. Otra alternativa es la colocación de una chapa de acero galvanizado por la parte inferior del tablero, que se une mediante un amarre fijo sobre un apoyo colocado en uno de los lados y dejándola deslizar sobre un apoyo colocado en el otro lado (ver fig. 4.k). Igual que en el caso anterior, se utiliza si existe acceso desde el capitel.

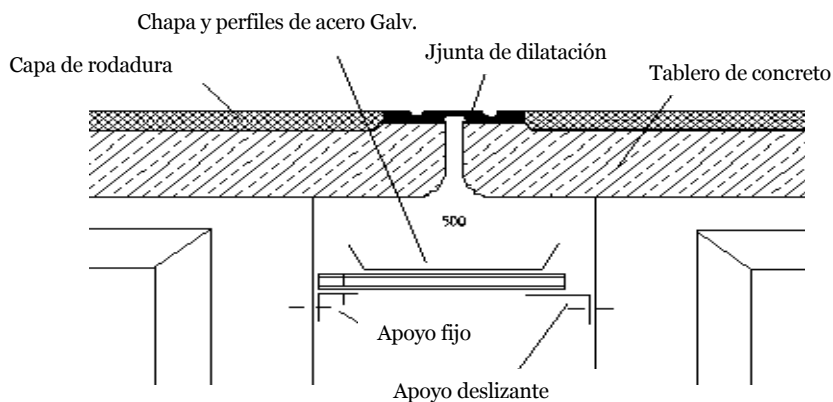


Figura 4.j Método de recogida de agua bajo la junta

4.8.8.3 CONTROLES Y MANTENIMIENTO

Los controles generales de construcción se relacionan con la calidad de los materiales y procesos como limpieza con agua, de canaletas y tuberías de concreto endurecido, después de cada colada. Si es concreto es, recomendable dejarlo caer a los moldes desde una altura menor que 5 pies (1.52m), salvo que se vaya encerrando en canaletas o tubos cerrados; si es posible, se puede depositar el concreto lo más cerca de su posición final. Cuando se ha terminado el fraguado

inicial del concreto, se evita no golpear, ni someter a tirones o esfuerzos las puntas sobresalientes del refuerzo.

4.9.8 CONSTRUCCION DE CUNETAS Y ACERAS

4.8.9.1 CUNETAS

Las cunetas pueden ser construidas de concreto simple fundido en el sitio, concreto simple pre-fundido o mezclas asfálticas. Las cotas de cimentación, dimensiones, tipos y formas de las cunetas revestidas, se indican en los planos o son indicadas por el ingeniero residente.

- Concreto simple fundido en el sitio. El concreto se coloca, iniciando en uno de los el extremo de la cuneta, avanzando en el sentido ascendente de la pendiente de la misma, dejando juntas de construcción a cada 2 metros, con espesor de 3 mm. Cuando utilizan formaletas, hay que tener cuidado en la colocación de la formaleta; al colocar esta, el concreto se nivelan las superficies para que la cuneta quede con la verdadera forma y dimensiones indicadas en los planos. El espesor mínimo de la cuneta es de 70 milímetros.
- Concreto simple prefundido. Las formas y dimensiones de las planchas se indican en los planos, con un espesor mínimo de 70 mm. Las superficies de las planchas, se humedecen antes de su colocación sobre la superficie del tablero debidamente preparado. La separación entre plancha y plancha, no es menor que 15mm ni mayor que 30 mm, se llenan con mortero. Una vez colocadas las planchas, se evita arrastrarlas, darles vuelta, golpearlas o

martillarlas. Si una plancha se afloja después de que el mortero ha alcanzado el fraguado inicial, se remueve la plancha y el mortero circundante, y sucesivamente.

- Mezclas asfálticas. Antes colocar la mezcla, se verifica el alineamiento, sección y pendiente para que estén de acuerdo con los planos; se retira todo material suelto o extraño que se encuentre sobre la superficie de las mismas. El espesor mínimo del concreto asfáltico mezclado en caliente debe ser de 30 milímetros y el de mezcla en frío de 40 milímetros.

4.8.9.2 ACERAS

En general, las aceras en obras viales pueden ser construidas de concreto de cemento hidráulico, de mezclas asfálticas y de ladrillo, sin embargo en los puentes se construyen del mismo material que el tablero; a continuación se detalla solamente las aceras de concreto.

El armado de las aceras se realiza en el momento de armar el tablero principal, de tal manera que cuando se lleva a cabo el colado, sólo se necesita moldear el perímetro de la acera según lo estipulado en los planos constructivos. El concreto es depositado en una sola capa, evitando la segregación, y se nivela adecuadamente. Una vez que el concreto ha sido colocado y compactado, se procede al enrasado o nivelado superficial por medio de una maestra o plantilla alisando posteriormente con flotador o llana. Los bordes y las juntas de expansión obtienen acabados empleando la herramienta apropiada. La verificación se realiza con el escantillón donde la superficie no puede variar en más de 3 mm por debajo

del mismo. Cuando se especifique texturizado o ranurado, se verifica que sean antideslizantes y son realizados cuando la superficie aún esté mojada. El concreto se cura por lo menos durante 72 horas. Durante el período de curado, la obra se protege de todo el tránsito, peatonal y vehicular.

La acera se divide en secciones por medio de juntas simuladas aserradas o utilizando otro medio estipulado por el ingeniero. Estas juntas simuladas penetrarán el interior del concreto a una profundidad de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{5}$ del espesor de la losa con aproximadamente 3 mm de ancho. Se hacen coincidir, tanto como sea posible, con las juntas adyacentes del pavimento rígido, si ese fuera el caso. Las juntas de expansión, se construyen con las dimensiones especificadas y en ellas se coloca el material premoldeado para relleno de juntas de expansión del tipo especificado. El material para juntas de expansión debe penetrar hasta la profundidad total de la acera de concreto.

4.8.10 CONSTRUCCION DE LOSAS DE APROXIMACION

4.8.10.1 PREPARACION

El diseño de la losa de aproximación se detalla en los planos constructivos. Aprobado el inicio de esta actividad, se procede a revisar las condiciones del terreno sobre el cual se construirá la losa. Se procede a acondicionar el terreno, compactándolo en capas no mayores que 30cm. Antes de colocar el concreto se coloca el refuerzo longitudinal y transversal de la losa con helados de mortero en la superficie inferior para proporcionar el recubrimiento especificado.

El colado de la losa inicia cuando la supervisión ha revisado el armado, la limpieza del área de trabajo y la disponibilidad de los materiales y herramientas de acuerdo con las actividades subsecuentes. El colado puede realizarse utilizando concreteras o camión bomba. Para dar el acabado final a la estructura se realiza un llaneado.

4.8.11 CONSTRUCCION DE JUNTAS

Juntas de construcción. Se localizan de acuerdo con las indicaciones establecidas en los planos, o según lo indique la supervisión. Se colocan perpendiculares a las principales líneas de esfuerzo y, en general, se localizan en los puntos de mínimo esfuerzo cortante. Para crear juntas de construcción, se colocan tiras de calibración, de 1 1/2 pulgada (3.81 centímetros) de grueso, dentro de los encofrados, a lo largo de todas las caras visibles, para proporcionar líneas rectas a las juntas. Antes de colocar concreto fresco, las superficies de las juntas se limpian con una escoba de alambre, empapada con agua hasta su saturación, conservándola saturada hasta que sea colado el nuevo concreto. Inmediatamente, antes de éste colado, los moldes se ajustan fuertemente contra el concreto ya colado, y la superficie vieja se cubre completamente con una capa muy delgada de mortero de cemento puro.

Al colar el concreto de la subestructura, se verifica que las juntas de construcción horizontales mantengan ese sentido, y si es posible, que no queden expuestas a la vista en la estructura terminada. Cuando sea necesario, en la construcción de juntas verticales, se colocan varillas de refuerzo extendidas a través de estas, para

hacer la estructura monolítica; además de haber dejado llaves de corte formadas por endentaduras de las superficies. En las superficies grandes que van a ser tratadas arquitectónicamente o muros de ala, se evitan las juntas de construcción de un lado a otro de las mismas.

En juntas de construcción horizontales, se colocan listones alineados

Juntas de expansión. Son colocadas y formadas según lo indiquen los planos.

- Juntas abiertas. Las juntas se construyen mediante la inserción y retiro posterior de una tira de madera, placa de metal u otro material aprobado. La inserción y retiro de la plantilla se lleva a cabo sin astillar ni romper las esquinas del concreto. El refuerzo no se extenderá a través de una junta abierta, a no ser que así fuese especificado en los planos.
- Juntas rellenadas. Las juntas de expansión rellenadas, se construyen en forma similar a las juntas abiertas. Cuando se especifiquen juntas de expansión premoldeadas, el grueso de la tira de relleno al ser instalada es el que fijan los planos. El rellenedor de juntas se corta del mismo tamaño y forma que las superficies que vayan a ser juntas. Se fija firmemente contra la superficie del concreto ya colada, de tal modo que no sea desplazado cuando el concreto es depositado contra él. Cuando es necesario emplear más de un pedazo de rellenedor para cubrir alguna superficie, los pedazos se colocan en contacto estrecho y la junta entre ellos se cubre con una capa de fieltro de techar, saturado de asfalto, de tipo no inferior a 40 libras (18.14 kilogramos), una de cuyas caras es cubierta con

asfalto caliente para asegurar la retención debida. Las juntas de expansión se revisan inmediatamente después de retirar los moldes. Cualquier concreto o mortero que se hubiese salido a través de la junta se corta cuidadosamente y se quita. Si aparecen aberturas de un octavo de pulgada (0.3175 centímetros) o mayor, en cualquier junta sobre la que tenga que pasar algún tránsito, durante la construcción, éstas se rellenan con alquitrán caliente o asfalto, según indicaciones del ingeniero residente. Los pasadores que fuesen necesarios, dispositivos para la transferencia de carga y otros, son colocados según se indique en los planos o donde lo ordene el ingeniero.

- Juntas de acero. La conformación de placas, ángulos y otros perfiles estructurales tiene que ser exacta para ajustarse a la sección del piso de concreto. Su fabricación y pintado se hace de acuerdo con los requisitos de las especificaciones correspondientes a esos objetos. En ocasiones, los planos y especificaciones lo solicitan galvanizado en vez de pintado. Antes de colocarlos se revisa que la superficie de la placa acabada esté a nivel y sin comba; se utilizan métodos adecuados para mantenerlas en su posición durante el colado del concreto. La abertura en las juntas de expansión se señala en los planos a temperatura normal, y se evita la variación de la abertura o claro de separación.

4.8.12 PERNOS Y DISPOSITIVOS DE ANCLAJE

Antes de su instalación se proporcionan muestras de los mismos, instrucciones de instalación, datos técnicos y certificaciones de pruebas realizadas al supervisor para su aprobación.

Los pernos de anclaje se pueden fijar de acuerdo con uno de los métodos siguientes, a menos que se indique un método diferente en las especificaciones:

- Fijación de pernos o dispositivos de anclaje directamente embebidos en el concreto. Se colocan en el concreto cuando está siendo colocado, en agujeros formados durante su aplicación. El perno se coloca en una sección o tramo de tubería negra corriente, por lo menos 2 pulgadas (5.08 centímetros) más grande en diámetro que el perno, éste se asegurará pasándolo a través de una arandela pesada, de acero, al fondo del tubo. Los agujeros son formados insertando, en el concreto fresco, clavijas de madera aceitadas, casquillos de tubería de metal u otros dispositivos aprobados, los que se sacan cuando el concreto se encuentra parcialmente fraguado. A los agujeros formados de esta manera, se les deja un diámetro no menor que 4 pulgadas (10.16 centímetros).
- Fijación de los Pernos en agujeros taladrados o premoldeados a base de resinas sintéticas y/o aditivos expansivos. Los agujeros se hacen con diámetro de 25 mm mayor que el del perno y es taladrado o premoldeado en la ubicación que detallen los planos, perpendiculares al plano del asiento del puente. Se fijan con mortero de cemento hidráulico, con

aditivos expansivos o con compuestos químicos aprobados basados en epoxico, poliéster, viniles u otros adhesivos aprobados, de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes. Las tuercas de sujeción se apretan al torque especificado por el fabricante del dispositivo de anclaje.

- Cargas de prueba para los pernos o dispositivos de anclaje. Una muestra representativa de cada tipo de perno o dispositivo de anclaje es sometida a una prueba estática de acuerdo con la norma ASTM E 488, para demostrar que el perno o dispositivo de anclaje puede resistir una carga sostenida de tensión directa axial no menor que la capacidad especificada del anclaje por un período de 48 horas con un movimiento que no exceda de 1 mm. Asimismo, al llevar la carga hasta la falla, el perno o dispositivo de anclaje debe evidenciar una falla dúctil del acero y no una falla de deslizamiento, ni una falla de rotura del concreto, mortero o compuesto de sujeción. Durante la construcción se prueba una muestra aleatoria de por lo menos 10% de los anclajes, hasta llevarlos al 90% del esfuerzo cedente del acero. Si alguno de los anclajes falla, se coloca de nuevo el anclaje y se repite la prueba sobre el 100% de los restantes anclajes. Esta carga de prueba puede aplicarse por torque a una tuerca indicadora de la carga aplicada por una carga de tensión directa axial o por otro método aprobado por el supervisor. Después de pasar la carga de prueba, se quita la carga sobre el anclaje y se reapretar al torque especificado por el fabricante.

4.8.13 AGUJEROS DE DRENAJE Y ALIVIADORES

Se disponen agujeros para drenaje en todos los estribos, muros de retención y alcantarillas con una altura mayor que 1.50 m. Los agujeros para drenaje se diseñan con diámetro mínimo de 75 mm y se colocan con distancia no mayor que 3.0m, o según lo especificado en los planos. Los orificios de salida de los agujeros de drenaje para estribos y muros de retención, se localiza a la distancia por encima del terreno, que se indique en los planos.

Los orificios de entrada de los agujeros para drenaje se cubren con cedazo y se les coloca un filtro de piedra o de grava triturada, por lo menos de 0.05 m³ para permitir un drenaje libre y prevenir la obstrucción del mismo. Para igualar la presión hidrostática, los dispositivos de salida, bocas o respiraderos se colocan más abajo que las aguas mínimas y de acuerdo con lo indicado en los planos.

Los moldes para proveer agujeros a través del concreto pueden ser de tubería metálica, tubería de plástico, tubería de concreto, cajas de metal o moldes de madera. Si se usan moldes de madera, éstos deben ser removidos después de colocar el concreto.

4.9 CONCLUSIONES

Las experiencias más recientes en construcción de puentes de concreto presforzado de luces cortas y medias con tecnologías futuras de aplicación se pueden resumir en lo siguiente:

- Durabilidad. En la actualidad se ha comprobado problemas de conservación en puentes sobre todo por las reacciones químicas que

pueden afectar significativamente el concreto como son el ataque de sulfatos y la reacción árido-álcali por lo cual es necesario hacer consideraciones en el cambio de las propiedades de los materiales utilizados y en las metodologías de ensayo y control del concreto puesto en obra.

- Utilización de concretos de alta resistencia en puentes de concreto presforzado. Permite obtener relaciones resistencia/peso cercanas a las del acero estructural lo cual lo convierte, aparte de otros aspectos de deformación máxima admisible, tecnología de elaboración y puesta en obra, en un material competitivo frente al acero estructural.
- Industrialización de procesos constructivos. Combinando la técnica del pretensado con la prefabricación, surge la aparición y disponibilidad de por ejemplo medios mecánicos de izado, colocación, empuje, así como el aumento progresivo del precio de la mano de obra, que consecuentemente busca rendimientos cada vez mayores de los equipos de trabajo en la construcción de puentes en partes más simples aplicando procesos cada vez más industrializados que contrasta con los artesanales o de construcción “in situ”
- Minimización del impacto ambiental. Incluirlo en los procesos constructivos orientado a menores deforestaciones, consumo de energía y recursos mineros, producción de menor cantidad de residuos no reciclables, conservación de la actual flora y fauna y optimizar los recursos

disponibles como herramienta estratégica para minimizar los costos en las construcciones.

CAPITULO V

RESULTADOS, ANALISIS E

INTERPRETACION DE RESULTADOS

CAPITULO V:

RESULTADOS, ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.1 INTRODUCCION

El proyecto de un puente plantea por ejemplo, qué tipo de estructura se va a construir, qué función va a tener dentro de la red vial y sociedad, qué materiales se van a utilizar, cuáles van a ser sus luces, etc. Para responder estas preguntas es necesario estudios topográficos, hidrológicos e hidráulicos, geotécnicos, etc, acordes con la magnitud del proyecto, normas, materiales, métodos, técnicas y procesos de construcción, con el fin que el constructor durante el proceso de realización no haga excesivas modificaciones a la propuesta inicial de diseño, costos y tiempo planeado, sin sacrificar la seguridad y calidad de la estructura. La construcción de puentes de concreto se está industrializando por la facilidad de prefabricar elementos portantes principales; sin embargo, la utilización de métodos tradicionales en la construcción de puentes de concreto reforzado no está en contraposición con métodos como el pretensado y postensado. El uso de cada técnica de construcción, tiene su campo de aplicación tecnológica según necesidades y recursos disponibles.

5.2 RESUMEN TABULAR DESCRIPTIVO DE LA TIPOLOGIA DE PUENTES

5.2.1 RESUMEN DE TIPOS DE PUENTES

MATERIAL	GEOMETRIA	FUNCIONAMIENTO	CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES	PARTES QUE LO CONSTITUYEN
MADERA	La geometría recta ha sido la más utilizada; sin embargo, existen puentes de madera tipo colgantes, de arco y esviajados, vigas trianguladas y losa.	Los puentes de madera, históricamente, han desempeñado diferentes usos tales como: peatonal, carretero, de ferrocarril, ya sea para salvar ríos o un abismo u otra vía existente. Aparecieron a principios del siglo XIX donde la disponibilidad de este material favorecía su construcción.	Rápidos de construir y de bajo costo. Vulnerables a los agentes atmosféricos como la lluvia y el viento. Requieren mantenimiento continuo y costoso.	Cables, pendolas Barandal Tablero Apoyos Estribos Cimentaciones Obras de protección

5.2.2 RESUMEN DE TIPOS DE PUENTES

MATERIAL	GEOMETRIA	FUNCIONAMIENTO	CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES	PARTES QUE LO CONSTITUYEN
MAMPOSTERIA	<p>Es muy antiguo el arco construido de piedra los cuales portaban losas como carga impuesta en el funcionamiento o serviciabilidad. Estos eran los pontones.</p> <p>La geometría en forma de arco permitía construir el puente en su totalidad de mampostería. Para puentes con geometría recta en planta y esviajados, la mampostería de piedra se limita a la construcción de zapatas y estribos.</p>	<p>La función principal de un puente es salvar un río o quebrada, u obstáculo natural.</p> <p>El puente puede ser utilizado para el paso de peatones, animales o para tráfico vehicular liviano y pesado.</p>	<p>Las estructuras de piedra y ladrillo se derivan del arco formado por dóvelas yuxtapuestas.</p> <p>Los puentes construidos en forma de arco utilizan el 100% de mampostería o concreto.</p> <p>Tienen un efecto arquitectónico de tipo paisajístico.</p> <p>Son más resistentes, compactos y con menor costo que los puentes de madera, sin embargo más costoso que los puentes de concreto y metálicos.</p>	<p>Barandales</p> <p>Tablero</p> <p>Apoyo del tablero en arco</p> <p>Cimentaciones</p> <p>Obras de protección</p> <p>Iluminación</p> <p>Señalización</p> <p>Obras de protección</p>

5.2.2 RESUMEN DE TIPOS DE PUENTES

MATERIAL	GEOMETRIA	FUNCIONAMIENTO	CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES	PARTES QUE LO CONSTITUYEN
MAMPOSTERIA		<p>El puente transmite las cargas recibidas por el tablero a los estribos, y estas a las zapatas y posteriormente el suelo recibe uniformemente las cargas del tráfico impuestas al puente.</p>	<p>Actualmente, se conserva la técnica de construir estribos de mampostería por ser de bajo costo y de larga vida útil en puentes pequeños y medianos.</p>	

5.2.3 RESUMEN DE TIPOS DE PUENTES

MATERIAL	GEOMETRIA	FUNCIONAMIENTO	CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES	PARTES QUE LO CONSTITUYEN
METALICOS	<p>Su geometría en la planta pueden ser: recta, curva y esviada. Tomando en cuenta que la losa, vigas, barandales son construidos de metal y las fundaciones de concreto estructural o concreto ciclópeo.</p> <p>También tienen la forma de puentes colgantes de vigas y de arco.</p>	<p>Pueden funcionar como peatonal, carretero, paso sobre otra vía; acueductos, para paso de gas, petróleo.</p> <p>Se utilizan para salvar grandes alturas, valles importantes, cuando el claro y el rebajamiento resultan excesivos para una bóveda hecha de piedra o con arcos de concreto reforzado, de tal forma que su empleo ha quedado limitado a casos particulares.</p>	<p>Se desarrollaron durante el siglo XIX.</p> <p>Tienen mayor capacidad resistente que la madera y mampostería.</p> <p>Por las propiedades del metal es más fácil dimensionar los elementos constitutivos del puente.</p> <p>Son costoso en su construcción y están expuestos a la acción corrosiva tanto de los agentes atmosféricos como de gases y humos de fábricas y ciudades lo que se traduce en mantenimiento costoso.</p>	<p>Barandales</p> <p>Cables</p> <p>Arcos</p> <p>Tablero</p> <p>Capa de rodamiento</p> <p>Dispositivos de apoyo</p> <p>Estribos</p> <p>pilas</p> <p>cimentaciones</p> <p>obras de protección</p>

5.2.4 RESUMEN DE TIPOS DE PUENTES

MATERIAL	GEOMETRIA	FUNCIONAMIENTO	CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES	PARTES QUE LO CONSTITUYEN
CONCRETO REFORZADO	Su geometría en la planta pueden ser recta o esviajada, con secciones de tipo losa, vigas, vigas cajón.	El concreto reforzado se utiliza con frecuencia tanto viaductos como acueductos, en caminos rurales y autopistas.	<p>Su construcción apareció a finales del siglo XIX y principios del siglo XX como resultado de la combinación de hierro y concreto.</p> <p>Son muy resistentes a agentes atmosféricos por lo que su mantenimiento es de bajo costo.</p> <p>Permite alcanzar claros mayores que los alcanzados con puentes de mampostería y madera pero menores claros que los puentes metálicos.</p> <p>Resultan económicos para claros cortos y medianos.</p> <p>Fácil adquisición de materiales para su construcción.</p>	<p>Tablero</p> <p>Pilas</p> <p>Estribos</p> <p>Barandales</p> <p>Dispositivos de apoyo</p> <p>Ductos y anclajes</p> <p>Iluminación</p> <p>Señalización</p> <p>Cimentaciones</p> <p>Obras de protección</p>

5.2.5 RESUMEN DE TIPOS DE PUENTES

MATERIAL	GEOMETRIA	FUNCIONAMIENTO	CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES	PARTES QUE LO CONSTITUYEN
CONCRETO PRESFORZADO	<p>Su geometría en la planta pueden ser recta, esviada, en arco, curva.</p> <p>Los tipos comunes pueden ser de arco, de viga, losa, atirantados.</p>	<p>El concreto pretensado se utiliza con frecuencia en puentes de cualquier tipo de carreteras, desde caminos rurales hasta autopistas, para salvar un abismo u otra vía existente.</p> <p>Su uso se justifica cuando no es posible realizar la construcción, en la obra, por métodos convencionales como concreto reforzado.</p>	<p>Los métodos para construir puentes presforzados son el pretensado, postensado o una combinación de ambos.</p> <p>El tiempo de realización es más corto comparado con puentes de concreto reforzado.</p> <p>Resultan más económicos en claros medianos y largos.</p> <p>Existe un exhaustivo control de calidad de los materiales utilizados en la construcción de miembros pretensados.</p>	<p>Tablero (vigas, losa, vigas cajón)</p> <p>Pilas</p> <p>Estribos</p> <p>Barandales</p> <p>Dispositivos de apoyo</p> <p>Ductos y anclajes</p> <p>Iluminación</p> <p>Señalización</p> <p>Cimentaciones</p> <p>Obras de protección</p>

5.2.5 RESUMEN DE TIPOS DE PUENTES

MATERIAL	GEOMETRIA	FUNCIONAMIENTO	CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES	PARTES QUE LO CONSTITUYEN
<p>CONCRETO PREFORZADO</p>		<p>Se utilizan cuando los claros a superar son grandes o el sitio de emplazamiento tiene condiciones difíciles de trabajo.</p>	<p>En el concreto presforzado, se aprovechan al máximo las características de los materiales, por ejemplo, alta capacidad de resistencia a la compresión del concreto, y la elevada resistencia a la tracción del hierro de refuerzo, alambres o cables.</p> <p>Los costos de mantenimientos son bajos respecto a puentes metálicos.</p>	

5.2.6 RESUMEN DE TIPOS DE PUENTES

MATERIAL	GEOMETRIA	FUNCIONAMIENTO	CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES	PARTES QUE LO CONSTITUYEN
BOVEDAS	Su geometría en planta puede ser: circular, parabólicas, elípticas y ovoidales.	Se considera una estructura especial que funciona a flexocompresión, y su sección transversal tiene espesor reducido respecto a sus demás dimensiones, su uso puede ser para tráfico vehicular o peatonal.	En el diseño de la bóveda, es fundamental su geometría, el material y estabilidad. Los materiales con que se construyen son mampostería de piedra, concreto reforzado y metálica.	La placa curvada hacia dentro en forma de arco o cascarón apoyado directamente en los extremos o sobre estribos que transmiten las cargas a las cimentaciones, respectivamente.

5.3 TABLAS DESCRIPTIVAS DE LOS ELEMENTOS DEL PUENTE

5.3.1 PARTES GENERALES DE UN PUENTE

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	FUNCIONAMIENTO
BARANDALES	Pueden construirse con los siguientes materiales: metálicos, Barras de 2 ó 3 rejas soportadas por postes de acero soldados, anclados al tablero; postes de concreto reforzado y largueros metálicos; concreto pretensado, tipo New Jersey.	Proporcionar protección a los conductores y personas dentro de los vehículos de una eventual caída así mismo a los peatones. Es un elemento, de prevención, seguridad, indicación de límites de anchura y estética del puente. Delimita el ancho de la calzada y evita que los vehículos invadan la acera.
ACERAS	Material de construcción: concreto armado, mampostería de piedra, metálicas, madera. Están colocadas a los costados del ancho de la calzada del puente	Permiten el tránsito peatonal. Sirven para conformar los cordones y cunetas. Evitan que el tráfico vehicular se salga del área de rodaje.
SUPERFICIE DE DESGASTE	Material de construcción puede ser Pavimento rígido o flexible. El espesor del pavimento se define en función del tráfico esperado de la vía.	Permite el tráfico confortable a los usuarios que transitan sobre el puente. La pendiente resultante sirve para evacuar la escorrentía de agua sobre ella hacia las cunetas.

5.3.2 PARTES GENERALES DE UN PUENTE

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	FUNCIONAMIENTO
LOSA PRINCIPAL	Puede construirse con los siguientes materiales: concreto reforzado, hierro, madera (ya no es muy común). Su forma es rectangular.	Recibir directamente las cargas impuestas por el tráfico vehicular y peatonal, por esta razón trabajan a flexocompresión.
VIGAS	Tipos de vigas: longitudinales, transversales (diafragmas). Sección principal de vigas longitudinales:	Recibir las cargas directamente de la losa principal y transmitir las a los apoyos.
DIAFRAGMAS	Vigas T, perfiles I, acarteladas, cajón, Construidos de: Hierro, concreto armado, concreto presforzado.	Rigidizar las vigas longitudinales y transmitir las cargas a través del cortante vertical, el cual se transmite por apoyo directo de la losa sobre la viga y por medio del refuerzo.

5.3.3 PARTES GENERALES DE UN PUENTE

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	FUNCIONAMIENTO
JUNTAS	Tipos: Juntas de construcción Juntas de expansión Juntas de contracción	Asegurar que los movimientos totales del puente proyectado sobre la junta se realicen sin golpear o deteriorar los elementos estructurales. Permitir la continuidad de la capa de rodadura Permitir la evacuación eficaz de escorrentía de agua.

5.3.4 PARTES GENERALES DE UN PUENTE

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	FUNCIONAMIENTO
ESTRIBOS	Tipos: Estribo de extremo abierto Estribo de extremo cerrado Estribo monolítico Estribo tipo asiento	Transmitir las cargas del tablero hacia la cimentación; dar soporte lateral al terraplén, proveer protección contra erosión.
PILAS	Componentes principales: Fuste, cuerpo y cabezal. Construidos de mampostería, concreto armado, hierro. Sección. Sólido, hueca, redonda, octagonal, hexagonal o rectangular.	Ligar y transmitir las cargas horizontales y verticales a las cimentaciones. Permitir el paso del agua sin causar grandes turbulencias. Sirve de apoyo intermedio recibiendo la acción de dos tramos continuos.

5.3.5 PARTES GENERALES DE UN PUENTE

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	FUNCIONAMIENTO
CIMENTACIONES	<p>Tipos:</p> <p>Cimentaciones superficiales. Zapatas.</p> <p>Cimentaciones profundas. Cajones y cilindros de cimentación, pilotes.</p> <p>Losas de cimentación</p>	<p>Transmitir cargas al suelo; garantizar la estabilidad permanente de la estructura.</p>
OBRAS DE PROTECCION	<p>Pueden ser:</p> <p>Taludes</p> <p>Muros</p> <p>Losas de aproximación</p> <p>Emplantillados o badenes</p> <p>Disipadores de energía</p>	<p>Proteger la estructura principal del puente de amenazas ocasionadas por fenómenos naturales y de funcionamiento del puente en el transcurso del tiempo.</p>

5.3.6 PARTES GENERALES DE UN PUENTE

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	FUNCIONAMIENTO
DISPOSITIVOS DE APOYO	Tipos : Apoyos deslizantes Apoyos de rodillo Apoyo balancín y apoyo pasador Apoyos elastoméricos Apoyos curvados o esféricos Apoyos de anillos Apoyos de disco	Proporcionan conexión entre el tablero y pilas y estribos controlando la interacción de cargas y movimientos entre ellos.
TOPES ANTISISMICOS	Se construyen integradamente con el concreto de la losa principal; son de concreto reforzado. Se ubican debajo de los separadores y entre una viga y otra.	Sirven para reducir el desplazamiento transversal que pudiera llegar a ocurrir en el caso de un sismo fuerte.

5.3.7 PARTES GENERALES DE UN PUENTE

ELEMENTO	CARACTERISTICAS	FUNCIONAMIENTO
BARRAS ANTISISMICAS	Elementos empotrados en la losa de hierro grado 60.	Sirven para que en caso de sismo, las vibraciones de estribos y tablero ocurran lo más armónico posible, evitando que vigas y apoyos se separen durante el terremoto y caigan al vacío.
ILUMINACION SEÑALIZACION	Tipos: color rojo, verdes, blancas cumpliendo cada una una función particular. Señalización Vertical. Constituida por señales viales y de información sobre el puente ubicadas en vallas. Señalización horizontal. Son señales de información sobre la capa de rodadura.	Mejorar la visibilidad a los conductores y peatones en horas nocturnas. Sirven para indicar al usuario las limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que regulen el tránsito, u otra información adicional.

5.4 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

TABLA 5.4.1 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PRIMERA ETAPA: BASES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<p>CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL DISEÑO DE PUENTES</p>	<p>Una estructura es diseñada y construida para: 1) que sea capaz de soportar todas las acciones (fuerzas, deformaciones o aceleraciones) que puedan solicitarla durante su construcción y uso en el período de vida útil previsto, 2) cumplir la función para la que ha sido construida con costos de mantenimiento aceptables.</p> <p>Cargas a imponer:</p> <p>Carga muerta. Constituida por el peso propio de la estructura, incluyendo la carpeta asfáltica, acera, parapetos, tuberías, conductos, cables y demás instalaciones para servicios públicos.</p> <p>Carga viva móvil. Consiste en el peso de la carga móvil aplicada, se expresa en términos de carriles de diseño y carriles de carga.</p> <p>Cargas para calzadas. Los elementos portantes y piezas de puentes se diseñan con la carga de camión HS-20,HS-15, tomando las condiciones mas desfavorables.</p> <p>Cargas para guarniciones.</p> <p>Cargas sobre parapetos: se distinguen, parapetos para calzadas y parapetos para aceras.</p> <p>Cargas de impacto. Se deben al efecto dinámico de las cargas de un vehículo pasando sobre la estructura.</p>

5.4.1 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PRIMERA ETAPA: BASES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION	
CONCEPTO	DESCRIPCION
CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL DISEÑO DE PUENTES	<p>Fuerzas longitudinales. Producidas por la aceleración o frenado de los vehículos. Se considera el efecto de una fuerza longitudinal, el 5% de la carga en todos los carriles destinados al tránsito en una misma dirección.</p> <p>Cargas para acera. Los pisos y apoyos inmediatos a las aceras se proyectan para carga viva de 415Kg/cm².</p>

5.4.2 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PRIMERA ETAPA: BASES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION		
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS O PARAMETROS
<ul style="list-style-type: none"> SISTEMA ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES BASES PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION 	<ul style="list-style-type: none"> Es la estructura conjuntamente articulada como unidad, que resiste las cargas aplicadas transmitiendo las fuerzas a través de cada componente del sistema hasta llegar al suelo de la cimentación. Información de ingeniería básica. Son estudios que se requieren para la concepción de las alternativas de diseño del proyecto tal como estudios topográficos, hidráulicos, hidrológicos, geotécnicos, de costos e inversión. Elementos básicos de la ingeniería del proyecto. Basados en la arquitectura y condiciones locales para determinar las dimensiones y características de detalle del proyecto. 	<p>Sistemas utilizados: elementos rectos y curvos, formando bastidores, marcos, arcos, armadura, sistemas colgantes.</p> <p>El buen diseño contiene los siguientes aspectos: definición de necesidades y diagnostico, especificaciones de objetivos en la planeación general; alternativas de solución, proponiendo formas adecuadas para resolver el caso, se evalúan las alternativas (análisis) y se decide sobre una de ellas.</p> <p>El proyecto o la ingeniería del proyecto. En esta etapa se hacen modificaciones y correcciones en el diseño.</p> <p>Realización. Se termina y evalúa el diseño.</p>

5.4.3 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PRIMERA ETAPA: BASES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION		
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS O PARÁMETROS
<ul style="list-style-type: none"> CRITERIOS A SEGUIR EN EL DISEÑO 	<ul style="list-style-type: none"> Dimensionar la longitud suficientemente larga respecto a los límites más extendidos de la rivera del cauce en el punto de emplazamiento. Disponer de suficiente altura sobre el cauce del río respecto al N.A.M.E. Previo al diseño de la cimentación, efectuar sondeos para verificar el tipo de materiales del suelo existente, haciendo exploraciones profundas del subsuelo hasta lecho firme. Cimentar zapatas a profundidad mínima de cinco metros bajo el cauce del río. Dejar el fondo de las zapatas a un mínimo de 3 m abajo del lecho del cauce, en el caso de cimentación sobre pilotes. <p>Utilizar losas de aproximación a cada lado del puente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Todos los criterios descritos son de vital importancia para la buena realización de la obra. En el capítulo II se describen más criterios y su respectiva explicación.

5.4.4 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PRIMERA ETAPA: BASES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION		
CONCEPTO	DESCRIPCION	RESULTADOS O PARAMETROS
<ul style="list-style-type: none"> PARAMETROS QUE UTILIZA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PUENTES. 	<ul style="list-style-type: none"> Espaciamiento entre pilas, orientación y tipo. Las pilas de un puente se ubican de acuerdo con requerimientos de navegación, de manera que produzcan la mínima obstrucción a la corriente de agua a su paso. Ancho de calzadas y aceras. Será el ancho libre entre las partes inferiores de las guarniciones medida respecto al eje longitudinal del puente. El ancho de la acera será el ancho libre entre la cara interior del parapeto y la parte extrema de la guarnición o guardarruedas. Gálibos: de navegación, vehicular. Parapetos. Se instalan a ambos lados de la estructura del puente, para protección del tránsito y de los peatones. 	<p>En general, las pilas se colocan paralelas a la corriente.</p>

5.4.5 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE II: ESTUDIOS QUE SE REALIZAN		
CONCEPTO	DESCRIPCION	RESULTADOS O PARAMETROS
<ul style="list-style-type: none"> PARAMETROS QUE UTILIZA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PUENTES. 	<ul style="list-style-type: none"> Espaciamiento entre pilas, orientación y tipo. Las pilas de un puente se ubican de acuerdo con requerimientos de navegación, de manera que produzcan la mínima obstrucción a la corriente de agua a su paso. Ancho de calzadas y aceras. Será el ancho libre entre las partes inferiores de las guarniciones medida respecto al eje longitudinal del puente. El ancho de la acera será el ancho libre entre la cara interior del parapeto y la parte extrema de la guarnición o guardarruedas. Gálidos: de navegación, vehicular. Parapetos. Se instalan a ambos lados de la estructura del puente, para protección del tránsito y de los peatones. 	<p>En general, las pilas se colocan paralelas a la corriente del río.</p>

5.4.6 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE II: ESTUDIOS QUE SE REALIZAN		
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS O PARÁMETROS
<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIO HIDROLOGICO 	<ul style="list-style-type: none"> Permite conocer las cantidades de agua a recaudar, que fluye superficialmente en una área de recogimiento determinada o cuenca, evaluando parámetros físicos de la región como: área, perímetro, pendientes, elevaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Es necesario conocer el caudal y el nivel de aguas máximas extraordinarias en la sección natural del río, y en la sección del cauce del puente donde se interceptan los ríos o quebradas con los alineamientos de los caminos.
<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIO HIDRAULICO 	<p>Sirve para determinar el nivel de aguas máximas extraordinarias en el punto de interés, emplazamiento, y el área hidráulica más eficiente, con el fin de obtener el dimensionamiento hidráulico o predimensionamiento de la obra de paso.</p>	<p>En el estudio hidráulico se llega a determinar la sección hidráulica crítica, la que es capaz de dar paso, sin rebalsar el caudal de la cuenca, en la cual se utilizan parámetros de diseño que comparan un factor geométrico calculado a partir de sus dimensiones, con el factor hidráulico calculado en base al caudal de la cuenca, la rugosidad del cauce y la pendiente del río.</p>

5.4.7 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE II: ESTUDIOS QUE SE REALIZAN		
CONCEPTO	DESCRIPCION	RESULTADOS O PARAMETROS
<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIO GEOTÉCNICO 	<ul style="list-style-type: none"> Considera aspectos morfológicos, por ejemplo zona de planicie muy pronunciada; geomorfológicos, permiten conocer qué tipo de formación tiene la cuenca y constitución en estructura y materiales de soporte para las cargas que se impondrán y se transmitirán. 	<ul style="list-style-type: none"> Depósitos aluviales o erosivos, influencia hidrológica, aguas subterráneas en la cuenca; tectónico, el tipo de fallas geológicas.
<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIO DE SUELOS 	<p>La finalidad del estudio de suelos es determinar las condiciones que tiene el subsuelo en el punto de emplazamiento del puente, donde se colocan los estribos y losas de aproximación y pilas y otro elemento de soporte requerido par la cimentación del puente así como la estabilización del suelo de cimentación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Las características buscadas son: tipo de suelo, humedad, compacidad, densidad, carga máxima, ángulo de fricción interno del suelo, cohesión del suelo, límite líquido, límite plástico, asentamientos; fenómenos locales como licuación del suelo, tubificación, etc.

5.4.8 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE II: ESTUDIOS QUE SE REALIZAN		
CONCEPTO	DESCRIPCION	RESULTADOS O PARAMETROS
<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIOS TOPOGRAFICOS 	<ul style="list-style-type: none"> Los trabajos topográficos permiten elaborar los planos topográficos. Proporcionan información básica para los estudios de hidrología e hidráulica, geología, geometría, ecología y ambiental. Posibilita la definición precisa de la ubicación y las dimensiones de los elementos estructurales. Establecen puntos de referencia. 	<ul style="list-style-type: none"> En un informe sobre los estudios topográficos llevados a cabo para la construcción de un puente se reporta el nombre del río o barranca, camino correspondiente, tramos del camino en la cual se encuentra; origen del kilometraje; plano en planta a escala 1:200 en planimetría; posible paso y posición del eje de la vía principal.
<ul style="list-style-type: none"> HIDROGRAFIA E HIDROMETRIA 	<ul style="list-style-type: none"> Se refiere a la red fluvial que posee el país y que agrupa diversas cuencas hidrográficas que tienen características morfológicas y fisiográficas particulares. 	<ul style="list-style-type: none"> Volumen y lámina de agua caída, escurrida, disponible superficial y subterránea; flujos concentrados o retenidos de agua superficial o subterránea, caudal o volumen.

5.4.9 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE II: ESTUDIOS QUE SE REALIZAN		
CONCEPTO	DESCRIPCION	RESULTADOS O PARAMETROS
<ul style="list-style-type: none"> PUNTO DE CONTROL 	<ul style="list-style-type: none"> Es el sitio de interés de todo el estudio, donde se cruza un camino con el cauce o con otra vía donde se emplazará el puente. 	<ul style="list-style-type: none"> Por este punto pasa el agua que es recogida y drenada por toda la cuenca. Se determina el caudal de agua que pasa por este punto, a través del estudio hidrológico y se llega a establecer la altura que alcanza en los taludes para establecer la cota inferior del tablero del puente.
<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIOS FINANCIERO COMERCIALES 	<ul style="list-style-type: none"> Estos estudios contienen lo siguiente: jornales medios en la región para diferentes categorías de empleo; precios unitarios de los diversos materiales en el lugar de la obra; ubicación de los diferentes bancos de materiales; vías de comunicación más próximas; enfermedades comunes de la región 	<ul style="list-style-type: none"> Este estudio tiene que acompañarse de fotografías recientes que den fe de la veracidad del informe.

5.4.10 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE II: ESTUDIOS QUE SE REALIZAN		
CONCEPTO	DESCRIPCION	RESULTADOS O PARAMETROS
<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIO DE RIESGO SISMICO 	<ul style="list-style-type: none"> Estos estudios contienen lo siguiente: Jornales medios en la región para diferentes categorías de empleo; precios unitarios de los diversos materiales en el lugar de la obra; ubicación de los diferentes bancos de materiales; vías de comunicación más próximas; enfermedades comunes de la región Tienen como finalidad determinar los espectros de diseño que definen las componentes horizontal y vertical del sismo a nivel de la cota de cimentación. 	<ul style="list-style-type: none"> El alcance de estos estudios depende de la sismicidad donde se ubique el puente, el tipo de puente y su longitud, y las características del suelo así como, las condiciones geológicas y geotecnicas locales en el punto de emplazamiento.

5.4.11 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE III: REALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO		
CONCEPTO	DESCRIPCION	RESULTADOS O PARAMETROS
<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO CONCEPTUAL 	<ul style="list-style-type: none"> • Es el diseño que resulta de la evaluación de varias alternativas del proyecto particular, conocido como diseño del proyecto. Se elaboran planos y especificaciones presentados, antes de iniciar la construcción. Estos, pueden ser modificados durante la construcción. 	
<ul style="list-style-type: none"> • PLANOS DE TRABAJO 	<ul style="list-style-type: none"> • Los planos constructivos son utilizados después de revisados y aprobados por la supervisión, son complementados con los planos de taller elaborados durante la construcción por el realizador, asumiendo la responsabilidad de su coherencia con los planos constructivos iniciales y especificaciones técnicas del proyecto. 	
<ul style="list-style-type: none"> • LUGAR DE COLOCACION 	<p>Para definir la ubicación del puente se toman en cuenta aspectos como la economía de la estructura, menor luz posible, fundaciones a poca profundidad, permanencia del cauce; sin embargo, lo que define finalmente su ubicación está determinada por el eje del río o camino bajo el puente y eje del camino al cual se le va a dar continuidad.</p>	

5.4.12 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE III: REALIZACION DE LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> INSPECCIONES DEL SITIO 	<ul style="list-style-type: none"> Las visitas de campo e inspecciones del sitio son hechas por el realizador para examinar todas las condiciones existentes, informarse de la naturaleza y localización del trabajo, personalmente, conocer las condiciones locales, para no interferir en las operaciones del propietario y pobladores del lugar.
<ul style="list-style-type: none"> PREPARATIVOS DEL SITIO 	<p>Comprende las siguientes actividades: eliminación y remoción del sitio de la construcción todos los árboles, según estudio previo, tal que no obstaculicen la construcción; remoción de árboles troncos, raíces y otros materiales inservibles dentro del área donde se construirán terraplenes; limpieza y chapeo, se realiza con cuadrillas de personal, utilizando herramientas manuales; dentro de las zonas en que haya que efectuar excavación, se elimina hasta su profundidad no menor que 1m, todos los troncos y raíces; las áreas a cubrir con terraplenes de tres o menor altura ($h \leq 3m$) se destronan y desenraizan hasta 1m bajo la superficie del terreno natural; en las áreas que queden fuera de los límites de construcción, en secciones pantanosas o cenagosas, se cortan los árboles al ras del suelo o del agua; colocar barricadas y avisos de peligro; cuando se utilicen explosivos, el realizador solicita permiso por escrito al supervisor siempre que cumpla con los requisitos legales y reglamentarios correspondientes.</p>

5.4.13 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE III: REALIZACION DE LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> • TOPOGRAFIA Y TERRACERIA 	<ul style="list-style-type: none"> • Los trabajos de topografía se utilizan para realizar replanteo, localizaciones de bancos de marca, chequeos horizontales y verticales de los elementos que componen la obra. Los trabajos de terracería comprenden las actividades de excavaciones, que se refieren al movimiento de todo material de cualquier naturaleza (material suelto, roca suelta y roca fija) y su ubicación, que es necesario remover para proceder a la construcción de cimentaciones. Rellenos, se refiere al movimiento de tierra a realizar para completar los espacios excavados y que no son ocupados por las cimentaciones. Son construidos hasta las líneas, rasantes y secciones transversales que indican los planos constructivos; eliminación de material excedente, el material de relleno que no es utilizado para trabajos de compactación es desalojado y depositado en otro lugar donde no ocasione obstrucción a la construcción.
<ul style="list-style-type: none"> • ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOLOGIA DEL LUGAR 	<p>Se realizan trabajos de campo en los que se reporta con detalle la ubicación del río, ancho proyectado del puente, tipo de muestras, pruebas y sondeos, profundidad y ubicación exacta de los mismos, memoria fotográfica para determinar condiciones y parámetros de diseño, así como demás consideraciones geológicas, geotécnicas y tectónicas.</p>

5.4.14 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE III: REALIZACION DE LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO	
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • INSTALACIONES PROVISIONALES 	<ul style="list-style-type: none"> • Son construidas de acuerdo con las condiciones existentes del lugar de construcción, el tamaño y duración del proyecto. Entre las actividades que se realizan están: montar el plantel de construcción, construir instalaciones para permanencia de los trabajadores, así como lugares de alimentación de los mismos y propiciar todas las facilidades médicas, sanitarias y para protección necesarias para el desarrollo de los trabajos. La ubicación de las oficinas de construcción están de acuerdo con las visitas de campo, planos de conjunto del proyecto y estrategias de optimización de tiempo y recursos disponibles.
<ul style="list-style-type: none"> • TRAZO Y NIVELACION 	<ul style="list-style-type: none"> • Comprende todas las actividades necesarias del trazado para obtener posición y ubicación de puntos; de geometría requerida, así como niveles indicados en los planos constructivos o los que señale la supervisión. Se hace el traslado de bancos de marca para referencia durante la construcción de la obra, esto generalmente se realiza utilizando equipo topográfico y estacas que representan la ubicación y nivel de un punto específico de cualquier elemento.

5.4.15 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE IV: OPERATIVIDAD DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> EXCAVACIONES 	<ul style="list-style-type: none"> Preparativos. Antes de iniciar cualquier actividad de excavación, el contratista notifica con suficiente anticipación al supervisor, para rectificar elevaciones, medidas de las secciones transversales del terreno original y que el terreno natural contiguo no sea afectado o alterado sin la autorización del ingeniero o del supervisor. Las sobreexcavaciones son de responsabilidad del contratista y si se realiza excavaciones en roca, el contratista presenta un diseño de voladuras para restringir la voladura al prisma de excavación y no alterar la estructura de la roca al nivel de la cimentación. Acabados. Se realizan nivelaciones del fondo de las cimentaciones rebajando los puntos por encima de la cota de cimentación, evitando rellenar debajo de la cota establecida. <p>Controles. Caso I. Puente sobre otra vía de circulación o quebrada seca. Para controlar la calidad del trabajo realizado, el contratista además de contar con personales con experiencia y capacidad, comunica al supervisor cualquier situación anómala en la realización de los trabajos, ya sea por motivos ajenos a su responsabilidad, o causada por él, particularmente cuando se encuentran condiciones de cimentación distintas a las previstas en el diseño; o de rellenar los niveles en caso de sobreexcavaciones.</p>

5.4.16 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE IV: OPERATIVIDAD DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> EXCAVACIONES 	<ul style="list-style-type: none"> Controles. Caso II. Puente sobre una corriente de agua. Uno de los controles de mayor importancia, en este caso, es el control del nivel freático. Se tiene que instalar un sistema que garantice que todas las aguas de escurrimiento y del nivel freático sean evacuadas a un cauce natural o dren. Es recomendable realizar las excavaciones sin alterar el lecho natural de la corriente contigua a la construcción y éstas se localicen afuera de cajones de aire comprimido (campanas neumáticas), encofrados, ataguías y tablestacado salvo que sea autorizado por la supervisión.
<ul style="list-style-type: none"> RELLENO Y TERRAPLENES PARA LAS CONSTRUCCIONES 	<ul style="list-style-type: none"> Realizados para trabajos de corte y excavación. Colocadas las estacas que marcan los niveles, se evalúa en obra las condiciones del suelo de cimentación. Si el suelo de cimentación no corresponde a suelo firme ni a roca, se escoge una alternativa de solución; entre las más aplicables están las siguientes: reponer el suelo deficiente por suelo compactado mecánica o manualmente, reponer el suelo deficiente con concreto ciclópeo o concreto pobre, bajar el nivel de solera de zapata, una combinación de las anteriores. El relleno de las zonas excavadas alrededor de las construcciones se hace en capas que no excedan de 6 pulgadas (15 cm) de profundidad hasta el nivel original del terreno.

5.4.17 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE IV: OPERATIVIDAD DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> COLOCACION DE LA CIMENTACION 	<ul style="list-style-type: none"> Cimentaciones superficiales. Antes de colocar la estructura que conformará la cimentación, es necesario acondicionar la zona donde se colocará, de modo que la zanja o foso tenga condiciones similares a las consideradas en el diseño. El relleno de las zonas excavadas alrededor de las construcciones se hace con suelo sano o selecto aprobado por la supervisión, esto en capas horizontales que no excedan de 6 pulgadas (15cm) de profundidad, hasta el nivel original del terreno. La construcción de zapatas aisladas o corridas se realiza efectuando los preparativos generales del terreno de apoyo como son: el abatimiento del nivel freático (en caso de existir); posicionamiento del equipo de excavación, excavación sistemática y tratamiento previo del terreno, en todos los casos. Una vez terminado los preparativos del terreno se procede al armado y colocación del hierro estructural según los planos y especificaciones. Es conveniente, que todas las cimentaciones sean provistas de encofrados para su llenado, exceptuando aquellas en que el suelo sea rocoso. Los preparativos de los encofrados son: revisar que los moldes sean herméticos al mortero y suficientemente rígidos, revisar el cepillado de la madera de la cimbra de todas las superficies expuestas al concreto, tratar los moldes con aceite quemado, antes de colocar el refuerzo y lavarlos con agua antes de colocar el concreto. Las consideraciones para moldes de madera son aplicables a moldes metálicos.

5.4.18 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE IV: OPERATIVIDAD DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> • COLOCACION DE LA CIMENTACION 	<p>Antes de colocar el concreto, el ingeniero residente notifica 24 horas antes de que inicien las operaciones de colado, de tal forma que el supervisor pueda comprobar las condiciones de la cimbra, el refuerzo y la calidad requerida. El método de secuencia del colado se realiza según el orden detallado en la programación de obra aprobada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cimentaciones profundas. Cajones y cilindros de cimentación. Los métodos de construcción más empleados son: método del pozo indio, Utilizado en cauces con pequeños tirantes de agua o secos; método de labor manual, técnica primitiva que únicamente es factible cuando el nivel de agua dentro del hueco se puede controlar fácilmente, excavándose con herramienta manual y extrayendo el material desde la parte superior mediante un recipiente por un malacate o draga; método con eyector, método con bombas hidráulicas, método con lastre, método con chiflones de aire o agua, método con dinamita, método con buzos. <p>Cimentaciones piloteadas. La construcción de pilotes se realiza mediante perforadoras que permiten excavar, en forma de barreno cilíndrico, el subsuelo hasta la profundidad requerida.</p>

5.4.19 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE IV: OPERATIVIDAD DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> • COLOCACION DE BASES PARA ESTRIBOS Y PILAS 	<ul style="list-style-type: none"> • Preparado. El ingeniero residente notifica al supervisor con 24 horas de anticipación el inicio del colado. <p>Colado. El colado puede realizarse con concreto premezclado o colado in situ. Los elementos son colados monolíticamente, sin interrupciones. Para obtener un colado uniforme se dejan ventanas correriza, en el encofrado, para permitir la introducción de vibradores.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • CONSTRUCCION DEL TABLERO 	<ul style="list-style-type: none"> • Se preparan reglas para enrazar, escantillón manual o enrazadores mecánico y las herramientas de acabado aprobadas por el ingeniero residente, para nivelar y dar el acabado a la superficie de la losa, según lo indicado en los planos. El refuerzo se coloca longitudinal y transversalmente. La varilla superior se refuerza transversalmente para distribuir lateralmente la carga viva, y como margen de seguridad en caso de que la losa se deteriore y la varilla quede al descubierto, lo cual pueda causar daños a los vehículos o producir accidentes. El colado de losas de puentes, vigas secundarias que se unen con las principales de una superestructuras y las aceras contiguas, se realiza en una sola operación, a menos que en los plano y/o especificaciones se indique de otra forma. <p>Vigas de concreto. El concreto se coloca en una sola operación, depositando el concreto uniformemente, en capas horizontales a todo el largo de la viga.</p>

5.4.20 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE IV: OPERATIVIDAD DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> • CONSTRUCCION DEL TABLERO 	<ul style="list-style-type: none"> • Vigas acarteladas. Para vigas acarteladas con ménsulas de menos que 1m de alto, el concreto se coloca al mismo tiempo que el vástago o nervio de la viga, cortando las pilas, o los cabezales de las pilas o estribos de tal manera que formen los apoyos de las cartelas. • Vigas “T”. El concreto se coloca en operación continua, conjuntamente con la losa. Sin embargo, las vigas “T” con luces mayores que 10m y/o peralte mayor que 1.20m, pueden ser coladas en dos operaciones. • Vigas cajón. El concreto puede ser colado en dos o tres operaciones separadas. En todo caso, se hace el colado de la losa del fondo, asegurando la unión mecánica con las vigas laterales. • Acabados de la losa. Enrasado manual, enrasado mecánico, alisado, alisado longitudinal, alisado transversal, nivelación final con escantillón, texturizado o ranurado.
<ul style="list-style-type: none"> • SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACION 	<ul style="list-style-type: none"> • La impermeabilización del tablero consiste en la aplicación de un tratamiento superficial para constituir una membrana protectora que impida el paso del agua que se filtra por la capa de aglomerado asfáltico, evitando que penetre en la masa de concreto a través de fisuras de retracción, juntas de construcción, o a través de la porosidad del concreto.

5.4.21 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE IV: OPERATIVIDAD DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> • CONSTRUCCION DE SUPERFICIE DE RODADURA 	<ul style="list-style-type: none"> • La capa de rodadura puede ser de concreto o mezclas bituminosas. El contrapiso o capa de rodadura de concreto se construye de acuerdo a las especificaciones y planos constructivos. Generalmente, el colado se realiza simultáneamente con el colado de la losa principal, dejándole a ésta el espesor y refuerzo correspondiente a la capa de rodadura.
<ul style="list-style-type: none"> • CONSTRUCCION DE BARANDALES 	<ul style="list-style-type: none"> • El concreto para barandales de concreto se coloca después de haber removido los puntales y demás obra falsa y formaletas en toda la luz. En la elaboración de barandales se revisa que los moldes utilizados sean lisos y apretados, que puedan sostenerse rígidamente a la alineación y rasante y demás que puedan ser removidos sin dañar el concreto.
<ul style="list-style-type: none"> • CONSTRUCCION DE DRENAJES 	<ul style="list-style-type: none"> • Los elementos y dispositivos utilizados para conducir el agua superficial son: cunetas, goteras, ductos internos, transiciones entre peralte, impermeabilizaciones de superficie, etc. • Para determinar el diseño y construcción de los dispositivos adecuados, según los requisitos del proyecto, se consideran los siguientes elementos: recogida y evacuación, evacuación de aguas superficiales en calzada,

5.4.22 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE IV: OPERATIVIDAD DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> • CONSTRUCCION DE DRENAJES 	<p>evacuación de aguas superficiales en zonas anexas y cunetas, dispositivos de drenaje, desagües, drenaje en juntas de dilatación y estribos.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • CONTROLES Y MANTENIMIENTO 	<ul style="list-style-type: none"> • Los controles generales de construcción se relacionan con la calidad de los materiales y procesos como limpieza con agua, de canaletas y tuberías de concreto endurecido, después de cada colada.
<ul style="list-style-type: none"> • CONTRUCCION DE CUNETAS Y ACERAS 	<ul style="list-style-type: none"> • Cunetas. Pueden ser construidas de concreto simple coladas en el sitio, concreto pre-colado, o mezclas asfálticas. Las cotas de cimentación, dimensiones tipos y formas de las cunetas revestidas, son indicadas en los planos o por el ingeniero residente. • Aceras. Pueden ser construidas de concreto de cemento hidráulico, mezclas asfálticas y de ladrillo, sin embargo, en los puentes se construyen del mismo material que el utilizado para construir el tablero.
<ul style="list-style-type: none"> • CONSTRUCCION DE LOSAS DE APROXIMACION 	<p>El diseño de la losa es detallado en los planos y especificaciones del proyecto. Una vez aprobado el inicio de esta actividad se procede a revisar las condiciones del terreno, principalmente, sobre el cual se construirá la losa.</p>

5.4.23 GUIA DE APOYO DEL MANUAL PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO

PARTE IV: OPERATIVIDAD DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	
CONCEPTO	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> • CONSTRUCCION DE JUNTAS 	<ul style="list-style-type: none"> • Se localizan de acuerdo con las condiciones establecidas en los planos o según sea indicado por el ingeniero residente y supervisión. Las juntas pueden ser abiertas o cerradas.
<ul style="list-style-type: none"> • PERNOS DE ANCLAJE 	<ul style="list-style-type: none"> • Los pernos de anclaje se colocan durante el colado del concreto, en agujeros formados durante su aplicación, o en agujeros taladrados después del fraguado.
<ul style="list-style-type: none"> • AGUJEROS DE ALIVIO 	<ul style="list-style-type: none"> • Se disponen agujeros para drenaje en todos los estribos, muros de retención y alcantarillas con altura mayor que 1.50m, los agujeros para drenaje se diseñan con diámetro mínimo de 75mm y se colocan a distancia no mayor que 3.0m ó según lo especificado en los planos.

5.5 EVALUACION TECNICA DE LOS PUENTES DE CONCRETO

TABLA 5.5.1 CRITERIOS RESPECTO A PROCESOS CONSTRUCTIVOS

PUENTES DE CONCRETO REFORZADO		PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO	
COLADO IN SITU	PREFABRICADO	PRETENSADO	POSTENSADO
Se aplica en claros cortos en los puentes tipo viga, losa y tipo cajón, cuando es factible la utilización de obra falsa por la disponibilidad de materiales y mano de obra en el sitio; cuando el nivel de altura permite realizar el colado en la obra utilizando camiones bomba para el colado; en claros cortos de geometría curva por su adaptabilidad a curvas verticales y horizontales.	Los puentes de concreto reforzado prefabricado con losa, vigas "I" y "T", tienen aplicación en puentes de carretera en claros cortos de 15-25m cuando no es factible utilizar obra falsa, no se tenga materiales locales disponibles o cuando el espacio sea limitado para operar maquinaria de colado en el sitio.	COLADO IN SITU Se aplica en puentes de claros cortos y medianos, cuando se requieren vanos sucesivos y el nivel del puente permita el encofrado en el sitio; cuando el acceso al proyecto no sea factible para el transporte de los elementos pretensados a la obra ya sea porque esta en malas condiciones o por que los costos de transporte, montaje e	COLADO IN SITU Se utiliza cuando se requiere ampliar, remodelar o reforzar estructuras existentes en vigas tipo "T" e "I"; en puentes de claros largos utilizando el método de cimbras deslizantes con vigas cajón; cuando el espacio es limitado para realizar las operaciones de colado en el sitio (ej: zonas urbanas); combinado con el pretensado para reducir los efectos de contraflecha.

5.5.1 CRITERIOS RESPECTO A PROCESOS CONSTRUCTIVOS

PUENTES DE CONCRETO REFORZADO		PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO	
COLADO IN SITU	PREFABRICADO	PRETENSADO	POSTENSADO
		<ul style="list-style-type: none"> • COLADO IN SITU <p>instalación sean más costosos que la elaboración in situ; cuando se cuente con espacio y equipo localmente para realizar el colado y tensado en el sitio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PRECOLADO <p>Se aplica; cuando no se cuenta con equipo adecuado para el transporte, manejo e instalación; en la construcción de puentes tipo arco de claros largos utilizando la técnica de dovelas sucesivas.</p>

5.6 RESUMEN DE METODOS, TECNICAS Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN PUENTES DE CONCRETO

5.6.1 PUENTES DE CONCRETO

PUENTES DE CONCRETO REFORZADO		
CARACTERISTICAS	METODOS CONSTRUCTIVOS	PROCESOS O TECNICAS CONSTRUCTIVAS
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizados en cualquier tipo de carretera desde caminos rurales hasta autopistas. • La construcción resulta económica para claros cortos y medianos. • Pueden construirse puentes de losa, de vigas T y de vigas cajón • Los materiales y la mano de obra es fácil adquirirla. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción moldes de madera. • Construcción con moldes metálicos. En este caso la utilización de madera se usa como elemento complementario. 	<p>El diseño estructural define la secuencia de los pasos a seguir la construcción del puente. En puentes colados “in situ” se utilizan camiones bomba y ductos para la colocación del concreto, empleo de encofrados metálicos y de madera o una combinación de ambas para conformar la obra falsa de la estructura principal del puente. En este tipo de construcción es necesario espacio para la ubicación y manejo del equipo y materiales.</p>

5.6.2 PUENTES DE CONCRETO

PUENTES DE CONCRETO PRETENSADO		
CARACTERISTICAS	METODOS CONSTRUCTIVOS	PROCESOS O TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS
<p>El concreto pretensado fue inventado por Freyssinet ya que con este sistema pueden superarse los claros construidos con el concreto reforzado y además el tiempo y el costo de realización son mucho menores, convirtiéndose en una forma económica de construir puentes. Se aplica en tableros con secciones tipo “I”, “T”, viga cajón, “U” y losas aligeradas.</p>	<p>Los métodos se establecen de acuerdo con el proceso de construcción del tablero, así, el método se refiere a la construcción del tablero en el sitio o a su montaje e instalación si es prefabricado. Los factores que influyen directamente en los métodos son el económico y el tiempo de realización. Por ejemplo, las vigas y losetas se elaboran en una planta fuera de la obra y se llevan a la obra en el momento justo antes de su colocación, de esta forma se evitan inconvenientes a vecinos y usuarios aledaños a la obra.</p>	<p>Las técnicas se refieren a la construcción del tablero. Para la construcción de tableros colados en el sitio se emplea la técnica de la cimbra deslizante, utilizando carros de lanzamiento, empuje del dintel, pero si los elementos son prefabricados se emplean carros de lanzamiento, grúas mecánicas, de igual forma para colocar los barandales.</p>

5.6.3 PUENTES DE CONCRETO

PUENTES DE CONCRETO POSTENSADO		
CARACTERISTICAS	METODOS CONSTRUCTIVOS	PROCESOS O TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS
<ul style="list-style-type: none"> •La construcción de los elementos portantes se hace “in situ”, ejemplo son las vigas, diafragmas y losa. •Con este sistema se logran cubrir claros mayores a los realizados con puentes de concreto reforzado. •Ahorro notable de hierro ya que las secciones son más pequeñas comparadas con las de concreto reforzado. 	<p>La construcción de los miembros postensados se realiza vaciando el concreto dentro de las formas de las vigas, los cables se colocan sin tensar dentro de ductos o vainas de fleje laminado, quedando embebidos en el concreto.</p> <p>Cuando el concreto ha alcanzado la resistencia especificada, se efectúa el tensado de cables, en igual forma que el pretensado.</p>	<p>En la construcción de concreto postensado, se aprovechan al máximo las características de los materiales, es decir la alta resistencia a la compresión del concreto. El preesfuerzo es transmitido al concreto a través de unas placas especiales de anclaje, colocadas en los extremos de la estructura.</p>

5.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN PUENTES DE CONCRETO

PUENTES DE CONCRETO.

VENTAJAS

- Tiene aplicación en viaductos y acueductos.
- El uso de puentes de concreto está justificado por su economía en claros cortos y medianos (8m hasta 45m), cuando las condiciones locales favorecen el aprovechamiento de recursos materiales y mano de obra.
- El mantenimiento es de bajo costo.
- Fácil adaptabilidad a curvas verticales y horizontales.
- Es factible la construcción en puentes de nivel bajo donde sea factible la utilización del encofrado.
- En zonas de difícil acceso, la construcción de puentes de concreto, permite el ahorro de costos de transporte y montaje de elementos prefabricados.
- No requiere mano de obra y equipo sofisticado lo cual es una ventaja que reduce costos.
- El diseño no es complejo, en comparación con los diseños empleados en los puentes presforzados
- En los puentes cajón, particularmente se evita el uso de dispositivos de apoyo.

DESVENTAJAS

- Las deformaciones del concreto en tensión no son compatibles con las que se originan en el hierro de refuerzo, por lo que es necesario limitar los

esfuerzos en el concreto a valores menores que los que puede desarrollar el concreto (varían de $0.10f'_c < f'_{ct} < 0.20 f'_c$); así, en claros largos es necesario utilizar secciones anchas y peraltadas y abundante armadura para absorber los esfuerzos a tensión inducidos.

- Por su bajo costo, los puentes de concreto se dan por subcontrato, lo que limita la capacidad de realizar todos los estudios necesarios, controlar la calidad de los procesos y prever medidas de seguridad.
- La construcción de puentes de concreto requiere utilizar encofrado en la obra, lo que puede ser costoso cuando localmente no se dispone de la madera o moldes apropiados.
- La remodelación, ampliación o reforzamiento requiere complejidad de diseño y estructuras peraltadas, lo cual en muchos casos resulta costoso.

PUENTES PRESFORZADOS

VENTAJAS.

- Permite el control de deflexiones y agrietamiento en las secciones de los elementos constituyentes del tablero.
- Es factible la construcción de puentes de concreto en claros medianos y largos sin que esto implique mayores costos.
- Permiten reducir la magnitud de las vibraciones dinámicas de la estructura.

- Mejor control de calidad y rapidez en la construcción, por que los elementos se elaboran en partes por separado y se prevé la facilidad de ensamblaje de los elementos constitutivos del tablero.
- Por por la condición de impermeabilidad del concreto presforzado los puentes así construidos tienen mayor la durabilidad en ambientes agresivos. (por ejemplo, ambiente marino).
- La industrialización de algunos elementos principales del puente, permite ahorrar costos de tiempo de elaboración, colocación y montaje.
- Su uso es factible cuando el espacio es limitado para la utilización de equipo de colado “in situ”, por ejemplo en zonas urbanas.

DESVENTAJAS.

- Resulta costoso en puentes de claros cortos o de bajo nivel en comparación con los puentes de concreto reforzado colados “in situ”.
- Cuando el acceso al proyecto es inadecuado o cuando no se cuenta con maquinaria apropiada para la colocación de las piezas, la construcción de puentes presforzados incrementa sus costos.
- Los puentes presforzados requieren mayor complejidad de diseño.
- Requieren mayor calidad en materiales, especialmente hierro y concreto, con altas resistencias y utilización de aditivos superfluidificantes, por consiguiente, mayores costos.

- Requiere mayor control en los procesos de fabricación, cualquier error de fabricación, o retraso en la entrega de los materiales puede significar pérdidas o más costo al proyecto o atrasos en el desarrollo del mismo.

5.8 CONCLUSIONES

Es importante, que los constructores se actualicen tecnológicamente en los procesos constructivos normas, materiales y el control de calidad e impacto ambiental, para hacer el mejor uso de los recursos, bajar los costos de construcción y proveer estructuras durables. La variedad de procesos constructivos, técnicas y recursos limitados hace que el constructor compare costos de mano de obra, materiales, procesos y la combinación de ellos; notando que el uso de moldes metálicos disminuye costos respecto a la madera; sin embargo, los moldes de madera se usan como complementariamente por su facilidad de adaptación y moldeo en la obra.

La tecnología y procesos constructivos del presforzado no ha hecho desaparecer al concreto armado. El concreto presforzado superó a la armadura pasiva por la activa, presforzando longitudinal y transversalmente, al inicio; posteriormente se compatibilizaron ambas tecnologías, la armadura activa se emplea para resistir los esfuerzos principales y la pasiva los esfuerzos secundarios. Puentes losa con luces de hasta 20 m se pueden hacer exclusivamente con armadura pasiva, asegurándose de la fisuración permisible de acuerdo con las normas correspondientes.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONSIDERACIONES

1. Un puente es la estructura que supera el paso de un tramo discontinuo, se utiliza en la vía de comunicación para salvar un río, una depresión de terreno u otra vía de comunicación. El alineamiento es igual o conformativo con el camino o vía al cual dan paso; esto significa, que en ciertas ocasiones el puente es construido en la formación de un camino ya existente y es conformativo cuando existen condiciones que obligan a cambiar la dirección del eje de la estructura. La morfología, e hidrografía, topografía del terreno, aguas subterráneas y el fin de uso son condiciones que hacen modificar el curso original de la estructura, adaptándola para lograr mejor funcionalidad de la obra. Los elementos esenciales que lo constituyen son, estribos, tableros y barandales, utilizados para dar estabilidad estructural y seguridad a los usuarios que se trasladan a través de estas obras.

Es importante hacer notar, que a la fecha, en el país en áreas rurales principalmente, se práctica el uso de estribos de mampostería de piedra y lo que fundamentalmente ha hecho cambiar la tecnología moderna es el tablero, barandales y drenaje y la filosofía de diseño para más cobertura extendida, en longitud, seguridad, estética, adaptación, simplificación, etc.

2. Históricamente, se han desarrollado diversas y variadas formas de construcción en los elementos que conforman los puentes de concreto. Los constructores, a través de experiencias han creado los métodos constructivos y criterios propios donde se describen sistemáticamente los pasos a seguir para construir cada elemento que forma parte del sistema estructural.

3. Actualmente las vigas, pilas y losas son diseñadas admitiendo cierto grado de tensión, e incluso agrietamiento limitado en la técnica del concreto presforzado.

El diseño de puentes está basado en datos e información meteorológica, agronómica, geológica, topográfica, geotécnica y económica. De ahí que sea importante el criterio del proyectista, sobre todo, en casos muy particulares del diseño, construcción y funcionamiento, además, la experiencia y conocimiento de los sistemas constructivos que se puedan adaptar a las soluciones atípicas.

4. En la práctica, el camión HS20-44 es un HS20 al cual se añadió un tercer eje transversal más pesado. El HS20-44 es el camión para el diseño de los puentes para autopistas y carreteras de primero, segundo y tercer orden, aunque ocasionalmente pueden utilizarse camiones menos pesados para vías de comunicación internas en grandes extensiones privadas. Cada carril del puente (de 10 pies de ancho) es cargado con un HS20-44, ubicado en distintas posiciones para obtener el efecto máximo sobre cada elemento del puente. Generalmente, el tren de cargas concentradas HS20-44 domina el diseño de los elementos estructurales con distancias, entre apoyos, pequeñas y moderadas, en vigas y losas longitudinales hasta 35m. de luz.

Para grandes luces, las cargas distribuidas equivalentes son las que definen el diseño.

La relación peralte- claro en vigas cajón, para claros continuos es de 0.055, y en claros simples 0.065 mientras que en vigas "T" e "I", en general, la relación peralte-claro varía de 0.065 a 0.075 por lo que se obtienen menores peraltes con vigas cajón.

5. Las fuerzas laterales son: presión debida al viento sobre la superestructura; presión debida al viento sobre la pila, se tomará con intensidad de 100kg/m^2 sobre el área expuesta (considerando los niveles de aguas máximas y mínimas); presión de hielo (si hay); presión debida al agua.

Fuerzas longitudinales. Frenaje, se considera el 5% de la carga móvil aplicada a la distancia de 1.20m. sobre la rasante del camino.

6. La rigidez es una característica estructural fundamental en los puentes para juzgar la deformación de los elementos estructurales sometidos a las cargas de funcionamiento así como el grado de fisuración o agrietamiento. La rigidez, permite evitar posibles colapsos en el funcionamiento futuro de estas obras (A.A.S.H.T.O.); la presión del viento, se considera con intensidad de 100kg/m^2 sobre el área expuesta (generalmente despreciable).

7. La resistencia utilizada como parámetro de diseño para estructuras de concreto presforzado es mayor que 28Mpa. Para elementos precolados no expuestos a la intemperie ni en contacto con el suelo, se utiliza concreto clase 28, diseñado para alcanzar la resistencia mínima, (85% del total) a los 28 días después de clado

respecto a 4000lb/in^2 (280kg/cm^2), mientras que para elementos expuestos a la intemperie, se utiliza concreto clase 35, diseñado para alcanzar la resistencia de 5000lb/in^2 (350kg/cm^2). Esta resistencia se obtiene utilizando relación agua-cemento de 0.45 y para facilitar el proceso de colado, se deja el revenimiento de 5cm a 10cm. la verificación de las mezclas de concreto a utilizar en la obra, se hace por medio de mezclas de prueba in situ o en laboratorio y se somete a la aprobación del ingeniero residente, por lo menos 30 días antes de su empleo en la obra.

8. La aprobación de mezclas puede hacerse aún estando pendiente los resultados de ensayos de resistencia a 28 días basándose en los resultados de resistencia a los 7 días, siempre que éstos sean iguales o excedan el 85% de la resistencia. El revenimiento más empleado es 7.5cm, que se puede obtener con relación agua-cemento de 0.45, para lo que se requieren 10 sacos de cemento por metro cúbico de concreto.

9. Entre las funciones de los apoyos está permitir movimientos diferenciales de funcionamiento y de rotación, admisibles o mayores desplazamientos fortuitos. También son el soporte vertical de todas las cargas y transmisores de estas a estribos y cimentaciones.

10. Cuando la capa de rodadura está conformada con mezclas bituminosas, se controla que la temperatura de fabricación de la mezcla en caliente esté comprendida entre 140°C y 160°C , y que la pérdida de temperatura para la puesta en obra respecto a la fabricación, no descienda más de 20°C . Otro control es,

verificar que la densidad de la mezcla sea igual o superior al 97% de la obtenida aplicando a la fórmula de trabajo la compactación en el método Marshall según la norma NLT-159/75.

11. Puentes de arco contruidos sin encofrados. El proceso constructivo se desarrolla utilizando dovelas sucesivas que siguen la guía de un arco soportado por tirantes anclados a los estribos, los cuales se van sumando según sea la sujeción necesaria al incrementarse el peso de la estructura.

La geometría que adoptan las bóvedas es parabólica, circular, elíptica o la combinación de ellas. Todas estas formas, dependeran de las condiciones y magnitudes de las cargas a soportar, así como del material a base del cual estará construida, este puede ser, concreto simple, concreto reforzado, mampostería de piedra o bloque de concreto. La estructura puede ser prefabricada o realizada en el lugar de la obra, in situ.

6.2 CONCLUSIONES

1. El concreto en masa, concreto fresco, es el material que más se dispone en el país y el más económico para la construcción de puentes de concreto reforzado o presforzados. Estas tecnologías que cada vez están modificadas y mejoradas son las propiciadoras de:
 - a. Mejor desarrollo de métodos, técnicas, procesos constructivos, y de obras de infraestructura simple, complejas y pesadas, en el país.

- b. Reducen los costos de las obras y la inversión de los proyectos con más cobertura en longitudes de puentes y anchos de éstos.
 - c. Se resuelven problemas que con otros materiales alternativos no es posible o es mucho más costoso resolver.
 - d. Especialización de mano de obra y tecnología y recursos aprovechables.
2. El concreto reforzado y presforzado, con sus propiedades físicas, mecánicas ventajosas, estética y economía, han favorecido la construcción de puentes en el país. Los avances tecnológicos y las nuevas tecnologías mejoran y agilizan el diseño y construcción con mayor consistencia en aplicación de criterios y experiencias técnicas en la realización de los puentes que actualmente se construyen. Así mismo, las técnicas que se aplican en los procesos constructivos de las obras son fundamentalmente importantes respecto a la eficiencia, rendimiento; se ahorra tiempo de realización, se logra mayor eficiencia en la inversión de los proyectos y correspondientemente en sus respectivos montos de obra.
3. Los materiales con los que está conceptualizado el diseño de construcción, son sumamente importantes y que a la vez, estén todos bien definidos, de igual forma su calidad. Por lo cual, es necesario un control sistemático y continuo de éstos, así como de los procesos constructivos en que se aplican durante la realización de los puentes, esto, para satisfacción plena de los interesados y participantes del proyectos, contratista, propietarios,

comunidad, financiadores, y otros. Las pruebas de laboratorio garantizan que la construcción se realice cumpliendo con las normas y especificaciones establecidas para este fin, en los contratos. Así, el plan de control de calidad para obras civiles (PCC) es necesario que se tenga y aplique efectivamente en las obras que se construyen en el país.

4. El costo de un puente depende de los materiales a utilizar, así como de los métodos, técnicas, procedimientos, procesos constructivos a aplicar, previsto en el planeo y desarrollo de la construcción. El concreto, hierro y madera son los materiales primarios que no se dejan de utilizar por sencillo o complejo que sea el puente a construir y las tecnologías a utilizar, aún, que la construcción sea urbana o rural. Por lo cual, la alternativa elegida resulta de la estimación de costos más apegada al financiamiento disponible y a la obra que se quiere realizar.

6.3 RECOMENDACIONES

1. A los diseñadores, que el diseño final del puente sea el que se apege más a las verdaderas condiciones del sitio, encontradas en la inspección de chequeo o de condición final de emplazamiento del puente; de tal forma, que los cambios o modificaciones sean las muy mínimas durante se realice la obra.
2. Al constructor, que asuma efectivamente aplicando el plan de seguridad ocupacional de los trabajadores, dotando y obligando el uso por ejemplo de cascos, mascarillas, arneses, y por su incumplimiento de uso se apliquen las

normas correctivas que lleven a tal cumplimiento. También, evitar que los obreros tomen decisiones de responsabilidad diferente a su propia ocupación para lo que fue contratado ajustándose sólo a la decisión del jefe responsable de su área ocupacional en la actividad que le ha sido asignada y autorizada.

- 3 A la supervisión, desempeñar su rol verificando la calidad de los procesos de construcción que se llevan a cabo en los proyectos.
- 4 Para la entrega final del puente, antes de ponerlo en servicio, si la prueba de carga se requerirá, definirla previamente desde la formulación del proyecto, cómo se realizará para poder exigir la utilización del equipo apropiado respecto a la aprobación de la estructura como buena obra.
- 5 Sistematizar y actualizar los procesos, métodos y técnicas de construcción más utilizadas en el país, de acuerdo con el avance tecnológico para facilitar la selección de éstos y eficientizar los tiempos de realización de obras a construir.
- 6 A la escuela de ingeniería civil, realizar estudios de costos de puentes en forma de costos índices, costos unitarios, costos globales, de cada uno de los componentes de los puentes, y de toda la estructura con fines de formular o proponer proyectos, anteproyectos o proyectos finales; similarmente, para construcción y monitoreo durante se desarrolle la obra.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- AASHTO/FHWA. (1996). Construction of Portland Cement Concrete Pavements. USA.
- A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994.
- Ampuero Alata, John. (2002) Manual de Diseño de Puentes. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Mexico.
- American Association of States Highway and Transportation Officials, Inc. Standard Specifications for Highway Bridges. 1992.
- American Association Of State Highway And Transportation Officials “AASHTO”. (1998). 16a. Edición.
- AMH, AMIVTAC y SSMS. (1989). Socavación en puentes y obras menores. Mexico.
- Bridge Design Specifications. April 2000. Caltrans
- Crespo Villalaz, Carlos.(2000). Vías De Comunicación. 3ra Edición. Editorial Limusa SA De Cv. México. 681-690 p.
- Casas Ruis, Juan Ramón. (1991). “Aspectos tecnológicos de los nuevos materiales en los puentes”. Revista Obra Pública, No. 20 (Puentes II), pág. 24-37.
- Departamento de Estructuras. Facultad de Ingeniería, UNAM. “Apuntes de Diseño de puentes”.

- Dirección General de Caminos y los Contratistas Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. (2000). Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes. Guatemala.
- Entrevista con ingeniero Raúl Antonio Díaz Guerra. Residente de proyecto: Diseño y construcción de la carretera tramo: (Sirama- La Unión) – Puerto Cutuco (By Pass La Unión)
- Entrevista con ingeniero Ildefonso Morales. Especialista en diseño y construcción de puentes.
- Entrevista con ingeniero José Calderon. Especialista en supervisión de puentes presforzados de empresa NIPON KOEI. L Co. Td.
- E Penéis. 1978. Concrete Bridge Designer`s Manual.
- Grattasat, Guy. (1981). Concepción de Puentes. Tratado General. Editores Técnicos Asociados. Barcelona España.
- Highway Design Manual. Noviembre 2001. Section 1,200 ,707 y 820.
- <http://inicia.es/de/jjescudero/intrusct.htm>
- <http://www.consruaprende.com /tesis2.cap3>
- http://www.alipso.com/recomendar_recurso.shtml. Los primeros puentes.
- <http://www.grupo -acc.com>. Ing. Juan Antonio Ramirez. Juntas en los pisos y pavimentos de concreto.
- <http://www.disensa.com/sistema/articulos>

- http://www.minas.upm.es/rimin1/jornadas/01ibermac_pdf/07hormigón/canas2.pdf
- <http://www.espe.edu.ec/publicaciones/academicas/puentes/puentes.htm>
Ing. Marcelo P., M.Sc. Artículo, Curso de Puentes y Viaductos. Escuela Politécnica del Ejército.
- <http://civil.uprm.edu/professor/godoy/INCI6027/JorgeRivera.pdf>. Uso de Placas en Puentes.
- <http://www.commexpresa.com>; Juntas.
- <http://www.grupo-acc.com>; Ramírez, Juan Antonio. Juntas en los pisos y pavimentos de concreto.
- IMT, Memoria Técnica. Tomo 1. (24, 25 y 26 de Oct de 1991). Seminario Internacional de Puentes. Pag. 5-18
- Ingenieros Consultores S.A. (1999). Manual de especificaciones para caminos y puentes rurales. Tegucigalpa, Honduras.
- Katan Rodríguez, Jean Corie, y otros. (1998). Guía Para El Diseño De Puentes De Concreto Reforzados En Caminos Rurales Y Vecinales. Trabajo de graduación Universidad De El Salvador. Facultad De Ingeniería Y Arquitectura. San Salvador.
- Landaverde Ortiz, Tomas Ruben. (1984). Estudio De La Acción Del Agua En La Subestructura De Los Puentes y Solución Al Problema. Trabajo de

graduación Universidad De El Salvador. Facultad De Ingeniería Y Arquitectura. San Salvador.

- Lasso Herrera, Ricardo. (1964). Procedimientos de Construcción de Puentes. México.
- Libby, James R. y otros. (1977). “Modern prestressed concrete, highway bridge Superstructures”. Edit. Mc Graw-Hill. New York.
- malito:Jesús@yahoo.com
- Martínez, José Roberto. (1982). Diseño de superestructuras de concreto presforzado. Trabajo de graduación Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. San Salvador.
- Mejía Vásquez, Nelson Osmin y otros. (2000). Banco de Datos actualizado y un estudio preliminar de vulnerabilidad de puentes carreteros comprendidos en el tramo desde el río Lempa hasta La Unión en la carretera El Litoral. Trabajo de graduación Universidad De El Salvador. Facultad De Ingeniería Y Arquitectura. San Salvador.
- Mehta, P.K. (1991). Durability of concrete –Fifty years of progress-, Durability of concrete, SP-126. American Concrete Institute. Farmington Hills. Mich.pp. 1-31.
- Mendez Castro, Luis Orlando. (2003). Vulnerabilidad Sísmica y Diseño Estructural De Puentes Típicos; Una Revisión Sistemática Utilizando Registros De Los Sismos Ocurridos en 1986 y 2001 en El Salvador. Trabajo

de graduación Universidad De El Salvador. Facultad De Ingeniería Y Arquitectura. San Salvador.

- Merritt, S. Frederick. (1989). Manual del Ingeniero Civil. Editorial Mc Graw- Hill. México.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Direccion General de Caminos y Ferrocarriles. (2003). Manual de Diseño de Puentes. Lima, Perú.
- Nawy, Edgard. (1988). Concreto reforzado. Editorial Prentice-Hall. Segunda Edicion. México.
- Ned, Burns y otros. (1969). “Diseño de Estructuras de Concreto Preesforzado”. C.E.C.S.A.
- Nilson, Arthur. (1982). Diseño de estructuras de concreto presforzado. Editorial Limusa. México.
- Parada, Carlos Eduardo y otros. (2001). Diseño de Puente entre Guarnevia y Potrero Sura sobre Rio Lempa, Texistepeque, Santa Ana. Trabajo de graduación Universidad De El Salvador. Facultad De Ingeniería Y Arquitectura. San Salvador.
- Radcliffe, Byron H. y otros. (1967). The Crithical Path Method. Chicago.
- Russel, Henry G. (1996). Concreto de alto comportamiento. Revista Concrete Internacional, de la ACI.

- Societe Technique pour l'utilisation de la prècontrainte. (1980). Guide pour l`Utilization du FREYSSINET Methodes. Paris, Francia.
- Tonia, D. E. (1994). Bridge Engineering. Editorial McGraw-Hill. USA.
- U.S. Department Of Transportation Federal Highway Administration. Standard Specifications For Construction of Roads and Bridges on Federal Higway Project. FP-96
- Valdes, José Enrique, y otros. (1978). Diseño de Puentes de Concreto Presforzado. Trabajo de Graduación Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. Facultad de Ingeniería. San Salvador.
- White, Richard N. Gergely Sexmith, Ingeniería Estructural.(1980). Introducción A Los Conceptos De Análisis Y Diseño. 1ª. Edición.. Editorial Limusa SA De CV. México. Vol. 1. 21-45 p.
- www.arquitectuba.com.ar ; Cimentaciones

ANEXOS

ANEXO 1. ACCIONES A CONSIDERAR EN EL PROYECTO DE PUENTES DE CARRETERA

1.1. CLASIFICACIONES Y DEFINICIONES

Se considera que una acción que solicite una estructura puede ser:

Una fuerza aplicada sobre la estructura (acción directa), como es el peso propio, las sobrecargas de uso, etc.; una deformación o una aceleración impuesta a la estructura (acción indirecta), como son las acciones reológicas, las térmicas, las sísmicas, etc.

Las acciones también se pueden clasificar atendiendo a:

a) Su variación en el tiempo:

Acciones permanentes (G), son constantes en posición y magnitud, una vez que la estructura es apta para entrar en servicio (peso propio de la estructura, del pavimento y de los elementos funcionales).

Acciones permanentes de valor no constante (G^*), son las que actúan en todo momento pero cuya magnitud no es constante. En este grupo se incluyen aquellas acciones cuya variación sea función del tiempo transcurrido y se produzca en un único sentido, tendiendo hacia un determinado valor límite (acciones reológicas, pretensado, asientos del terreno bajo las cimentaciones, etc.). También se incluyen las acciones originadas por el terreno cuya magnitud varía no en función del tiempo, sino de la interacción terreno-estructura.

Acciones variables (Q), son aquellas externas a la estructura que pueden actuar o no sobre el puente (sobrecargas de uso, acciones climáticas, etc.).

Acciones accidentales (A), son aquellas cuya posibilidad de actuación durante un "período de referencia" establecido, es pequeña, pero cuya importancia puede ser considerable en ciertas estructuras (impactos de vehículos, sismos, inundaciones, etc.).

b) Según su variación espacial:

Acciones fijas. Aplicadas siempre en la misma posición, como es básicamente el peso propio de todos los elementos estructurales y funcionales.

Acciones libres. Pueden actuar en diferentes posiciones, como son las sobrecargas de uso.

c) Según la respuesta estructural que producen:

Acciones estáticas o casi estáticas, que son las que no provocan oscilaciones o vibraciones significativas en la estructura o en sus elementos estructurales.

Acciones dinámicas, que son las que pueden originar oscilaciones o vibraciones significativas en la estructura o en sus elementos estructurales.

1.2. VALOR CARACTERISTICO DE LAS ACCIONES

El valor característico de una acción es su valor representativo. Puede venir determinado por un valor medio, un valor nominal (definido por medio de criterios determinísticos o apriorísticos) o, en los casos en que se fije en base a criterios estadísticos, por un valor correspondiente a una determinada probabilidad de no ser sobrepasado (por el lado de los valores más desfavorables) durante un "período de referencia" teniendo en cuenta la vida útil de la estructura y la duración de la situación de cálculo.

De acuerdo con la clasificación realizada por su variación en el tiempo, se indica a continuación el valor característico de las acciones.

1.2.1. Acciones permanentes (G)

Las acciones permanentes son producidas por el peso de los distintos elementos que forman parte del puente. Se clasifican en peso propio y cargas muertas. Su valor característico se deduce de las dimensiones de los elementos especificadas en los planos, y de los pesos específicos correspondientes. Salvo justificación expresa, se tomarán para los materiales de construcción más usuales los siguientes pesos específicos relativos al agua (9,8 kN/m³) de la tabla A1:

Tabla A1

Fundición	7.25
Acero	7.85
Aluminio	2.70
Madera seca	0.60-0.90
Madera húmeda	1.05
Concreto en masa y materiales tratados con cemento	2.40
Concreto armado y pretensado	2.50
Fábrica de ladrillo cerámico macizo	1.80
Fábrica de ladrillo cerámico hueco	1.20
Mampostería de basalto	2.80
Mampostería de granito o caliza.	2.50

Materiales granulares (zahorras, gravas y arenas)	2.00
Relleno de arcilla o tierra seca	1.60
Relleno de arcilla o tierra húmeda	2.00
Pavimento de mezcla bituminosa	2.30
Material elastomérico	1.50
Poliestireno expandido	0.03

1.2.1.1. Peso propio

Esta acción corresponde al peso de los elementos estructurales. En el caso de puentes de concreto o mixtos, sí el peso específico del material que se va a utilizar en obra sobrepasa en más de un cinco por ciento (5%) al considerado en proyecto, deberá efectuarse un nuevo cálculo.

1.2.1.2. Cargas muertas

Son las cargas debidas al peso de los elementos no estructurales que gravitan sobre los estructurales, tales como: pavimentos de calzada y aceras, dotaciones viales y de la propia estructura, servicios, etc. El espesor máximo del pavimento bituminoso proyectado y construido sobre tableros con losa de concreto, no es en ningún caso superior a diez centímetros (10 cm.) incluida la eventual capa de regularización.

1.2.2. Acciones permanentes de valor no constante (G^*)

1.2.2.1. Presolicitaciones

El término presolicitaciones, considera todas las formas posibles de introducir esfuerzos en una estructura antes de su puesta en servicio, con el fin de mejorar su respuesta frente al conjunto de solicitaciones a las que posteriormente se verá sometida. Al considerar estas acciones es importante tener presente que, en la mayoría de los casos, la fluencia del concreto reduce parcialmente las ventajas iniciales que incorporan, por lo que es necesario comprobar el valor de esta disminución para un instante de tiempo en que dicha fluencia se considere estabilizada.

1.2.2.1.1. Pretensado

Las acciones producidas por el pretensado se valoran teniendo en cuenta la forma de introducción de las mismas y la posibilidad de deformación de la estructura.

1.2.2.1.2. Otras presolicitaciones

Se consideran las presolicitaciones introducidas por medio de gatos, por bloqueo provisional de coacciones, por desplazamientos impuestos en los apoyos de la estructura, etc.

1.2.2.2. Acciones reológicas

El valor característico se obtiene a partir de los valores característicos de las deformaciones provocadas por la retracción y la fluencia

1.2.2.2.1. Fluencia

La deformación debida a la fluencia del concreto bajo carga constante, es proporcional a la deformación elástica instantánea. El coeficiente de

proporcionalidad, Δ_t , variará a lo largo del tiempo en función de la historia de cargas del elemento de concreto considerado, de la humedad relativa del ambiente, del espesor o menor dimensión de la pieza, de la composición del concreto, etc.

1.2.2.2.2. Retracción

La deformación debida a la retracción del concreto es función de la humedad relativa del ambiente, el espesor o menor dimensión de la pieza, de la cuantía de armadura, de la composición del concreto, del tiempo transcurrido desde su puesta en obra, etc.

1.2.2.3. Acciones debidas al terreno

1.2.2.3.1. Acciones sobre los elementos de la estructura

Se consideran las acciones originadas por el terreno, natural o de relleno, sobre los elementos del puente en contacto con él, principalmente: estribos, muros de acompañamiento, cimentaciones, etc. La acción del terreno sobre la estructura tiene dos componentes: el peso sobre elementos horizontales (zapatas, encepados, etc.), y el empuje sobre elementos verticales (muros, aletas, etc.).

1.2.2.3.2. Acciones correspondientes a movimientos del terreno bajo las cimentaciones

En caso de asientos del terreno, los valores se deducen de los parámetros o condiciones establecidas en el estudio geotécnico, teniendo en cuenta las características del terreno, la tipología y geometría de la cimentación, y las cargas transmitidas. Se considera la evolución en el tiempo de dichos valores,

especialmente cuando la estructura pasa por fases de construcción isostáticas y de duración significativa, durante las cuales se ha podido desarrollar una proporción importante de la magnitud total del asiento. En el caso de cimentaciones profundas, se tienen en cuenta las acciones producidas por movimientos del terreno respecto a los elementos de la cimentación, en función de las diferentes rigideces del terreno y del cimientto. Entre ellas específicamente las derivadas de rozamientos negativos (asiento relativo del terreno mayor que el de los elementos de cimentación) y de empujes laterales originados por movimientos del terreno perpendiculares al eje de los elementos de cimentación.

1.2.3. Acciones variables (Q)

1.2.3.1. Sobrecargas de uso

Las acciones indicadas son de aplicación en puentes cuya anchura de plataforma del tablero es inferior a veinticuatro metros ($< 24,0$ m).

1.2.3.1.1. Tren de cargas: Considera tres componentes de carga; componentes verticales que corresponden a tres acciones actuando simultáneamente: Una sobrecarga uniforme de cuatro kilonewtons por metro cuadrado ($4,0$ kN/m²) extendida en toda la plataforma del tablero o en parte de ella, según sea más desfavorable para el elemento en estudio; uno o dos vehículos de seiscientos kilonewtons (600 kN), cuyo eje longitudinal se considera paralelo al de la calzada, y formado cada uno por seis cargas de cien kilonewtons (100 kN). Y una sobrecarga uniforme de cuatro kilonewtons por metro cuadrado ($4,0$ kN/m²)

extendida en toda la superficie, o en parte de ella según sea más desfavorable para el elemento en estudio, de aceras, pistas para ciclistas o ciclomotores, zonas reservadas a paso de animales y medianas que estén físicamente separadas de la plataforma del tablero. Componentes horizontales, el frenado y arranque o cambio de velocidad de los vehículos, dará lugar a una acción cuyo valor se estimará en un veinteavo (1/20) de la sobrecarga definida en las primeras dos cargas del apartado 1.2.3.1.2. Fuerza centrífuga; en puentes de planta curva, la fuerza centrífuga se supondrá actuando horizontalmente perpendicular al eje de la plataforma del tablero, a cota del pavimento y con el valor deducido de la siguiente Ecuación 1:

$$F_c = K \cdot M \cdot V_e^2 / R \quad \text{Ecuación 1.}$$

donde:

F_c = fuerza centrífuga (N).

M = masa de la sobrecarga

V_e = velocidad específica en el tramo de ubicación del puente (m/s).

R = radio en planta de la curva correspondiente al eje de la plataforma del puente (m).

k = factor de distancia adimensional que puede suponerse igual a: $231/(V_e^2 + 231)$

1.2.3.1.2. Tren de cargas para fatiga

Las acciones variables repetitivas previsible durante la vida útil de una estructura, pueden ser definidas por modelos simplificados de carga, que son los que habitualmente se emplean para la comprobación del estado límite de fatiga.

1.2.3.1.3. Sobrecarga en terraplenes adyacentes al puente

A efectos del cálculo del empuje del terreno sobre elementos de la estructura en contacto con él, se considera actuando en la parte superior del terraplén, en la zona por donde pueda discurrir el tráfico, una sobrecarga uniforme de diez kilonewtons por metro cuadrado (10 kN/m^2). Esta sobrecarga se tiene en cuenta únicamente en los casos en que las cargas producidas por el tráfico actúen a una distancia, medida en horizontal desde la parte superior de la estructura, menor o igual a la mitad de la altura del elemento de la estructura sobre el que actúe el empuje.

1.2.3.1.4. Empuje sobre barandas

En el elemento superior de las barandas, se considerará la actuación de una fuerza horizontal perpendicular a las mismas igual a un kilo newton y medio por metro ($1,5 \text{ kN/m}$). La altura sobre el pavimento a la que se considerará actuando dicha fuerza será la del elemento superior de la barandilla, salvo que dicha altura sea mayor de un metro y medio ($>1,5 \text{ m}$), en cuyo caso se adoptará este valor como altura máxima de aplicación de la sollicitación. Esta acción tiene carácter local y, por tanto, sólo se utilizará para la comprobación de la propia barandilla y de sus anclajes, sin que deba ser considerada a efectos de ninguna otra verificación de la seguridad general de la estructura.

1.2.3.2. Acciones climáticas

1.2.3.2.1. Viento

La acción del viento podrá asimilarse, en general, a una carga estática. Siempre que esté justificado por estudios, ensayos aerodinámicos o experiencias en estructuras de idénticas características, el proyectista podrá adoptar valores o expresiones distintos de los indicados.

1.2.3.2.2. Nieve

Se supone actuando una sobrecarga de nieve en todas aquellas superficies del tablero sobre las que no se ha considerado la actuación de la sobrecarga de uso. El valor de esta sobrecarga está basado en datos experimentales tomados en el lugar de emplazamiento de la estructura durante como mínimo un período de veinticinco (25) años, determinándose a partir de ellos el valor característico de esta acción, definido como aquél cuya probabilidad anual de ser sobrepasado no sea superior al dos por ciento (2%).

1.2.3.2.3. Acciones térmicas

Al considerar estas acciones se tiene en cuenta tanto la componente de variación uniforme de temperatura que experimenta el elemento, asociada fundamentalmente al rango anual de la temperatura ambiente en el lugar de su emplazamiento, como las de los gradientes térmicos en las secciones transversales, asociados a variaciones diarias. Para la determinación de los efectos que producen se consideran los coeficientes de dilatación térmica de los correspondientes materiales utilizados.

1.2.3.3. Sobrecargas debidas al agua

La acción hidrostática se valorará a partir de un peso específico del agua igual a nueve mil ochocientos newtons por metro cúbico (9,8 kN/m³). En el caso de elementos sumergidos se considerará para la subpresión el mismo peso específico.

1.2.3.4. Otras sobrecargas en situaciones transitorias

Se tendrán en cuenta todas las acciones debidas a equipos, maquinaria, material almacenado, etc., que se prevea puedan actuar durante la construcción o el mantenimiento de la estructura, considerando siempre su actuación sobre el esquema resistente que en ese momento presente el puente.

1.2.4. Acciones accidentales (A)

1.2.4.1. Impactos

1.2.4.1.1. Impacto de vehículos contra un elemento estructural del puente

El impacto de un vehículo contra un elemento estructural se asimilará a la actuación de una carga estática cuya resultante se encuentre situada a un metro y veinte centímetros (1,2 m) sobre la superficie del pavimento, e igual en valor a mil kilonewtons (1000 kN) en la dirección del tráfico y a quinientos kilonewtons (500 kN) en sentido perpendicular a dicha dirección. Esta carga podrá considerarse aplicada sobre una superficie o zona de choque no mayor de dos metros (2 m) de ancho por dos metros (2 m) de altura. No será necesario considerar la acción de un impacto cuando se disponga de una protección adecuada o el elemento se encuentre a una distancia del borde de la calzada superior a diez metros (10 m).

1.2.4.1.2. Impacto lateral contra sistemas de contención de vehículos

El posible impacto lateral de un vehículo contra el sistema de contención instalado, según la normativa actualmente vigente (O.C. 321/95 "Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos"), se asimila a una carga estática con los siguientes criterios:

Si el sistema de contención actúa absorbiendo energía por deformación plástica (sistemas deformables), se supondrá actuando una fuerza puntual de cuarenta y cinco kilonewtons (45 kN) aplicada a sesenta centímetros (0,6 m) sobre la superficie del pavimento, perpendicularmente al elemento considerado.

Si el sistema de contención no absorbe energía por deformación plástica propia (sistemas rígidos), se supondrá actuando una fuerza puntual de trescientos kilonewtons (300 kN), aplicada perpendicularmente al elemento considerado y a una altura igual a la altura útil del mismo. Esta fuerza se podrá suponer repartida uniformemente, en la base de la barrera de seguridad, en un ancho de tres metros (3m). Simultáneamente se considerará, en todos los casos, una fuerza puntual horizontal de treinta kilonewtons (30kN), aplicada longitudinalmente a nivel de la superficie del pavimento.

1.2.4.1.3. Impacto de embarcaciones

En el caso de los puentes que crucen cursos de agua navegables, será necesario tener en cuenta las acciones a que pueda dar lugar la colisión de una embarcación contra los elementos de la estructura. Estas acciones serán función de las características geométricas (eslora, manga, calado) y máxicas de la

embarcación, de su deformabilidad, de su velocidad, de la velocidad de la corriente, de la deformabilidad de la estructura y de los sistemas de defensa que se adopten.

1.2.4.2. Acciones sísmicas

Las acciones sísmicas en puentes se considerarán únicamente cuando el valor de la aceleración de cálculo sea superior o igual a seis centésimas de g ($>0,06 g$), siendo g la aceleración de la gravedad.

Aceleración sísmica durante la construcción

Durante la fase de construcción, la aceleración de cálculo puede obtenerse multiplicando la aceleración básica por el factor: $0,3 \cdot L_c^{0,37}$, donde L_c es la duración del período constructivo en años.

1.2.4.2.4. Acciones en estribos

En el estudio sísmico de estribos se diferenciarán básicamente dos casos: estribos continuos con el tablero (puentes integrales) y estribos flotantes o muros. En los primeros, donde el estribo forma parte del tablero o es totalmente solidario con él, la acción sísmica que deberá soportar será la máxima transmitida por el tablero durante el terremoto. Cuando la acción sísmica sea también soportada por las pilas, deberán tenerse en cuenta las rigideces de éstas y la del estribo para establecer la carga sísmica transferida. Si por otro lado se pretenden minimizar daños en los estribos, éstos deberán ser diseñados para soportar el empuje pasivo capaz de ser movilizado por el relleno del estribo, que

suele ser mayor que la fuerza máxima estimada transferida al estribo. Para ello se puede utilizar en una primera aproximación.

ANEXO 2. JUNTAS DE EXPANSION

Las juntas son dispositivos que dependen de los movimientos de la estructura, y sus funciones se pueden cumplir sólo cuando las longitudes de apoyo (Seating) de las vigas o losas sean suficientes para suplir los movimientos que se sucedan por eventos sísmicos. Al calcular estas longitudes se toma en cuenta que los elementos estructurales pueden perder sus respectivos recubrimientos al golpearse entre ellos, tal como se muestran la fig. 1. Por esto, cuando se diseñan detalles de juntas de puentes se procura hacer secciones reforzadas terminales llamadas guardacantos que van a proteger los laterales.

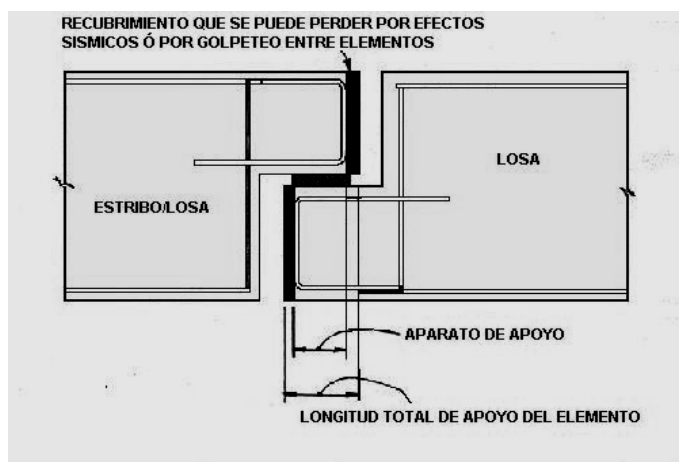


Figura No. 1. Ancho de Apoyo (Seating)

Esto se hace más frecuente en los casos en los cuales las juntas están en dirección esviada, lo que ocasiona que puede fallar la longitud de apoyo del elemento estructural, debido a que las esquinas agudas de la losa se abren en mayor longitud que las esquinas opuestas, por rotación del elemento, como se indica en la fig. 2.

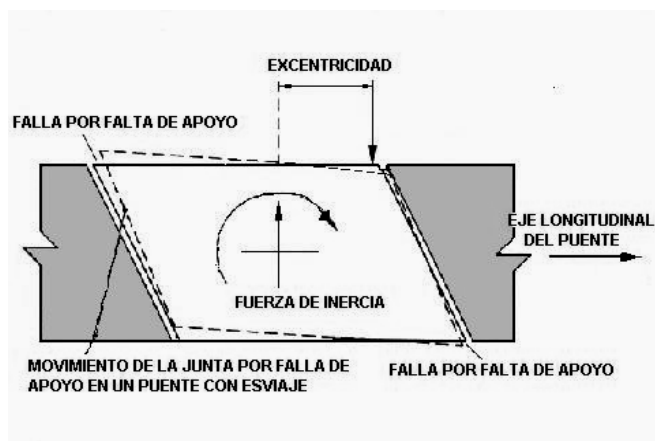


Figura No. 2. Rotación por esviaje.

No hay una solución de junta capaz de resistir movimientos que provengan de la falla de elementos estructurales como tableros o pilas, como se indica en la Fig. 3. que corresponde al puente Nishinomiya-ko derrumbado en el terremoto de Kobe en 1995, donde fue insuficiente la longitud de soporte de la viga.



Figura No. 3 Puente Nishinomiya-ko

También se presentan fallas en la junta entre tablero y estribos, al fallar la subestructura y ocasionar asentamientos y rotaciones que la separan, como se indica en la Fig. 4.

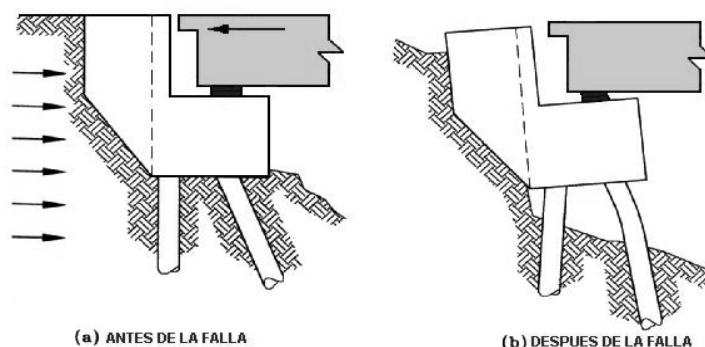


Figura No. 4

CLASIFICACIÓN DE JUNTAS

De acuerdo con su conformación y tomando en cuenta el procedimiento constructivo, las juntas de expansión se pueden clasificar como: *juntas abiertas*, cuando no tiene conexión en la ranura y permiten el paso directo del agua, *rellenas moldeadas* cuando se vacían en el sitio, *rellenas pre-moldeadas* cuando se ensamblan con elementos externos y *mixtas* si reúnen dos o más elementos de los ya descritos.

- **Juntas abiertas:** se encuentran en puentes viejos de corta luz, con un ancho que varía entre $\frac{1}{2}$ " y 2" (Ver figura No. 6.) Su ventaja es el costo inicial de construcción relativamente bajo. Da paso al agua y a elementos que traban el funcionamiento de la junta, lo que ocasiona la necesidad de reparaciones costosas en los elementos circundantes.

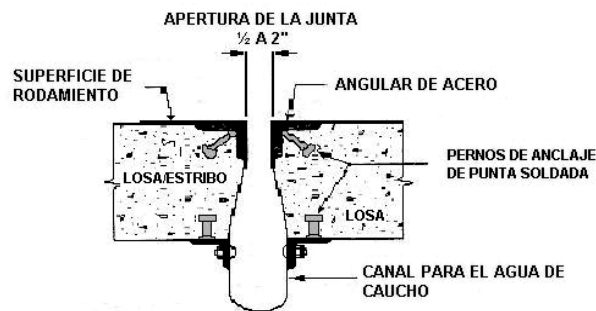


Figura No. 6 Junta abierta

- Juntas rellenas moldeadas (vaciadas en el sitio): las cuales a su vez se clasifican en:
 - Juntas rellenas con sello plástico: se encuentran en diferentes versiones, y soportan movimientos hasta de $1\frac{1}{2}$ "(ver Fig. 7). Son fáciles de construir al colocar en el fondo de la ranura un tope o manguera de soporte, poliestireno expandido, un sello plástico o masilla negra de consistencia semi-dura, combinación de asfaltos refinados, resinas plastificantes y fibra de asbesto. Son económicas. Es afectada por la fricción del tope, elementos químicos y mecánicos ajenos a la junta, estos despegan el tope, lo que permite la entrada de agua, ocasionando un deterioro acelerado de la misma. También el sello sufre desgaste por cargas cíclicas de tráfico y cambios de temperatura que la endurecen.

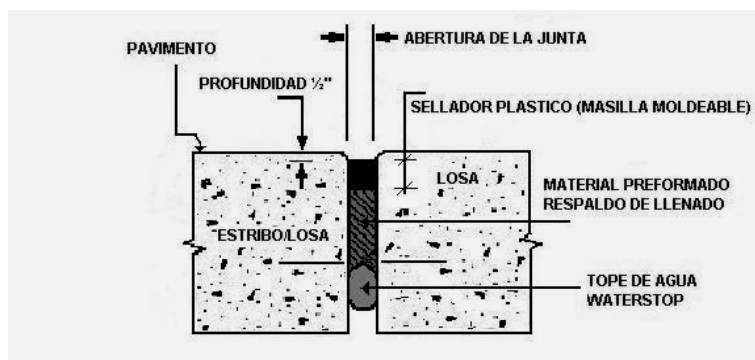


Figura No. 7 Junta rellena con sello plástico

- Junta de mortero epóxico: está conformada por dos guardacantos hechos con un mortero epóxico a ambos lados de la ranura, rellena con una manguera en encofrado perdido y un elastómero vaciado en el sitio, adherido sólo a las paredes laterales de los guardacantos. (ver Fig. 8).

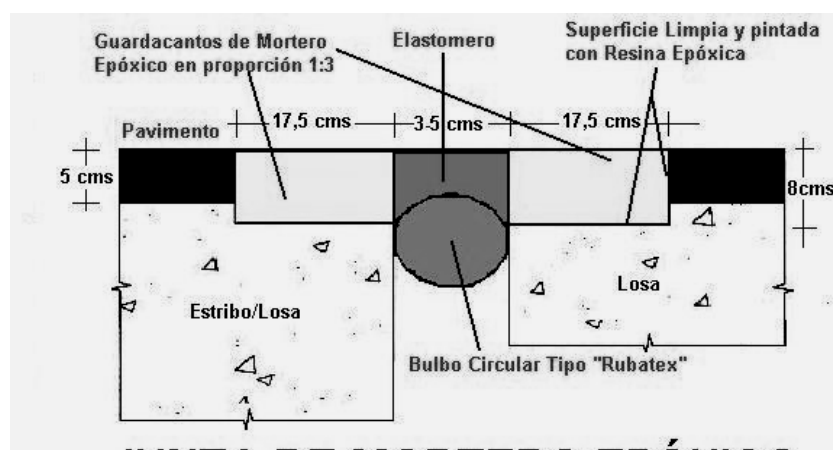


Figura No. 8 Junta de mortero epóxico

Los movimientos permitidos están en el orden de 2.5 veces el ancho de la ranura o 2". Son impermeables, con gran resistencia a los

impactos de la carga viva sobre la superficie. El elastómero se desgasta con la aplicación de cargas cíclicas, se endurece y se despega. Los guardacantos se separan en capas después de 10 años, por falta de adherencia entre ellas cuando no se atienden las especificaciones para la preparación del mortero epóxico.

- Junta de grout expansivo: diseñadas para trabajar bajo movimientos no mayores de $2\frac{1}{2}$ " ; tienen la misma conformación estructural de la junta de mortero epóxico, buscando sustituirlas para bajar los costos. Experimentan los mismos problemas que la junta de mortero epóxico al despegarse el elastómero por fatiga del material. Los guardacantos tienden a fallar por corte, al golpearse los elementos estructurales bajo cargas cíclicas y también por efectos de retracción.

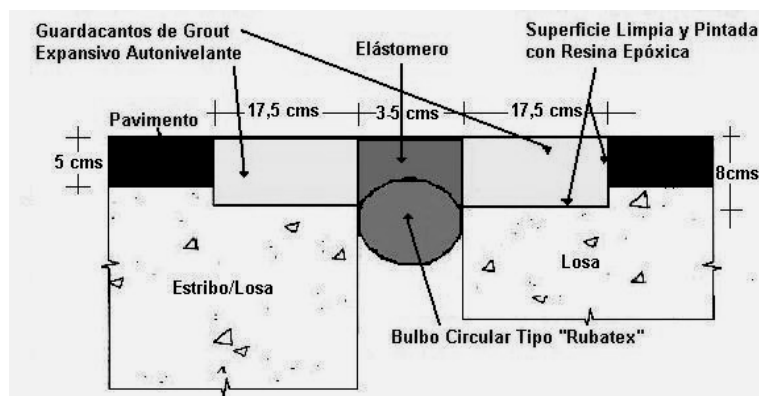


Figura No. 9 Junta de grout expansivo

- Juntas armadas de grout expansivo: están diseñadas para soportar movimientos no mayores que 5 cm. Los guardacantos son ampliados hasta traslaparse con el hierro del elemento estructural de la losa o

estribo, allí se solda con las viguetas que arman los brocales, que tienen juntas transversales de manto asfáltico a cada metro, y se vacía con grout expansivo (Fig. 10). Los problemas han sido las fallas del elastómero y siempre se requiere de tiempo suficiente para el curado del mortero antes de poner en servicio el puente.

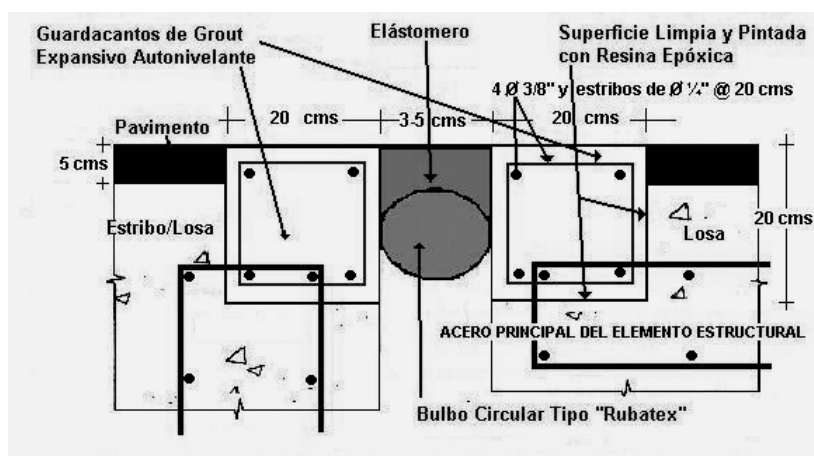


Figura No. 10 Junta de grout expansivo

- Juntas de polímero asfáltico: son llamadas genéricamente juntas elásticas, se han utilizado mucho como juntas de reposición hasta en grandes viaductos. En obras nuevas resultan excelentes para movimientos de hasta 6 cm, pero no aceptan movimientos verticales. Son de rápida instalación y puesta en servicio de la vía, completamente impermeables, dan confort, seguridad y comodidad para el usuario del puente. Sin embargo la junta no debe tener un espesor menor a 8 cms, la diferencia debe ser suplida con grout expansivo de nivelación. La junta combina el uso de pletinas de refuerzo o distribuidor que soporta

la carga viva, y sobre ella un polímero asfáltico modificado con un agregado dosificado, mezclado y vaciado en el sitio, (ver Fig. 11). Las más conocidas son la "JME-60" de Composan Construcción, Española; la "Expandex" de Watson Bowman ACME (Telcons Ingenieros S.A) y la "Proflex Spandec" de E.C.S.I del Reino Unido.

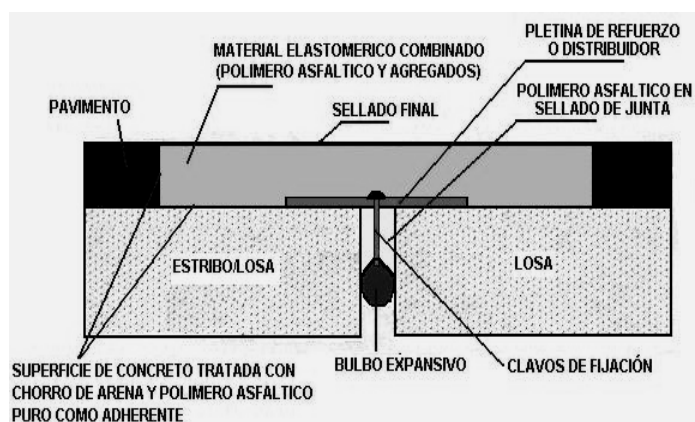


Figura No. 11 Junta de polímero asfáltico

- Junta de silicone: estas son juntas rellenas de una manguera de goma de apoyo y un material de silicone que hace las veces de sello o elastómero. Se utilizan para trabajar en puentes cuyas juntas no excedan movimientos mayores que 1½" y luces pequeñas (hasta los 20m.). El silicone se coloca en lugares que no tengan temperaturas mayores a los 32°C y menores de 4°C. Son muy económicas, completamente impermeables y durables, (ver Figura 12). El tiempo de secado total del material es alrededor de las 48 horas. Se preparan dos guardacantos paralelos a ambos lados de la ranura, hechos de concreto

de 350 Kg/cm² o de grout expansivo que forman una abertura para recibir el perfil de goma y sellar con la silicona.

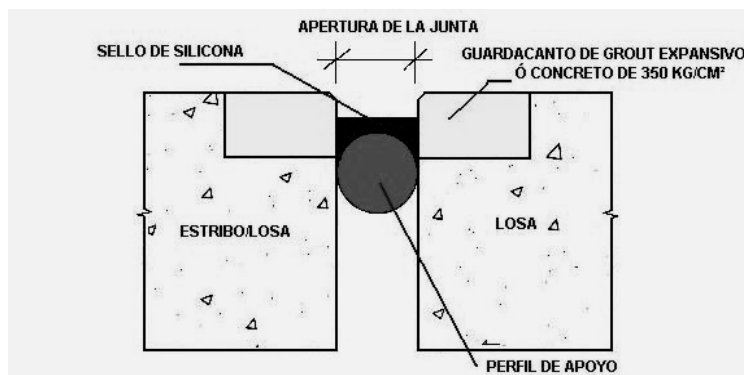


Figura No. 12 Junta rellena de silicone

- Junta rellena armada con tope de acero y sello elastomérico: Los guardacantos son reforzados con un Angular "L" de 10 x 10 x 1 cms, a todo lo largo de los brocales como refuerzo para resistir las cargas a las que se somete esta junta, permitiendo movimientos entre 1½" y 2" (fig.13). El problema se presenta por el desgaste del anime, de poliestireno expandido, que sirve de encofrado perdido entre las caras de los guardacantos que al fallar precipita rápidamente que se desprenda el elastómero, generando permeabilidad en la junta.

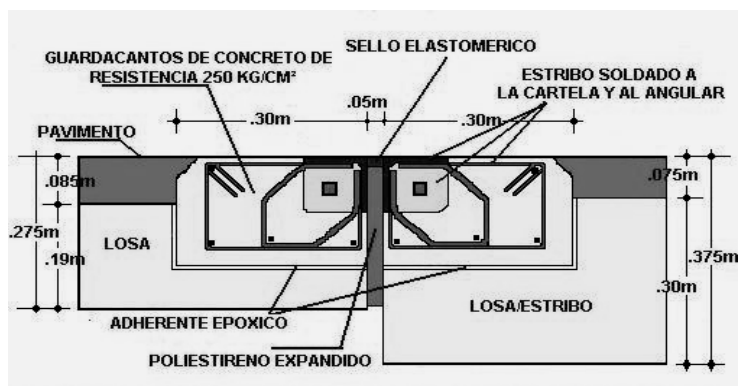


Figura No. 13 Junta rellena armada con tope de acero y sello elastomérico.

- Junta rellena armada con cubrejuntas y sello elástico: es una junta con guardacantos paralelos, hecha de concreto de 300 kg/cm^2 que contienen un angular de $10 \times 10 \times 1 \text{ cms.}$ soldado a una cubrejuntas que se mueve con una holgura de $1''$, (ver Fig.14), sobre una ranura rellena con anime como base y sellada con un elastómero con capacidad para absorber los pequeños movimientos y dar impermeabilidad. Son juntas que generan ruido y se desarmen para suplir el elastómero.

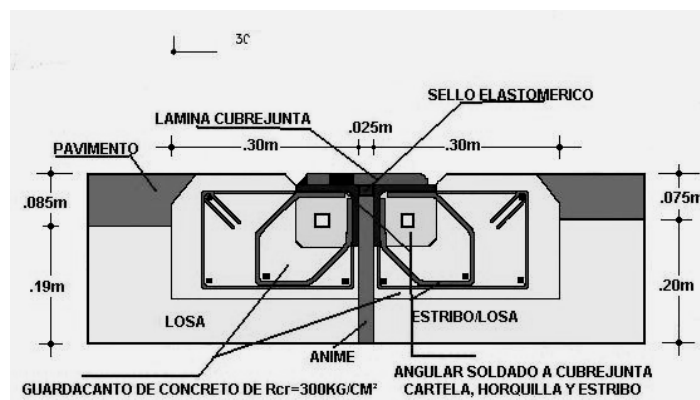


Figura No. 14 Junta rellena armada con cubrejunta y sello elastomérico.

- Juntas rellenas premoldeadas (Preensambladas): existen varios tipos entre los cuales están:
 - Juntas rellenas con sello en forma de "v": se encuentran en algunos puentes, absorbiendo movimientos hasta de 4". Son fáciles de instalar y mantener como relleno, ya que se sella la ranura con un perfil de neopreno en forma de "V", (ver Fig.15), pegado con un adherente epóxico. No son costosas, pero no se tienen registros de servicio por ser de reciente utilización.

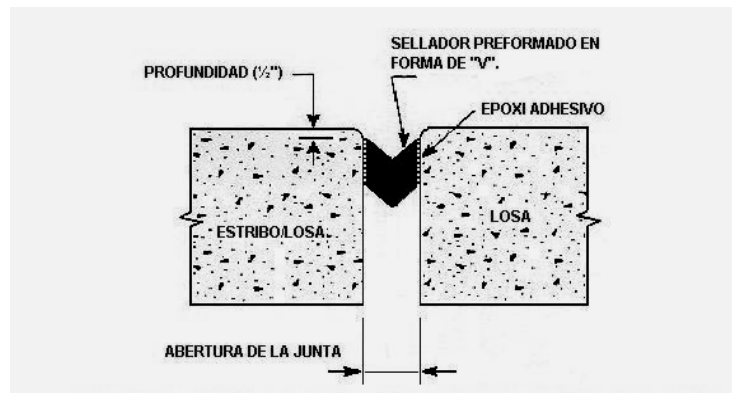


Figura No. 15 Junta rellena con sello en "V"

- Junta de sello de neopreno: Son una alternativa para la sustitución de juntas existentes en puentes de tramo medio y largo, de 20 hasta 100mt de claro, donde se permite los movimientos totales que van desde 1 1/2" a 13". La ventaja de este tipo de junta se basa en que las placas metálicas estriadas puestas de cara a la calzada bajo el sello, mejoran la resistencia de la junta para absorber carga, fricción, y

desgaste. Los problemas se presentan comúnmente por filtraciones entre los segmentos, pérdida de sujeción y ruido excesivo. A continuación se muestra una gráfica que permite seleccionar la junta de neopreno conociendo el desplazamiento total y el esviaje del puente (Figs.16 y 17).

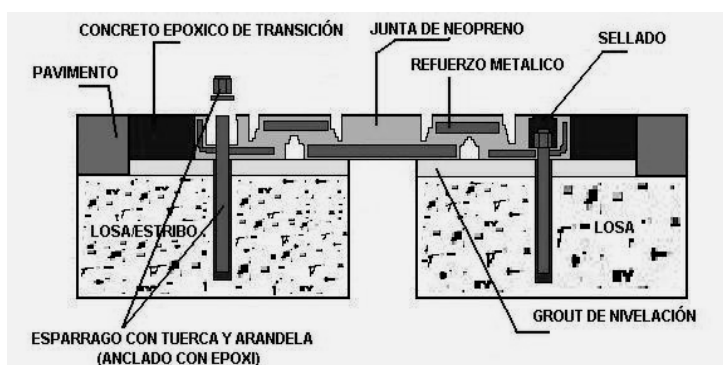


Figura No. 16 Junta de sello de neopreno.

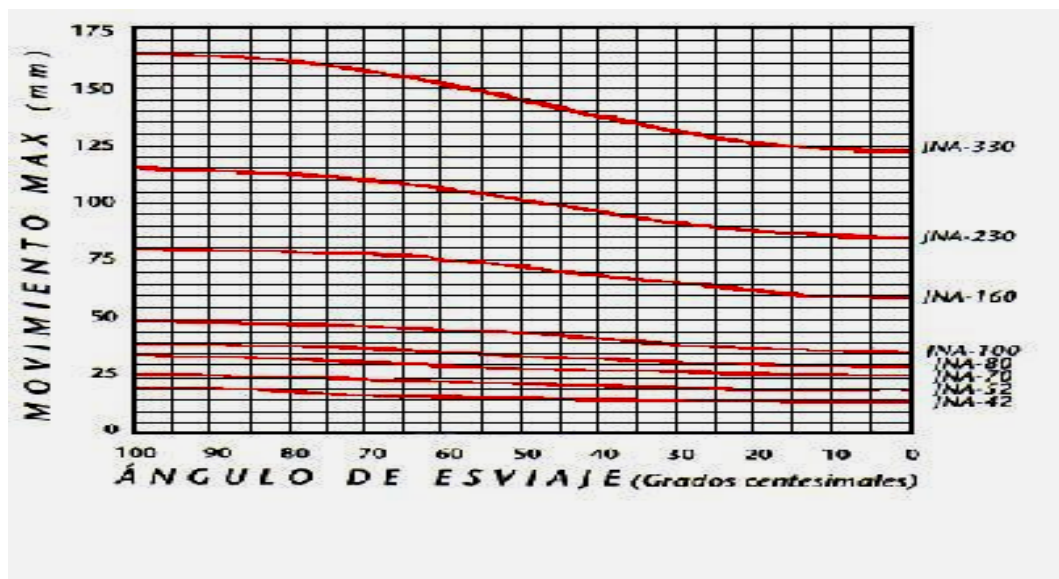


Figura No. 17

- Junta de sello de compresión: son juntas donde el sello es de neopreno y permite desplazamientos que van de 1" hasta 4"(ver Fig.18). Entre sus ventajas están su impermeabilidad relativa, la facilidad de instalación y su costo bajo. El éxito depende de la calidad de la instalación y correcta escogencia del tamaño del sello ya que es sensible al ozono.

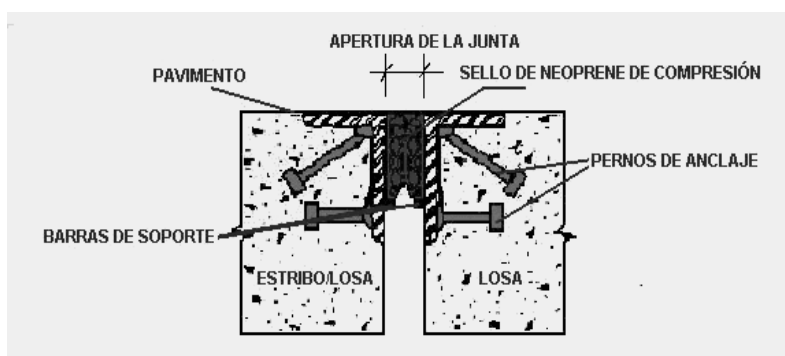


Figura No. 18 Junta de sello de compresión

- Junta de placa dentada: se utiliza en puentes de tramos medianos y largos (ver Fig.19). Se adaptan a desplazamientos totales desde 4" hasta 24", esta es su mayor ventaja y sus desventajas se refieren a la posible acumulación de desechos y tierra, que obstruyen el canal de movimiento de abertura y cierre de la junta.

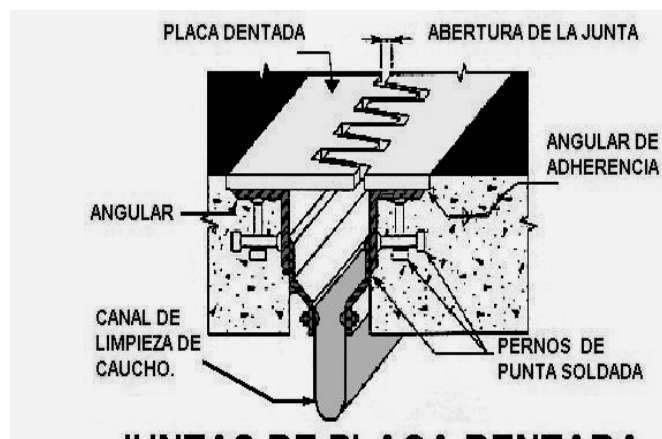


Figura No. 19 Junta de placa dentada

- Juntas de placa de diente de sierra: se aplica en puentes de tramo mediano, con desplazamientos totales de 3" (ver Fig. 20). Su ventaja es la facilidad para cambiarla en mantenimiento, soldando fácilmente las placas de acero de cada diente. Su desventaja es que no posee un sistema de canal para recoger el agua y desechos.

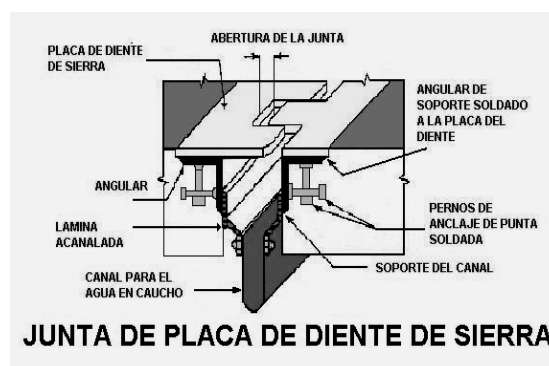


Figura No. 20

- Juntas modulares: Representan el enfoque del estado del arte para ajustar desplazamientos complejos hasta de 1.20 m., en puentes de luces largas y curvos. El sistema de juntas modulares tiene tres componentes principales: selladores, vigas separadoras (para selladores) y sus barras de apoyo (para

vigas separadoras). Los sellos y vigas separadoras forman una superficie impermeable, ajustando deformaciones estáticas y dinámicas al deformarse los selladores (ver Fig. 21). Las vigas separadoras son metálicas estriadas o laminadas y proporcionan la unión de la serie de sellos. Las barras de soporte franquean la abertura de la junta y los extremos de las barras se ajustan a un sistema de fijación comprimible.

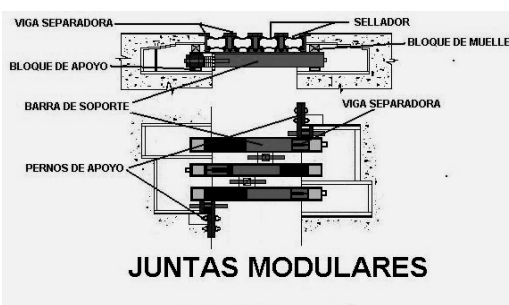


Figura No. 21

Este sistema está compuesto de dos bloques de poliuretano o elastoméricos. Uno de los bloques descansa sobre el tope de la barra de soporte, el otro se ajusta debajo y ambos bloques a su vez están unidos al tope de la cubierta (ver Fig. 22). La gran ventaja de esta junta es que permite grandes movimientos, no paralelos, horizontales, asentamientos diferenciales, rotaciones y cizallamientos. Sus desventajas son el ruido que se produce bajo carga viva de tráfico, las filtraciones de agua y la acumulación de desechos en los empates de los sellos elastoméricos.

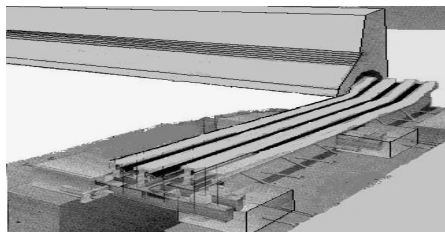


Figura No. 22

- ◆ Juntas con placas deslizantes: se utilizan frecuentemente en puentes medianos, ajustándose a desplazamientos totales de 4" (ver Fig. 23). Su gran ventaja es que restringe al mínimo el paso del agua, pero con el tiempo la placa deslizante tiende a zafarse ocasionando deterioros de todos los elementos circundantes de la junta.

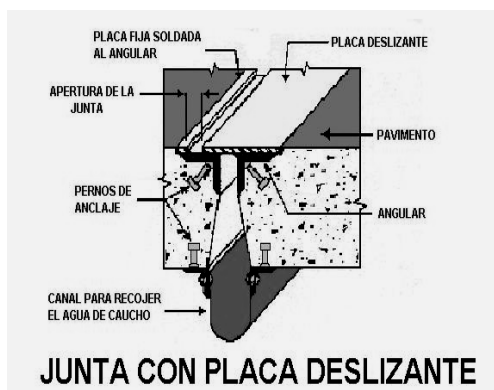


Figura No. 23

- ◆ Juntas con sello de expansión: en esta junta el sello se pone en forma continua, cualquier cambio de dirección es considerado desde el taller, ya que no se permiten empates en campo. La forma de funcionamiento de la junta es muy parecida a la de compresión, pero su fisonomía interna está dispuesta para absorber los esfuerzos de expansión en

buena forma (ver Fig. 24). Los angulares de soporte quedan colocados durante el proceso de vaciado del elemento estructural. Si esto no ocurre así se considera la construcción de guardacantos. Para la colocación del sello de expansión sus caras laterales se pegan con un elemento epóxico. Los elementos de neopreno son de fácil reposición, pero los angulares pueden fracturarse con el golpeteo de los vehículos. Se utilizan hasta en puentes con movimientos de 4". Los diseñadores más importantes de este tipo de junta son Watson Bowman Acme.

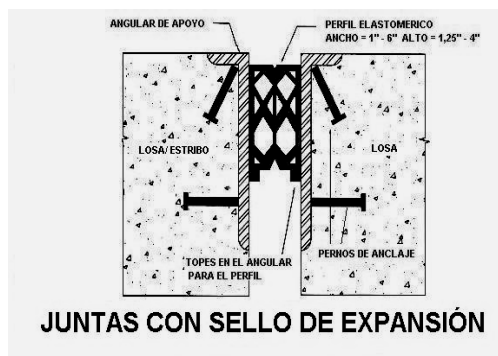


Figura No. 24

- ◆ Junta con sello en franja (Strip Seal): son juntas con buenos registros de desempeño, comparables con las juntas de compresión o expansión de neopreno, la franja de mayor tamaño puede proporcionar hasta 5 pulgadas de desplazamientos totales (ver Fig. 25).



Figura No. 25

La franja es un elemento elastomérico premoldeado continuo (ver Fig. 26), mecánicamente trabado en un guardacanto de hierro de alta resistencia a ambos lados de la junta. Las bases de hierro están fijadas a la estructura del puente a través de un anclaje de forma sinusoidal, dentro de dos guardacantos fabricados de grout o un mortero sintético. Se utilizan en ambientes químicamente agresivos y son impermeables. Cuando se anticipan movimientos transversales de la placa se desempeñan mejor que los sellos de compresión. Si su escogencia en el tamaño o tipo de sello no es acertada se dañan y entran en desuso rápidamente.



Figura No. 26. Angulares para el Sello de Franja.

- ◆ Juntas de sello de lámina: el sello de lámina funciona en tracción o compresión. Puede adaptarse fácilmente a desplazamientos totales de 4" de máximo (ver Fig. 27). La capacidad para acomodar cambios direccionales y sesgadas en la configuración de la junta, a menudo sin ninguna necesidad de empalme en el sello, fallan por su sistema de anclaje con los impactos repetitivos de carga viva.

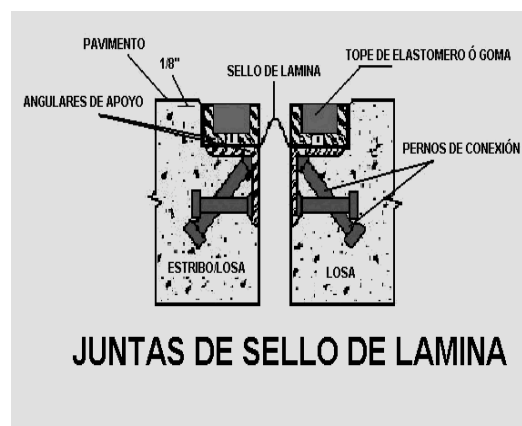


Figura No. 27

- Juntas mixtas (especiales), estas se clasifican en :

- ♦ Junta mixta tipo aceroton: es una junta que reúne dos versiones, la primera forma un sello de compresión-expansión como base con ayuda de una placa deslizante. La segunda tiene el mismo sello de compresión-expansión como base y un tapa junta que la protege (ver Fig. 28). Es impermeable y de buen funcionamiento, pero puede tender a ser muy ruidosa y poco confortable. Permite desplazamientos totales hasta de 4".

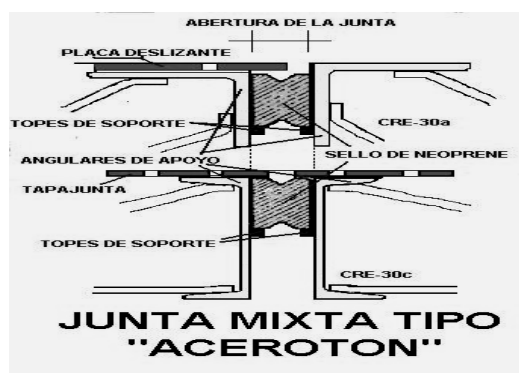


Figura No. 28

- ♦ Junta mixta tipo evalinca 01: Es una junta extrema que se utiliza para conectar la estructura con la losa de acceso al puente (ver Fig. 29). Se combinan una junta de polímero asfáltico en la parte superior y una junta abierta reforzada en los guardacantos conectada al hierro de refuerzo de los elementos estructurales. Es impermeable y permite desplazamientos totales hasta de 2".



Figura No. 29

- ♦ Junta mixta tipo evalinca 02: está diseñada para trabajar como junta externa, es la combinación entre una junta armada con dos guardacantos reforzados con vigas soldadas a una cartela, la cual se enlaza un angular en el borde de la ranura que se rellena con anime y se sella con una manguera de goma, tapada con una cubrejunta soldada a uno de los angulares para que se pueda deslizar, y una junta de polímero asfáltico que remata con la superficie del pavimento (ver Fig. 30). Esta es una junta impermeable que satisface ampliamente los requerimientos de funcionamiento con desplazamientos hasta de 1". Tiene un costo elevado.

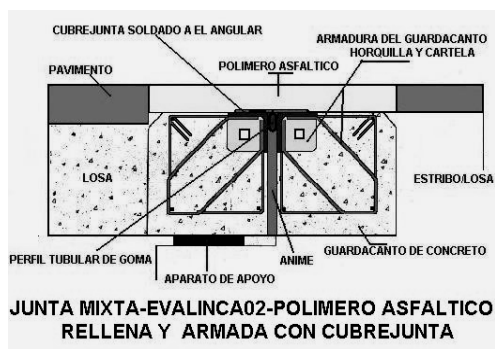


Figura No. 30

- ◆ Junta mixta tipo evalinca 03: recomendada para utilizarse en juntas de puentes en autopistas, consiste en su base en una junta deslizante sujeta por pernos en la parte inferior, cubierta por una junta de polímero asfáltico (ver Fig. 31). Es una junta completamente impermeable y permite desplazamientos horizontales de 2".

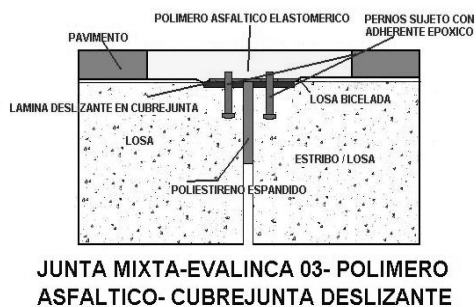


Figura No.31

ANEXO 3 GLOSARIO

A

Acción: Es toda causa capaz de originar una sollicitación o efecto en la estructura o sus elementos.

Acera: Franja longitudinal de la carretera, elevada o no, destinada al tránsito de peatones. (*Reglamento General de Carreteras 1994*) (*IAP_1998*)

Acero forjado: Acero que se somete a una modificación de su forma y estructura interna, mediante la acción de un trabajo mecánico de forja realizado a temperatura superior a la de recristalización.

Acero moldeado: Acero de cualquier clase que recibe forma vertiéndolo en un molde adecuado cuando el metal esta todavía líquido.

Ademe: Estructura o pantalla para contener el empuje de tierras y evitar derrumbes.

Aditivos: Son compuestos que generalmente mejoran una o más características de otros materiales con los que se combinan, por ejemplo con el concreto o con el mortero, para modificar determinadas características como manejabilidad, tiempo de fraguado, impermeabilidad, segregación, expansión, resistencia al desgaste, repelencia al agua.

Aditivos minerales: Generalmente consisten en roca pulverizada, de carbón negro usado para colorear el concreto, o puzolanas como las cenizas volantes.

Aditivo químico: Se refiere a sustancias solventes.

Alambres para concreto pretensado: Productos de sección maciza procedentes de un estirado en frío o trefilado de alambión, que normalmente se suministra en rollos.

Aleta: Elemento del estribo que contiene lateralmente el terraplén, evitando que sus taludes invadan el obstáculo inferior que el puente salva.

Alineamiento: Línea que une uno o más puntos. El eje de la vía o de puentes generalmente coinciden en el alineamiento.

Anclajes: dispositivos de sujeción de los extremos de las armaduras activas. Pueden ser activos o pasivos, según se efectúe desde ellos el tesado o estén situados en un extremo del tendón por el que no se tesa. Los anclajes son propios de cada sistema de pretensado.

Anden: Acera elevada.

Anteproyecto: Consiste en el estudio a escala adecuada y consiguiente evaluación de las mejores soluciones al problema planteado, de forma que pueda concretarse la solución óptima. (*Ley 25/88 de Carreteras, España*)

Ahusado: Dar forma de huso. Parte de una superficie esférica delimitada por dos semiplanos que parten de un mismo diámetro.

Apoyo: Elemento que sustenta una estructura o un elemento de ella.

Apoyos de material elastomérico: Se definen así los aparatos de apoyo constituidos por una placa de material elastomérico que permite, con su deformación elástica, traslaciones o giros de los elementos estructurales que soportan.

Aprobación: Acción por la que el supervisor después de examinar las propuestas del contratista autoriza el uso de un material, proceso o equipo.

Apuntalamiento: Construcción y colocación de apoyos metálicos, madera u otro material que se emplea para asegurar, temporalmente, la estabilidad de una construcción o parte de ella.

Arcilla: Material producto de la descomposición e hidratación de las rocas feldespáticas.

Arena: Partículas de rocas, menores que 0.5cm. en su dimensión máxima.

Arcén y hombro: Franja longitudinal pavimentada, contigua a la calzada, no destinada al uso de vehículos automóviles más que en circunstancias excepcionales. *Reglamento General de Carreteras 1994, España)*

Arco: Elemento estructural de directriz curva destinado a salvar un vano.

Armaduras activas: Armaduras de acero de alta resistencia mediante las cuales se introduce el esfuerzo de pretensado.

Armaduras a emplear en concreto armado: Conjunto de barras de acero que se colocan en el interior de la masa de concreto para ayudar a éste a resistir los esfuerzos a que está sometido.

Armaduras postesas: Las que se tesan una vez endurecido el concreto, al cual transmiten su esfuerzo por medio de anclajes.

Armaduras pretesas: Las que se tesan antes del vertido del concreto, al cual transmiten su esfuerzo por adherencia una vez endurecido.

Arpillería: Tejido fuerte y basto de yute o estopa de cáñamo.

B

Baranda: Antepecho compuesto, generalmente, de balaustres y barandales de poco espesor, destinada a evitar la caída de personas.

Barrera de seguridad: Sistema de contención de vehículos empleado en los márgenes o en la mediana de la carretera.

Barrera flexible: Son las que se deforman durante el impacto del vehículo, pudiendo sufrir una deformación permanente. Estas barreras pueden determinar la posición y magnitud de las fuerzas de contacto. Detrás de esta clase de barreras hay que contar con espacio suficiente para su deformación sin que el vehículo que la acompaña incurra en peligros adicionales. Pertenecen a esta clase las barreras metálicas y las de concreto prefabricadas no ancladas al cimiento.

Barrera rígida: Son las proyectadas de manera que los desplazamientos que puedan sufrir en caso de impacto resulten de menor orden de magnitud que la base de apoyo de la barrera. Estas barreras pueden determinar la posición, pero no la magnitud de las fuerzas de contacto, las cuales dependen de la deformación del vehículo. Las fuerzas de contacto dependen más del rozamiento entre estas barreras y el vehículo, y entre éste y el terreno, que las deformables. Pertenecen a esta clase las barreras de concreto ancladas a un cimiento.

Bitácora: Es el documento legal donde se asientan las acciones relevantes, órdenes o modificaciones durante el proceso de realización de la obra hasta su terminación total por personas autorizadas.

Bombeo: Operación de extraer, elevar o impulsar por medios mecánicos cualquier líquido.

Bordillo: Encintado de una acera o arcén. Es altura superior a cinco centímetros (5 cm) sobre la calzada.

C

Cabrestante: Torno colocado verticalmente, usado para mover grandes pesos.

Calzada: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos que se compone de un cierto número de carriles.

Carril: Franja longitudinal en que puede estar dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales, y con anchura suficiente para la circulación de una fila de automóviles que no sean motocicletas.

Cantidad de obra: Es la evaluación y clasificación de las cantidades de trabajo ejecutadas por el contratista de acuerdo con los planos, especificaciones, formularios de oferta, y/u ordenes de la supervisión para fines de pago.

Chaflán: Esquina cortada por un plano que forma un ángulo con cada una de sus caras.

Chalanes: Embarcación menor de fondo plano, proa aguda y popa cuadrada, utilizada en parajes de poco fondo.

Cimbra: Estructural provisional de diferentes materiales (madera-metálica) que se utiliza como molde para vaciar concreto.

Cimentación: Elemento de la estructura que transmite las cargas al terreno.

Compactación: Operación mecánica para reducir el volumen de vacíos entre partículas sólidas de un material con el objeto de aumentar su peso volumétrico y su capacidad de carga.

Concepto de trabajo: Conjunto de operaciones y materiales que de acuerdo con las normas y especificaciones respectivas integran cada una de las partes en que se dividen convencionalmente los estudios y proyectos, la ejecución y equipamiento de las obras, la puesta en servicio, su conservación y la supervisión de esos trabajos con fines de medición y pago.

Concreto asfáltico: Mezcla uniforme y homogénea en proporciones adecuadas de cemento asfáltico y material pétreo de dimensiones y características fijadas.

Concreto hidráulico: Resultado de la mezcla y combinación, en dosificación adecuada de cemento Pórtland, agregados pétreos finos y gruesos seleccionados y agua, que se utilizará en la construcción de elementos estructurales o decorativos, pavimentos, pisos, tuberías, aceras y cunetas.

Concreto Ciclópeo: Concreto con proporción de 60% de concreto simple de 180 kg/cm² como resistencia a la compresión, y 40% de piedra bola, con 30 cm de diámetro.

Concreto Preesforzado: Concreto estructural sometido a esfuerzos internos iniciales, a fin de reducir los esfuerzos finales de tensión derivados de las cargas de diseño.

Contraflecha: Desplazamiento negativo indicado en el proyecto que se da a la cimbra previo al colado de los elementos estructurales.

Contratista: Es la persona física o jurídica a que el propietario encomienda la construcción de una obra mediante la celebración de un contrato. Los factores dependientes y representantes legales del contratista actúan en nombre y por cuenta de éste.

Contrato de obra: Acto bilateral mediante el cual se crean y precisan los derechos y obligaciones que recíprocamente adquieren el propietario y el contratista respecto a la realización de la obra que el primero encomienda al segundo, de acuerdo con el proyecto, y especificaciones generales de construcción y las complementarias, si las hubiera y conforme al programa de obras de inversión y suministro de materiales y equipo aprobado por el propietario.

Corrosión atmosférica: De manera general y con la excepción de los aceros inoxidables, el acero se corroe durante su exposición al medio ambiente. En la primera mitad del siglo XX se descubrió que el Cobre (Cu), aumentaba la resistencia del acero a la corrosión atmosférica, llevando al desarrollo de aceros resistentes a esa condición.

Costo directo: Erogación que se realiza por: Pagos efectuados al personal obrero y pago de la parte que corresponda de las cuotas al Instituto Salvadoreño del Seguro Social; equipo y herramientas, materiales, transportaciones y maniobras, y conservación de las obras hasta su recepción por parte de la supervisión y la autoridad contratante o su representante.

Costo indirecto: Erogación que se realiza por: Organización, dirección técnica, vigilancia, administración, financiamiento, instalaciones provisionales en la obra,

regalías que procedan del uso de patentes y de todos los gastos que demanden las obras y que no están incluidos en el costo directo. El costo indirecto se expresará en un tanto por ciento del costo directo.

Curado: El control de la humedad y temperatura, durante un período de tiempo determinado para que el concreto adquiera la resistencia proyectada.

D

Defensa: Elemento longitudinal del tablero cuyo fin es impedir que los vehículos invadan ciertas zonas reservadas a otros usos, o que sirven de protección de las pilas de un puente contra choques originados por el tráfico de la vía que el puente salva (vehículos, barcos, etc.)

Desalojo: Acción de retirar del inmueble del proyecto los escombros producto de descapotes, demoliciones y materiales resultantes de la limpieza. Tales materiales deberán ser retirados del inmueble y depositados en un sitio aprobado por el supervisor a fin de evitar cualquier responsabilidad legal al respecto para la autoridad contratante o su representante.

Desmante: Operación de tala de árboles, arbustos, desyerbe, desenraice, que se realiza en un terreno en forma manual o mecánica.

Desplante: Operación de excavación para establecer la superficie sobre la cual se asienta una estructura.

Dibujos de taller: Todos los dibujos o reproducciones hechos o que se preparen durante el transcurso del trabajo al cual se refieren al proyecto, planos y a las especificaciones y que hayan sido ordenados o no, pero si aprobados por la

supervisión, deberán ser realizados por el contratista cuando fuese necesario o solicitado por el supervisor y deberán tener la claridad, escala y calidad que a juicio del supervisor estime conveniente.

Dispositivo para soporte: Es un dispositivo construido y colocado en los extremos de expansión de los elementos estructurales con el propósito de transmitir cargas y acomodar los movimientos entre un puente y la estructura que soporta. Los dispositivos para soporte pueden ser especiales o deslizantes, según el diseño del puente.

Draga: Maquinaria excavadora destinada a extraer materiales diversos que se hallan bajo las aguas.

Dóvela: Piedra labrada en figura de cuña para formar arcos, etc. Cada una de las superficies de intradós o trasdós de las piedras de un arco.

Ducto: Espacio cubierto o no, destinado a alojar tuberías, alambres, cables, barras alimentadoras o para conducir fluidos o materias varias

E

Encepado: En el caso de cimentaciones profundas, macizo de concreto que transmite las cargas a los pilotes.

Enrasar: Acción de igualar la altura de un elemento constructivo con otro.

Equipo de construcción: Significa toda la maquinaria, aparatos, herramientas u objetos de cualquier naturaleza que se requieran en o para la ejecución o mantenimiento de las obras, pero sin incluir materiales ni otras cosas que hayan de formar o formen parte de las obras permanentes.

Escantillón: Herramienta que sirve para verificar distancia y espesores.

Escarificar: Remoción del terreno mediante medios mecánicos.

Especificaciones complementarias: Disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que el propietario fija al contratista para la realización de un determinado concepto de trabajo, en adición a lo contenido en normas y especificaciones generales de construcción y/o las especificaciones propias del proyecto.

Especificaciones técnicas: Conjunto de disposiciones, requisitos e instrucciones particulares de una obra y que deben aplicarse ya sea para el estudio, para el proyecto y/o para la ejecución y equipamiento de una obra determinada, la puesta en servicio, su conservación y la supervisión de esos trabajos. En lo que se oponga a las normas, las especificaciones prevalecerán.

Estructura: Conjunto de elementos de una construcción que forman la parte resistente y sustentante de la misma.

F

Feldespatho: Componente del granito y rocas ígneas; siendo éste un silicato al ser atacado por los agentes atmosféricos se convierte en arcilla.

Flujo plástico (o Fluencia del material lateral). Es el incremento en deformación respecto al tiempo debido a una gran carga sostenida.

Formaleta: Estructura de metal, madera, plástico o cualquier otro material que sirve para mantener el concreto en la forma y dimensiones indicadas en los planos durante el estado plástico del mismo. Se diseñan con la rigidez suficiente para

evitar distorsiones, combamientos, alabeos, y aperturas de las juntas por la presión del concreto.

H

Hidroplaneo: Navegación sobre agua. Características que permiten posarse y desplazar sobre el agua.

Herrumbre: Capa de hidróxido férrico hidratado, formado por la acción del aire húmedo sobre el hierro.

I

Impermeabilizar: Protección de azoteas, cimientos, o cualquier elemento constructivo contra la acción del agua con productos impermeables.

Intemperismo: Acción fisicoquímica del medio ambiente sobre materiales de a construcción.

Intradós: Superficie interior y cóncava de un arco o bóveda. Cara de una dóvela que corresponde a estas superficies.

J

Junta constructiva: Holgura, distancia, hueco entre dos elementos constructivos.

L

Laboratorio: Firma consultora especializada en control de calidad de suelos y materiales y que dispone del equipo mecánico y humano necesario para realizar ensayos y pruebas de materiales. Trabaja como asesor del supervisor quien podrá delegar partes específicas de su autoridad durante el proceso constructivo.

Llana metálica: Herramienta del albañil para afinar acabado, concreto o aplanado.

Limpieza: Conjunto de trabajos realizados al interior y exterior del sitio de la construcción para desalojar los materiales de construcciones sobrantes y los escombros resultantes de la misma. Incluye el aseo final de la obra en todas sus partes.

Líneas y niveles del proyecto: Datos geométricos contenidos en los planos constructivos bajo cuyas indicaciones deberá llevarse a cabo la ubicación de una obra.

Lugar de la obra: Son aquellos terrenos y demás áreas sobre los cuales, debajo de los cuales y a través de los cuales, se ejecutan las obras y que son puestos a disposición del contratista por la autoridad contratante o su representante, específicamente para fines del contrato, así como todos los demás lugares indicados expresamente en el contrato, como parte del lugar de la obra.

M

Mampostería: Elementos de piedras naturales o artificiales, bloques macizos o huecos, unidos con mortero aglutinante, que se utilizan como cimientos y muros.

Malacate: Especie de cabrestante impulsado por caballerías, que se usaba para extraer agua o minerales de las minas.

Mediana: Franja longitudinal no destinada a la circulación que delimita la plataforma en dos zonas separadas.

Molde: Parte de la cimbra fabricada con madera, metal u otro material, formada por los elementos que estarán en contacto directo con el concreto hidráulico o con la mampostería y por aquellos elementos que sirven para darle forma y rigidez. En precolados forma de madera, metal u otro material que sirva para fabricar piezas de concreto hidráulico, de acuerdo con las secciones del proyecto.

Mortero: Mezcla y combinación de cemento, cal arena y agua: en las proporciones que se hayan determinado.

N

Norma: Conjunto de reglas, conceptos o parámetros cualitativos que tienen vigencia en El Salvador o en otros países, en las que deberán referirse o aplicarse los métodos constructivos. Las reglas determinan las condiciones de la realización de una operación, o las dimensiones, o las características de un objeto o producto. En las especificaciones técnicas y otros documentos contractuales se señalan las normas que regirán los trabajos a realizar y los ensayos a efectuarse. Debe entenderse que la documentación conteniendo tales normas será la revisión o edición más reciente publicada hasta la fecha de someterlas ofertas. Si el contratista deseara desviarse de las normas señaladas y aprobadas, deberá someter para su aprobación una declaración escrita en la que se manifieste la naturaleza exacta de la variación propuesta.

Normas de calidad de los materiales: Características que deben satisfacer los diversos materiales de construcción. Por ejemplo A.T.M.

O

Oblongo: Adj. Más largo que ancho.

Obra: Trabajo o construcción que se ejecuta de acuerdo con el proyecto y/o lo ordenado por la autoridad contratante o su representante y con sujeción a lo estipulado en las normas y/o especificaciones.

Obra de concreto: Construcción en la que la mayoría de sus secciones resistentes son de concreto, ya sea en masa, armado o pretensado.

Obra de fábrica: Construcción hecha con piedra, ladrillo y, en general, con materiales pétreos.

Obra de paso: Obra que salva una discontinuidad en el trazado de una vía para conseguir el paso de ella.

Obras exteriores: Conjunto de trabajos y obras que se realizan fuera de la construcción principal, para complementar y mejorar su funcionamiento, y con fines de protección y/o decoración.

Obra falsa: Parte de la cimbra, fabricada con madera, metal u otro material aprobado que sostiene los moldes en su lugar.

Obra metálica: Construcción en la que la mayoría de sus secciones resistentes son metálicas.

Obra mixta: Construcción en la que la mayoría de sus secciones resistentes son mixtas, es decir, aquellas en las que los materiales que las constituyen, generalmente acero estructural y concreto, trabajan solidariamente.

Obras preliminares: Trabajos y obras que es necesario ejecutar antes del descapote de un edificio, para proteger el terreno y las construcciones, así como para facilitar y permitir la iniciación de la construcción.

Obras provisionales: Significa todas las obras de carácter provisional de cualquier clase que sean y que se requieran para la ejecución y mantenimiento de las obras.

P

Paramento: Cada una de las caras de una pared.

Parapeto: Antepecho con escaso porcentaje de huecos para evitar la caída de vehículos y personas.

Pasarela: Puente para el paso, principalmente, de peatones y bicicletas, y en el que está prohibida la circulación de vehículos o trenes.

Piloteado: Hincado de pilotes o fabricación de éstos in situ, para formar parte de una estructura, de una cimentación para contener el empuje de tierras o consolidar el suelo.

Planos: Documentos contractuales que definen la obra y establecen las normas y obligaciones a que deben sujetarse el contratista para sujetar la misma, en lo que se refiere a la clase, dimensión, características generales, materiales, sistemas y procedimientos de trabajo.

Pretil: Barrera de seguridad específicamente diseñada para bordes de tableros de obras de paso, coronaciones de muros de sostenimiento y obras similares.

Pretensado. Método de preesforzar el concreto en el cual los tendones o cables son tensados antes que el concreto sea colocado en los moldes o formaletas.

Proyecto: Nombre de la obra, objetivos y alcances de la misma, conjunto de planos, datos normas especificaciones técnicas e instrucciones especiales que describen y definen la ejecución de la obra.

Proyecto Estructural: Conjunto de planos, memorias y especificaciones que definen las dimensiones y posición de los elementos integrantes de una estructura, así como la forma como se constituyen dichos elementos.

Postensado. Método de preesforzar el concreto en el cual los tendones o cables son tensados después que el concreto ha endurecido.

R

Repellado: Capa de mortero lanzado sobre un parámetro alisada con regla de madera.

Revoltura: Mezcla de cemento, agua y agregados pétreos finos y gruesos, para fabricar concreto hidráulico.

S

Socavación: Excavar por debajo de alguna cosa dejándola en falso y con riesgo de hundirse.

Soporte: Elemento de la estructura que transmite las acciones del elemento portante de las cargas a los cimientos o a otro elemento intermedio.

Soportes Especiales. Son los fabricados con materiales metálicos, contruidos para formar elementos tales como zapatas articuladas, balancines, rodillos, soportes colgantes, etc., de acuerdo con los detalles mostrados en los planos.

Soportes Deslizantes. Son los fabricados con almohadillas preformadas de resinas sintéticas o Elastoméricas, pudiéndose reforzar con planchas delgadas de fibras o de metal.

Sub-contratistas: Persona natural, jurídica o asociación de éstas que celebra contrato directamente con el contratista para el suministro de servicios de mano de obra, materiales o ambos, para la ejecución de una parte de la obra.

Superintendente: Arquitecto o ingeniero civil autorizado por el contratista, quien a tiempo completo dirigirá y coordinará todas las actividades de la obra, con autoridad para atender las instrucciones del supervisor.

Supervisor: El órgano gubernamental, la persona jurídica de derecho público o la persona física o jurídica designada por la autoridad contratante de conformidad con la legislación del estado de la autoridad contratante responsables de dirigir y/o controlar la ejecución del contrato, en los cuales la autoridad contratante puede delegar derechos y/o atribuciones con arreglo al contrato.

T

Tajamar: Apéndices triangulares o curvos que sobresalen de los extremos de las bases de las pilas para manejar la corriente de agua y los objetos que puedan arrastrar las crecientes.

Tablestacado: Estructura integrada por elementos de madera, metal, concreto reforzado o presforzado que unidos o acoplados entre sí e hincados en el terreno forman una estructura continua cuya finalidad fundamental es contener empujes de tierra en donde se efectúen trabajos para la construcción de cimentaciones o de otra índole como pantallas de protección contra corrientes de agua.

Talud: Superficie inclinada del material de un corte o de un terraplén. Paramento inclinado de un muro.

Tramo de un puente: Cada uno de las partes en que el tablero está dividido en su longitud.

Trazo: Conjunto de líneas que determinan ejes, elevaciones y referencias para la ubicación exacta de la obra en el campo y su ejecución de acuerdo con los documentos contractuales.

Tendón o Cable. Es el elemento de acero, alambre, barra o torón, o paquetes de estos elementos. Usados para aplicar el preesfuerzo al concreto.

Terraplén: Montículo largo y plano hecho de tierra para sobrellevar una superficie de rodaje sobre una depresión o hasta alcanzar el borde de un puente.

V

Varilla corrugada. Todas las barras de refuerzo de diámetro de 3/8" o superiores, que cumplen con las especificaciones de la norma ASTM A 615 con una resistencia a la fluencia de 4,200 kg/cm², (grado 60). Su punto de fluencia no excede en 25% al especificado. El porcentaje de elongación en 20cm no será

mayor que 10%. También cumple con la especificación de la ASTM A-305, para las dimensiones del corrugado.

Vía: Camino destinado al tráfico de vehículos automóviles.

Vibrador: Equipo que se utiliza para el vibrado del concreto, con motor de gasolina o eléctrico con cabezal de diferentes diámetros y chicote.

Vida útil: Se entiende por vida útil de un elemento o estructura, el periodo de tiempo a partir de su puesta en servicio, durante el cual debe cumplir la función para la que fue construido, contando siempre con la conservación adecuada pero sin requerir operaciones de rehabilitación. Para los puentes de carretera objeto del presente documento, se establece una vida útil de cien (100) años.

Z

Zapata: Macizo de concreto que transmite las cargas al terreno.

ANEXO 4. PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

1.1. Fundamentos del Proporcionamiento de Concreto

El diseño de mezclas de concreto es principalmente un procedimiento de laboratorio. Se experimenta con varias mezclas de concreto hasta que las proporciones finales son desarrolladas.

Si bien existen varios métodos para el diseño de mezclas de concreto, solamente hay un método para proporcionarlas. Todo concreto es proporcionado por peso de los materiales en él. Después de esto, los materiales pueden ser ajustados, o balanceados, usando alguno de los siguientes dos métodos:

- Balanceo basado en un peso asumido del concreto
- Balanceo basado en el volumen absoluto

El término “balanceo” será explicado con mayor detalle más adelante. Primero, el ingeniero debe comprender los conceptos fundamentales de volumen absoluto y gravedad específica. Cada uno de estos conceptos y su relación con los agregados fue discutidos previamente. Estos conceptos en particular se han convertido en muy importantes para el proporcionamiento del concreto.

1.2. Selección de las Propiedades de Concreto para una mezcla de Prueba

Es de ayuda para el ingeniero comprender el diseño de una mezcla de concreto. Los requerimientos del proyecto podrían dictar alguno de los siguientes parámetros (a todos):

- Relación agua-cemento
- Contenido mínimo de cemento
- Revenimiento
- Tamaño máximo del agregado
- Resistencia
- Aditivo a emplear

A pesar de que existen varios procedimientos que pueden ser usados, aquí será usado el método de American Concrete Institute (Referencia V-11). Este método incluye el mayor número de los procedimientos que el ingeniero podría usar para balancear una mezcla de peso. Usando este método, el ingeniero diseñador de la mezcla deberá trabajar a través de una serie de siete pasos. Estos siete pasos ajustan las características de los materiales disponibles en una mezcla de concreto que sea adecuada para los requerimientos del proyecto.

Paso 1. – Estimar el Revenimiento Requerido

El revenimiento que el diseñador de la mezcla usará depende de la aplicación que tendrá el concreto. El acabado con máquina usando cimba fija tiene típicamente un revenimiento máximo de 5 mm; con cimbra deslizante, 65 mm. Para nuestro

ejemplo, asuma que una pavimentadora de cimbra deslizante será empleada con un revenimiento estimado típico de 25 mm.

Paso 2. – Selección del Tamaño Máximo del Agregado

El tamaño máximo óptimo del agregado grueso para ser usado en pavimentos de concreto hidráulico está en el rango de 18 mm a 38 mm. El uso de agregados de este tamaño producirá el mejor balance entre resistencia y trabajabilidad para pavimentos de concreto. Agregados que cumplen con la especificación AASHTO M 43, Tamaño 57, son generalmente usados. Sin embargo, las especificaciones pueden variar. Para nuestro ejemplo, asuma que un agregado cumpliendo los requerimientos de la especificación AASHTO Tamaño 57 está disponible. Este agregado tiene un tamaño máximo de 25 mm.

Paso 3. – Estimación del Contenido de Agua y Aire Requerido

La cantidad de agua requerida para producir un revenimiento en particular en una mezcla de concreto depende principalmente de la cantidad de aire atrapado y del tamaño, forma y granulometría del agregado. La cantidad de cemento en una mezcla de concreto tiene un efecto relativamente pequeño en el revenimiento, comparado con los otros mencionados anteriormente. Conforme las condiciones de interperización se hagan más severas, más aire es necesario en la mezcla de concreto para producir concreto suficientemente durable.

Tabla V-8 muestra un estimado del agua mezclada y contenido del aire necesario para producir un metro cúbico de concreto para un tamaño en particular de tamaño del agregado.

Tabla V-8 Agua de mezclado aproximadamente para diferentes revenimientos y tamaños de agregados máximos nominales.					
Revenimiento (mm)	Tamaño Máximo de Agregado				
	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm
25 a 50	180	175	165	160	145
75 a 100	200	190	180	175	160

(Estas cantidades de agua de mezclado pueden ser usadas para calcular el contenido inicial de agua y cemento requerido para el concreto. Estos datos son válidos si el concreto se hace con agregados gruesos razonablemente bien formados angularmente, graduados dentro de los límites de especificaciones aceptables).

Para nuestro ejemplo, dado que el revenimiento ya había sido designado en el Paso 1 como 25 mm y el tamaño máximo del agregado, en el Paso 2 como 25 mm, es posible referirse a la Tabla V-8 para estimar el agua requerida en la mezcla de concreto. El contenido de agua aproximado deberá ser 160 Kg/m³ de concreto.

Además dado que la mayor parte de los pavimentos están sometidos a una interperización severa, se asumirá que el contenido de aire a usar es 6 por ciento.

Paso 4. – Selección de la Relación Agua-Cemento

Para determinar la relación agua-cemento requerida dos factores deben ser considerados. Primero, el concreto debe tener una resistencia adecuada y segundo, el concreto debe ser durable.

En la selección de la resistencia del concreto, es importante recordar que ésta es en cierta forma variable. No obstante, cuando mejor sea el control de calidad, menor será la variación de la resistencia del concreto. Con el fin de producir una mezcla de concreto que cumpla los requerimientos mínimos de resistencia, el diseñador asume un nivel de calidad específico. Entonces las mezclas hechas con ese diseño están por debajo de la resistencia mínima en más de un cierto porcentaje de las veces.

La selección de la variabilidad de la mezcla es responsabilidad del ingeniero diseñador. Sin embargo, éste deberá estar enterado de la razón por la que esas especificaciones frecuentemente requieren que un cierto porcentaje de los valores de resistencia sean mayores que el valor mínimo de resistencia. Esto es para compensar la variabilidad esperada.

Diferentes agregados y cementos producen diferentes resistencias para la misma relación agua-cemento. El diseñador algunas veces desarrolla gráficas de la relación agua-cemento contra la resistencia del concreto (curvas) para muchas combinaciones de agregados y cementos que puedan ser usadas. Sin embargo, sin siquiera referirse a estas, el diseñador puede hacer asunciones basadas en la información del desempeño del concreto en el pasado, acerca de cómo los valores de resistencia se relacionan aproximadamente con la relación agua-cemento (Tabla V-9)

Tabla V-9 Relación aproximada entre la relación agua-cemento inclusión de aire y la resistencia del concreto		
Resistencia a la compresión		Resistencia a la flexión a los 28 días
Relación a/c a los 28 días (km/cm ²)		Carga en el tercer punto (k/cm ²)
0.35	400	55
0.40	350	49
0.46	300	43
0.53	250	34
0.61	200	27

Los valores son resistencias estimadas para el concreto.

La durabilidad también deberá ser considerada cuando se esté determinando la relación agua-cemento. Si el pavimento de concreto no estará expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo o a la acción de sales deshielantes, entonces la relación agua-cemento puede ser determinada en base a los requisitos de resistencia y trabajabilidad. No obstante, si el pavimento de concreto estará en un medio ambiente donde habrá ciclos de congelamiento y deshielo, o expuesto a la acción de agentes deshielantes, la relación agua cemento no deberá exceder 0.50.

Para nuestro ejemplo, asuma que el concreto será colocado en un área sujeta a condiciones de congelamiento. Esto restringe automáticamente la relación agua-cemento a no más de 0.50. Es necesario también, alcanzar la mínima resistencia con la consideración de la variabilidad de la mezcla. Asuma que una resistencia del concreto de 330 Km/cm² logrará este objetivo. De la Tabla V-9, la relación

agua-cemento puede ser estimada en 0.42. Dado que esta relación es menor que aquella requerida por durabilidad, no es necesario ningún cambio y el valor de 0.42 será usado.

La cantidad de cemento que será usada en la mezcla de concreto es fija, como resultado de las decisiones hechas en los Pasos 3 y 4. Dado que el contenido de agua y la relación agua-cemento han sido determinadas, la cantidad de cemento necesaria pueden ser calculada fácilmente.

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{\text{Contenido de agua}}{\text{Relación agua-cemento}}$$

Para nuestro ejemplo, la cantidad de cemento necesaria se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{160 \text{ Kg} / \text{m}^3}{0.42} = 381 \text{ Kg/m}^3$$

A menos de que las especificaciones requieran un contenido de cemento mayor, éste será usado en el diseño de la mezcla de concreto.

Paso 6. –Estimación del Contenido de Agregado Grueso

Si dos mezclas de concreto tienen trabajabilidad similar, entonces la cantidad, gradación y tamaño máximo del agregado en las mezclas debe ser similar. El módulo de finura del agregado fino tiene un efecto distinto en la cantidad de agregado grueso necesario. Consecuentemente, este módulo de finura es donde se

debe empezar para la determinación de la cantidad de agregado grueso que será usada en la mezcla de concreto.

La tabla V-10 muestra la porción aproximada del volumen de concreto que es ocupada por el agregado grueso, dependiendo del tamaño máximo del agregado y del módulo de finura del agregado fino. Por ejemplo, si el tamaño es 20 mm. Y el módulo de finura es 2.60, el volumen del agregado grueso será 0.70 del volumen de concreto.

Tabla V-10 agregado grueso apisonado en seco, por unidad de volumen de concreto				
Tamaño máximo de agregado (mm)	Módulo de finura del agregado Fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.55	0.53	0.51	0.48
12.5	0.65	0.63	0.61	0.58
20	0.73	0.70	0.68	0.66
25	0.78	0.76	0.74	0.72
40	0.84	0.81	0.79	0.77
Volúmenes basados en condiciones de agregados apisonados en seco				

Una vez que la cantidad de agregado grueso ha sido determinada para un módulo de finura dado del agregado fino, y para un peso apisonado en seco y tamaño máximo del agregado grueso, esta cantidad se convierte en un número fijo para todo el concreto a producir que siga este diseño.

Para nuestro ejemplo, asuma que el agregado fino que será empleado cumple los requisitos de la especificación con un módulo de finura de 2.60 también, asuma que el peso unitario apisonado en seco del agregado grueso es 1,617 km/m³. Dado

que el tamaño máximo del agregado se estableció como 25 mm en el Paso 2, es posible determinar el volumen de agregado grueso a ser usado en la mezcla. De la Tabla V-10, bajo 2.60 y opuesto a 25 mm el volumen es 0.76.

El peso del agregado grueso a ser usado puede ser calculado como:

$$1,617 \text{ km/m}^3 \times 0.76 = 1,229 \text{ km/m}^3$$

Paso 7. – Estimación del Contenido de Agregado Fino

Después de que el Paso 6 ha sido completado, todas las cantidades de los ingredientes del concreto han sido estimadas excepto la de agregado fino. La selección de la cantidad de agregado fino a emplear es el último paso en la estimación inicial de los pesos de los ingredientes de la dosificación. Consecuentemente, la cantidad de agregado fino es usada para “balancear” la mezcla de concreto; esto es, usado para asegurar que se producirá el volumen o el peso unitario esperado de concreto.

ANEXO 5. CRITERIOS DE ACEPTACION DEL AGUA

Tabla 5.1 Criterio de Aceptación para suministros de Aguas de Calidad Dudosa

	Límites	Método de Ensayo
Resistencia a la compresión, en % mínimo de la resistencia a la compresión de la mezcla de control a los 7 días.	90	AASHTO T 106 ⁽¹⁾ ASTM C 109
Tiempo de fraguado final, desviación a partir del tiempo de fraguado final de la mezcla de control, en horas y minutos.	Desde 1.0 horas menos hasta 1.5 horas más.	AASHTO T 131 ⁽¹⁾ ASTM C 191

- (1) La comparación debe basarse en proporciones fijas de los componentes de la mezcla y el mismo volumen de agua de ensayo, comparando con una mezcla de control en la que se haya empleado agua municipal o agua destilada.

Tabla 5.2 Requisitos químicos del agua de mezclado cuando se le agregan aguas de lavado

	Concentraciones máximas permitidas en mg/L ⁽¹⁾	Método de Ensayo
Cloruros, como cl:		
1. Concreto preesforzado o concreto reforzado en losas de puentes.	500 ⁽²⁾	AASHTO T260 ASTM D512
2. Otros concretos reforzados en un ambiente húmedo o que contenga piezas empotradas de aluminio o esté en contacto con formaletas de metal galvanizado.	1000 ⁽²⁾	AASHTO T260 ASTM D512
3. Concreto reforzado que se mantendrá seco o protegido de la humedad.	Ningún límite para efectos de corrosión.	AASHTO T260 ASTM D512
Sulfato como SO ₄ : ⁽¹⁾	3,000	ASTM D516
Alcalis como (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O) ⁽¹⁾	600	ASTM D516
Sólidos Totales, ppm ⁽²⁾	50,000	AASHTO T26

⁽¹⁾El agua para lavado que se utilice como agua de mezclado del concreto, podrá contener concentración del agua contenida en los agregados, el cemento, los aditivos y la procedente de otras fuentes, no excede los límites establecidos en esta Tabla.

ANEXO 6. ADITIVOS PARA MEZCLAS DE CONCRETO

6.1. OBJETIVOS

Esta sección provee información de los más avanzado en aditivos para concreto en los términos siguientes:

- Los principales tipos de aditivos y sus funciones
- Las condiciones bajo las cuales un aditivo deberá ser empleado

6.2. INTRODUCCIÓN

Los aditivos son compuestos que mejoran una o más características del concreto, ya sea en su estado plástico o endurecido. Los aditivos también pueden hacer los pavimentos de concreto hidráulico menos caros, ofreciendo mejor calidad.

El término “aditivo químico” generalmente es usado para referirse a substancias solubles en agua. El término “aditivos minerales” es generalmente usado para substancias que consisten de roca pulverizada, de carbón negro usado para colorear el concreto, o puzolanas tales como las cenizas volantes.

6.3. ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE

Los aditivos inclusores de aire son usados en el concreto para producir deliberadamente burbujas de aire muy pequeñas espaciadas uniformemente en la mezcla de concreto. El uso de aditivos inclusores de aire resulta en el mejoramiento de la trabajabilidad del concreto en estado plástico y de mayor resistencia a ciclos de congelamiento y deshielo.

La eficiencia de los aditivos usados en la inclusión de aire puede ser afectada por muchos factores. Los siguientes, son los más importantes:

- Concentración de aditivo inclusor de aire.
- Presencia de otros aditivos. Si otros aditivos están presentes, éstos pueden afectar la eficiencia del aditivo inclusor de aire.
- Tiempo y velocidad de mezclado de concreto. Si la velocidad de la mezcladora es muy baja, o el tiempo de mezclado no es suficientemente largo, no será posible la suficiente inclusión de aire.
- El contenido de agua de la mezcla de concreto. Una mayor cantidad de agua en la mezcla ayudará al aditivo inclusor a atrapar más aire, por el contrario, una menor cantidad de agua inhibirá este proceso.
- Agregados. La inclusión de aire puede ser dramáticamente afectada por la granulometría y forma de las partículas del agregado. También, cambios en la forma del agregado de redondeado a angular tienden a incrementar la efectividad del agente inclusor de aire.
- Temperatura. La temperatura tibia o caliente inhibe la inclusión de aire; por el contrario, la temperatura fresca la incrementa.
- Contenido de cemento y finos. Materiales muy finos, ya sea Portlad, puzolana o partículas pequeñas de arena, reducen la eficiencia de los aditivos inclusores de aire.

Sólo pequeñas cantidades de aditivo inclusor de aire son requeridas para obtener los resultados deseados. La cantidad de ingrediente activo requerida es aproximadamente 0.05 por ciento por peso de cemento.

6.4. Aditivos Reductores de Agua

Los aditivos reductores de agua son compuestos químicos que minimizan las cargas eléctricas entre las partículas de cemento, disgregándolas y dispersándolas. Este efecto de dispersión de partículas de cemento las distribuye más uniformemente en la mezcla de concreto, reduciendo la cantidad de agua requerida en la mezcla.

La dispersión de las partículas de cemento mejora la eficiencia del cemento. Las partículas reaccionan con el agua libremente y unen las partículas de los agregados.

El agua disipada hace la mezcla más trabajable al actuar como lubricante entre las partículas de los agregados.

Los aditivos reductores de agua pueden ser usados de las maneras siguientes:

- Para un contenido fijo de agua y cemento, mejoran la trabajabilidad de la mezcla.
- Incrementan la resistencia del concreto hidráulico debido al incremento en la eficiencia del cemento.
- Reducen el contenido de agua, sin afectar adversamente la trabajabilidad.

Debido a este efecto, la resistencia del concreto aumenta.

Hay aditivos reductores de agua que retardan o aceleran el tiempo de hidratación del cemento. Los retardantes son frecuentemente empleados en la pavimentación bajo climas cálidos.

Las dosificaciones recomendadas para aplicaciones específicas de estos aditivos son dadas por el fabricante.

6.5. ADITIVOS RETARDANTES DEL FRAGUADO

Los aditivos retardantes del fraguado pueden retardar significativamente el tiempo de fraguado del concreto. En la construcción de pavimentos, estos tipos de aditivos son usados principalmente para retardar el fraguado inicial del concreto cuando se tienen colados bajo climas cálidos. Estos aditivos también pueden ser empleados cuando el concreto es colocado en dos capas. En esta última aplicación, los aditivos retardantes sirven para prevenir el desarrollo de juntas frías entre las capas.

A pesar de que el fabricante recomiende una dosificación específica por peso de cemento, generalmente se requieren ajustes para cada trabajo específico.

La mayoría de las dependencias que usan agentes retardantes recomiendan la dosificación de estos como una función de la temperatura. Conforme la temperatura aumenta, la dosis normalmente aumenta. Cuando se emplee un aditivo retardante, el acabado del concreto puede ser retardado.

6.6. Aditivos Acelerantes del Fraguado

Son empleados cuando es importante que el concreto alcance el fraguado inicial y/o alta resistencia rápidamente. Los acelerantes son mayormente afectados por la temperatura de mezclado y colado del concreto. Generalmente son usados en climas fríos (bajo 70°C) para acelerar el fraguado del concreto y minimizar el tiempo que el mismo debe ser protegido contra temperaturas de congelamiento. El tipo más común de aditivo acelerante es el cloruro de calcio.

6.7. ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO

Otro aditivo para el concreto es el reductor de agua de alto rango (superfluidificante). A pesar de no ser aplicable en la generalidad de los trabajos de pavimentación, estos aditivos son bastante efectivos para pavimentaciones donde se usen métodos manuales. Los superfluidificantes mejoran dramáticamente la trabajabilidad de la mezcla, más allá de lo alcanzable con los reductores de agua estándar. No obstante, con el uso de este tipo de aditivos el tiempo trabajable y de colado del concreto se reduce significativamente. Los aditivos reductores de agua de alto rango no son generalmente empleados en trabajos de pavimentación, sino más bien usados extensivamente en estructuras de concreto reforzado y preforzado diferentes que los pavimentos.

6.8. ADITIVOS PUZOLÁNICOS

Las puzolanas son de hecho uno de los principales precursores del cemento Portland de hoy en día. Una puzolana natural, la ceniza volcánica, fue uno de los principales materiales cementales usados por los Griegos y los Romanos en la antigüedad. Técnicamente, las puzolanas están definidas en la especificación ASTM C 618. Estas reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio en el concreto hidráulico a temperaturas ordinarias para formar compuestos cementantes. Un tipo de puzolana comúnmente usada en la construcción de concreto es la ceniza volante, que es un producto de desperdicio resultante de la combustión de carbón pulverizado en las plantas de energía eléctrica impulsadas por el vapor.

La ceniza volante se divide en dos clases: Clase C y Clase F. Los carbones subbituminosos o carbones lignitos producirán cenizas Clase C, mientras que la antracita o los carbones bituminosos producirán ceniza Clase F. La reactividad es la capacidad de la ceniza de proveer acción cementante cuando se combina con agua.

Las cenizas Clase F son relativamente bajas en cuanto a reactividad y las cenizas Clase C reaccionan lo suficiente con el agua como para fraguar y endurecer, algunas veces en cuestión de segundos, produciendo considerables cantidades de calor en el proceso. Ambas clases de cenizas reaccionan con el hidróxido de calcio producido cuando el cemento se hidrata. Por esto, las cenizas son usadas en combinación con el cemento en la construcción de pavimentos de concreto.

Cuando son usadas en una mezcla de concreto, las puzolanas son generalmente añadidas como reemplazo de un cierto porcentaje de cemento. Este porcentaje puede variar. La mayoría de las especificaciones que permiten el uso de puzolanas requieren una mayor cantidad de cenizas volantes Clase F o puzolana Clase N, que de ceniza volante Clase C.

La ceniza volante puede ayudar a controlar el problema de trabajabilidad, particularmente cuando los agregados son deficientes en materiales finos. La puzolana provee material fino adicional que ayuda a separar las partículas de agregado grueso, haciendo la mezcla más trabajable.

La ceniza volante tiene una gravedad específica relativamente baja, con un rango entre 2.27 y 2.75, comparado con 3.15 del cemento. Las puzolanas son

generalmente empleadas en la mezcla para reemplazar un peso igual de cemento. Debido a la menor gravedad específica de ceniza volante, el volumen de ceniza agregada es mayor que el del cemento removido. Por esta razón, las cenizas pueden incrementar la demandad de agua en las mezclas de concreto.

El mayor contenido de finos también ayuda a prevenir el sangrado del concreto. Este cambio en el volumen también afectará las proporciones de la mezcla.

La ceniza volante puede causar los siguientes efectos:

- Reducir la efectividad de los aditivos inclusores de aire
- Extender el tiempo de fraguado
- Aumentar la resistencia del concreto hidráulico
- Retardar la ganancia de resistencia

La ceniza volante puede también ayudar a minimizar la reacción de los agregados con álcalis en el concreto. Partículas muy finas de silicio, contenidas en la ceniza volante, tienden a reaccionar con los álcalis y agotarlos antes de que puedan causar algún daño significativo al concreto.

6.9. Precauciones Generales Para el Uso de Aditivos

Los aditivos pueden ser usados para producir concretos de mejor calidad, pero si son usados en forma inadecuada pueden producir concreto de baja calidad. Se recomienda que el concreto y los aditivos sean proporcionados y probados en el laboratorio antes de ser usados en pavimentación.

Los aditivos generalmente vienen con instrucciones específicas acerca de cómo deben ser usados, la mayoría de los aditivos son incompatibles con otros aditivos

cuando se mezclan en forma concentrada, por lo cual, los aditivos son generalmente agregados al concreto en forma separada.

La mayor parte de los aditivos afectará la cantidad y la calidad de la inclusión de aire en el concreto. Cuando se usen aditivos, puede ser importante monitorear con mayor detalle el contenido de aire en el concreto en estado plástico.

6.10. Resumen

Los aditivos pueden ser usados para modificar las propiedades del concreto, haciéndolo más adecuado para alguna aplicación en particular.

Algunos de los usos más importantes de los aditivos de concreto para pavimentación son:

- Mejora la trabajabilidad,
- Acelerar el ritmo de ganancia de resistencia,
- Retardar el fraguado del concreto,
- Incrementar la resistencia del concreto,
- Controlar el sangrado del concreto, e
- Incrementar la durabilidad del concreto.

La mayoría de los aditivos son afectados por cambios en las propiedades de los otros materiales incluidos en el concreto. Si se hacen cambios en los materiales, la calidad del concreto deberá ser monitoreada con mayor detalle que lo usual hasta que la mezcla sea estable.

ANEXO 7. MEMORIA DE DISEÑO DE PUENTE CONCHAGUA

MEMORIA DE DISEÑO

ESTRUCTURAL

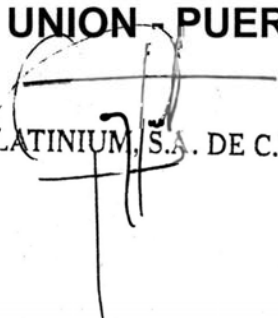
PUENTE

CONCHAGUA

PROYECTO

DISEÑO Y CONSTRUCCION CARRETERA

SIRAMA - LA UNION - PUERTO CUTUCO


PLATINIUM, S.A. DE C.V.

AGOSTO 2003

CARGAS CONSIDERADAS.

CARGAS CONSIDERADAS

CARGA VIVA

Para el cálculo de este puente se ha utilizado la carga del camión HS -25.

DISEÑO SISMICO

Se ha tomado como coeficiente de aceleración $A = 0.40$ de la gravedad

CARGA MUERTA

El peso de los materiales que integran la estructura se especifican a continuación:

Concreto Reforzado	2,400 Kg/m ³
Concreto Bituminoso (5 cms. de espesor)	120 Kg/m ²
Relleno de Tierra Compactada	1,600 kg/m ³
Acero de Refuerzo	7,850 kg/m ³

ESPECIFICACIONES GENERALES DE LOS MATERIALES.***ZAPATAS Y LOSA DE APROXIMACION:***

f_c DEL CONCRETO, 210 kg/cm²
ACERO GRADO 60, f_y=4200 kg/cm²

LOSA DEL PUENTE, ESTRIBOS Y POSTES:

f_c DEL CONCRETO, 280 kg/cm²
ACERO GRADO 60, f_y=4200 kg/cm²

VIGAS POSTENSADAS:

f_c DEL CONCRETO, 350 kg/cm²
ACERO GRADO 60, f_y=4200 kg/cm²
GRADO 40, f_y=2800 kg/cm² (CORTANTE)
CABLES DE ø 0.60" DE 7 ALAMBRES,
RELEVADOS DE ESFUERZOS FPU=270 KSI.

APOYOS ELASTOMERICOS:

NEOPRENO DE 60 DUROMETROS.

DISEÑO ESTRUCTURAL

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Ago-03	

ANALISIS SISMICO

Referencia:

- AASHTO, AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGES, 1998

- REGLAMENTO PARA LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LAS CONSTRUCCIONES
DE LA REPUBLICA DE EL SALVADOR

CLASIFICACION DEL PUENTE SEGUN ESPECIFICACIONES.
AASHTO Sección 3, División I - A.

- Requerimientos Generales.

Artículo 3.11

Para puentes de 1 claro no aplican los requerimientos de las secciones 4, 5, 6 y 7, la fuerza sísmica se calcula de la siguiente forma:

Fuerza Sísmica, F_s : $F_s = A S W$

W , Peso de la superestructura.

a) Coeficiente de aceleración, A .

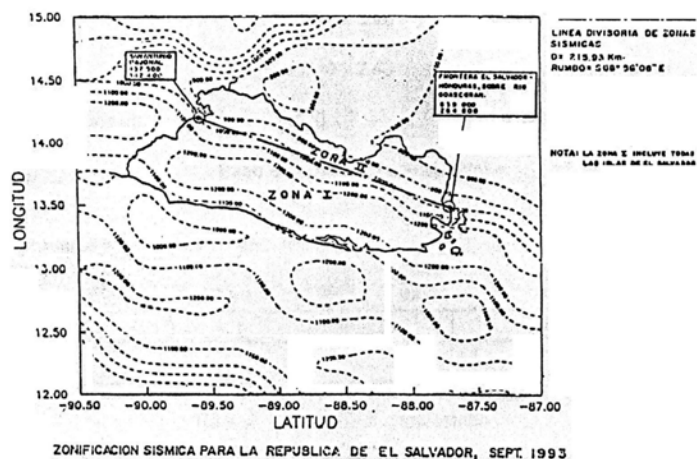
b) Efectos del sitio, S .

Del Reglamento de la república de El Salvador:

De la Tabla 3.5.1, se obtiene

ZONA A = 0.40

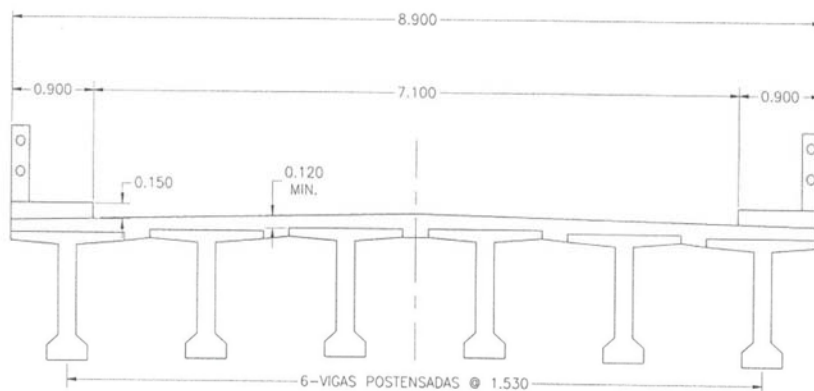
S = 1.0



TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Ago-03	

CALCULO DE FUERZAS SISMICAS

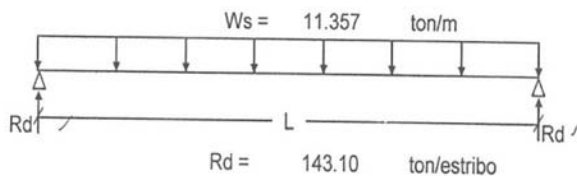
A)- CARGAS MUERTAS



Viga Preesforzada	6 x 0.395 x 2.40	5.688 ton/m
Bloques terminales	(0.616-0.395)x2x6x2x2.4/Lpuente	0.505 ton/m
Diafragmas	0.80x1.33x0.20x5x3x2.4/Lpuente	0.304 ton/m
Losa	1.30m ² x 2.40	3.120 ton/m
Acera	0.15 x 1.80 x 2.40	0.648 ton/m
Pavimento	0.05 x 7.10 x 2.40	0.852 ton/m
Barrera de Concreto	0.120 x 2	<u>0.240</u> ton/m

Peso de superestructura (Ws) = 11.357 ton/m

Longitud de puente = 25.20 m



TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Ago-03	

B)- Peso sísmico (Wsísmico) :

$$W_{sismico} = W_s + (\text{Peso de subestructura})$$

$$\text{Longitud del Puente} = \boxed{25.20} \text{ m}$$

$$\text{Altura de Estribo} = \boxed{3.25} \text{ m (se tomará la mitad de la altura) } \checkmark$$

$$\text{Area de pared} = \boxed{3.56} \text{ m}^2 (8.90 \times 0.40) \checkmark$$

$$\text{Area de Contrafuerte} = \boxed{0.46} \text{ m}^2 (0.65 \times 0.70)$$

$$\# \text{ de Contrafuertes} = \boxed{4}$$

$$W_d = 3.330 \text{ ton/m (2 estribos)}$$

$$\boxed{W_{sis.total} = 14.688 \text{ ton/m}}$$

FUERZAS SISMICAS

$$L \text{ puente} = \boxed{25.20} \text{ m}$$

$$\text{Coef. de aceleración (A)} = \boxed{0.40}$$

$$\text{Coeficiente del suelo (S)} = \boxed{1.00}$$

$$\text{Peso total, } W = 370.13 \text{ ton}$$

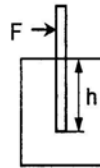
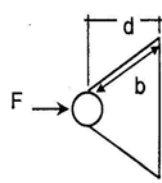
$$\text{Fuerza sísmica, } F_s = A S W = 148.05 \text{ ton}$$

$$\text{Fuerza por estribo} = 74.03 \text{ ton} \checkmark$$

$$F \text{ longitudinal} = F \text{ transversal} = 74.03 \text{ ton / Estribo}$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Ago-03	

Resistencia al corte del concreto:



$$h = 50.00 \text{ cm}$$

$$d = 30.00 \text{ cm}$$

$$b = 42.43 \text{ cm}$$

$$f'c = 280 \text{ kg / cm}^2$$

$$\text{Fuerza Sísmica (F)} = 18.14 \text{ ton / barra}$$

Resistencia del concreto.

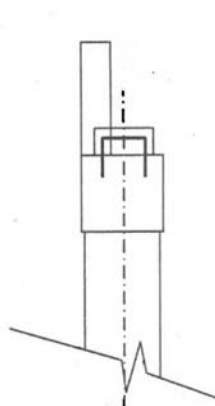
$$v_c = 2\sqrt{f'c} bwd \quad \text{Art. 8.16.6.2}$$

$$bw \times d = (2b \times h) \quad (2b \times h) = 4242.63 \text{ cm}^2$$

$$v_c = 37.73 \text{ ton} < F \text{ o.k!!!}$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Ago-03	

b) Diseño de bloques Antisísmicos.



$$f_y = 4200.00 \text{ kg/cm}^2$$

Fuerza de diseño (sin factorizar) :

$$\text{Cortante Transversal} = 74.03 \text{ ton/pila}$$

$$A_{vf} = V_u / f_y \mu$$

$$V_u = V_n / 0.85$$

$$V_u = 87.1 \text{ ton}$$

Para conexiones, factor de modificación, $R = 0.8$

$$V_u / R = 108.86 \text{ ton}$$

$$\mu = 1.0\lambda$$

$$\lambda = 1.0 \text{ (concreto de peso normal)}$$

$$A_{vf \text{ total}} = 25.92 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ de bloques} = 5$$

$$A_{vf} = 5.18 \text{ cm}^2/\text{Bloque}$$

$$\# \text{ de varilla} = 5$$

$$\text{Area de varilla} = 1.98 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ de ramales} = 2$$

$$\# \text{ de varillas por bloque} = 1.31 \text{ (dobles)}$$

Colocar 2 Varillas N 5 por bloque

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Ago-03	

APOYO MINIMO DE VIGA

$$N = (305 + 2.5L + 10H) \times (1 + 0.000125S^2)$$

Estribo

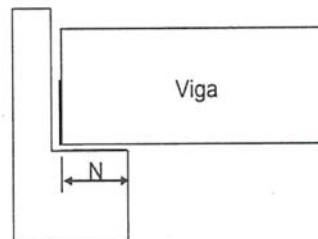
$$L = 25.20 \text{ m}$$

$$\text{Esviaje, } S = 0 \text{ Grados}$$

$$H = 0 \text{ m}$$

$$\text{Nestribo} = 36.80 \text{ cm}$$

H = 0, para puentes de un claro.



SUPERRESTRUCTURA

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO
Claro de Diseño (m): 24.75				
1. + ESQUEMAS.				
Fig. 1 Centro del Claro.			Fig. 2 Bloque Extremo.	
Fig. 3 Secc. Longitudinal.				
* NOTA: Los círculos blancos en las figuras representan el centroide de los ductos de Presfuerzo.				
* ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.-				
Standard Specification for Highway Bridges, Sixteenth Edition, 1996.				

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO

2. + GENERALIDADES.

Viga Tipo WS-120

Sep. de vigas s =	1.53 m
Longitud c/c L =	24.75 m
Esp. de Losa tr =	0.12 m
Esp. Pavimento:	0.05 m
Esp. Acera:	0.15 m
Ancho Acera:	1.80 m
Carga de Diseño:	HS-25
Ancho Total del Puente:	8.90 m
Ancho de Rodaje:	7.10 m
No de Carriles de Tránsito:	2
No de vigas	6
Humedad Relativa (RH%):	40

Dimensiones del diafragma: 0.8 x 0.20 [m]
 Espesor del filete: 0.03 m

Peso de barandal: 0.00 ton/m
 Peso de barreras: 0.36 ton/m
 Utilidades Futuras: 0.00 ton/m

Viga Continua ? [S/N] N

Y = 0.003895 * X^2

3.+ MATERIALES

* NOTA: Las vigas serán postensadas a los t = 21 días ✓

+ Concreto:

Losa	f _{ci} =	280 kg/cm ²	
Inicial a "t" días (viga)	f _{ci} =	336 kg/cm ²	96.00%
Después de Pérd.	f _c =	350 kg/cm ²	

+ Acero de presfuerzo:

- Grado 270 = 18900 kg/cm²
- Usando Cables de siete alambres 0.6" A_p = 0.217 in²
- Acero de Baja
- Relajación: γ* = 0.28
- Centr. de Ductos:

(En L/2) h ₁ =	3.40 in	=	8.647 cm	Excentricidad de análisis =	59.65 cm
(Extremo) h ₂ =	26.89 in	=	68.30 cm	Excentricidad en Extremo =	0.00 cm
Análisis a:	0.50 x L	=	12.38 m	Excentricidad en L/2 =	59.65 cm

+ Acero de refuerzo:

- Grado 60 = 4200 kg/cm² Factor de reducción de presfuerzo:
- No. de Varilla para Estribos: 4 A_v = 1.27 cm² F = 0.94
- No. de Varilla para Ref. Longitudinal: 5 A_b = 1.98 cm²

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO
4. + PROPIEDADES DE VIGA.				
a) <u>Sección no compuesta (viga simple)</u> ENTRADA DE DATOS EN PULGADAS				
h=	47.24 in	120.00 cm		
A=	612.25 in ²	3950.00 cm ²	0.395 m ⁴	
Yb=	26.89 in	68.30 cm		
Yt=	20.35 in	51.70 cm		
I=	169238 in ⁴	7044232 cm ⁴	0.0704 m ⁴	
Patín Superior b' =	49.21 in	125.00 cm		
Patín Superior hf=	3.15 in	8.00 cm		
Ancho Alma bw =	7.87 in	20.00 cm		
Patín Inferior bi =	17.72 in	45.00 cm		
Patín Inferior hfi =	5.91 in	15.00 cm		
St=	8314.6 in ³	136252 cm ³		
Sb=	6293.8 in ³	103137 cm ³		
Relación Modular:	0.894 [Ec(losa)/Ec(viga)]			
b) <u>Sección compuesta.</u>				
Ac=	866.813 in ²	5592.3 cm ²		
Yc=	33.56 in	85.24 cm		
Ic=	262499 in ⁴	10926043 cm ⁴		
Stc=	19184.2 in ³	314373 cm ³		
Sbc=	7821.6 in ³	128172 cm ³		
Stcs=	14260.3 in ³	233684 cm ³		
Ytc=	13.68 in	34.76 cm		
Ybc=	33.56 in	85.24 cm		
Ytcs =	18.41 in	46.76 cm		
d) <u>Bloque Extremo.</u>				
Ae =	837.0 in ²	5400.0 cm ²		
Yeb =	23.62 in	60.00 cm		
Yet =	23.62 in	60.00 cm		
Ie =	155683 in ⁴	6480000 cm ⁴		
Seb =	6590.6 in ³	108000 cm ³		
Set =	6590.6 in ³	108000 cm ³		

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.				
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO				
5. + EVALUACION DE CARGAS								
a) Cargas Muertas (DL).								
Wo	Peso propio de viga	0.948	(Ton/m)					
DL	Losas densas tribut.	0.441						
		Filete	0.090					
	DL=	0.531	(Ton/m)	Diafragma : Pd = 0.511 (Ton)				
SDL	Aceras	0.108						
	Utilidades Futuras	0.000						
	Barreras (Barandales)	0.060						
	Pavimento	0.142						
SDL=	0.310	(Ton/m)						
	No. de Diafragmas=	2						
	Separación =	8.25		m				
b) Carga Viva (LL)								
HS-25	Carga Concentrada:	22500	Lbs	(Para Momento)				
	Carga Concentrada:	32500	Lbs	(Para Cortante)				
	Carga Distribuida:	800	Lbs/pie					
b.1) Impacto Longitud de impacto= 24.75 m								
	I =	0.242						
b.2) Factor de Distribución								
	Fd =	0.913 = S/5.5 [S en pies]						
6. + CALCULO DE MOMENTOS.								
a) Carga Muerta								
• Estado inicial								
	Peso Propio	Mwo =	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>X = k * L</td> <td>X = L/2</td> </tr> <tr> <td>72.59</td> <td>72.59</td> </tr> </table> ton-m (Mo)		X = k * L	X = L/2	72.59	72.59
X = k * L	X = L/2							
72.59	72.59							
	(DL)	MDL =	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>40.63</td> <td>40.63</td> </tr> </table> ton-m (Mdp)		40.63	40.63		
40.63	40.63							
	(Diafr.)	Mdiaf =	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>4.21</td> <td>4.21</td> </tr> </table> ton-m		4.21	4.21		
4.21	4.21							
• Estado final								
	(SDL)	MSDL =	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>23.74</td> <td>23.74</td> </tr> </table> ton-m (Mdc)		23.74	23.74		
23.74	23.74							
			56.66	50.73				
* Momento por carga viva de Apéndice A de AASHTO u otro análisis (Análisis por carril).								
	Momento por Carga Viva:	1483.14 kips-ft						
Momento por carga viva e Impacto = 840.961 kips-ft/vig. HS-25								
	ML+I =	116.24 Ton-m						

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.	
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO	
7. + CALCULO DE ESFUERZOS.					
a) <u>Esfuerzos Permisibles.</u>					
• Estado Inicial					
(s) f _{tt} =	14.66 kg/cm ²				
(l) f _{ct} =	184.8 kg/cm ²			9.15.2.1	
• Estado Final					
(s) f _{cs} =	140.0 kg/cm ²				
(l) f _{ts} =	29.93 kg/cm ²			9.15.2.2	
b) <u>Determinación de Fza máxima de Presfuerzo inicial (Po).</u>					
* Estado inicial (Transmisión).					
• Tensión, fibra superior					
r ² =	276.42 in ²	1783.35 cm ²			
Po =	367.9	Ton.			
• Compresión, fibra inferior					
Po =	306.87	Ton.			
» Usar Po =	290.00	Ton.	Po (max)=	306.00 Ton.	
* Estado Final (Servicio). Utilizando un factor de Pérdidas R = 0.85					
Pe =	246.5	Ton			
• Compresión, fibra Superior					
f _{sp} =	45.52	-86.19	-44.53	=> -85.2 kg/cm ² ok !!	
• Tensión, fibra inferior					
f _{ip} =	-204.98	113.86	109.21	=> 18.1 kg/cm ² ok !!	
Esf. Iniciales.					
	Perm. Inicial	Presfuer. Po	Peso Viga	TOTAL (kg/cm ²)	Status
Sup.	14.7	53.55	-53.28	0.3	ok!!
Inf.	184.8	-241.15	70.38	-170.8	ok!!
Esf. Finales.					
	Perm. Final	Presfuer. Pe	Peso Viga, Losa y Diaf.	Superimp. y viva	TOTAL (kg/cm ²)
Sup.	140	45.52	-86.19	-44.53	-85.2
Inf.	30	-204.98	113.86	109.21	18.1

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO
8. + REVISION POR RESISTENCIA.				
• REVISION POR FLEXION.				
8.1) Momento Ultimo (Mu).				3.23
	$Mu = 1.3[Md + 1.67M(L+I)]$			
	Mu = 435.88 Ton-m			
8.2) Momento de Agrietamiento (Mcr*).				9.18.2
	$Mcr^* = (fr+fpe)Sc - Md/nc(Sc/Sb - 1)$			
	Sb = St			
	Sc = Sbc			
	Md/nc = MDL+Wo			
	Mcr* = 317.39 Ton-m			
8.3) Momento Resistente (ϕMn).				
	$\phi Mn = \phi[As^*fsu^*d(1-0.6\rho^*fsu^*/f_c)]$ (Sección Rectangular)			9.17.2
	$\phi Mn = \phi\{As^*fsu^*d[1-0.6Asr^*fsu^*/(b'df_c)] + 0.85f_c(b-b')(t)(d-0.5t)\}$ (Sección con Patín)			9.17.3
	($\phi = 0.95$)			9.14
a) $As^* ?$				
	$As^* = Po / (0.7f_s) = 21.92 \text{ cm}^2$	Rige =	$21.92 \text{ cm}^2 = 3.40 \text{ in}^2$	
	$As^* = Pe / (0.8fy^*) = 19.18 \text{ cm}^2$			9.15.1
		Usando cables de 7 alambres $\phi \frac{1}{2}$ ":		
Area de acero de preesfuerzo mínima :	16 Cables	No. de cables a especificar:	17 Cables	
		($As^*_{prop.} = 23.80 \text{ cm}^2$)		
b) $\rho^* ?$				
	$\rho^* = As^* / bdc = 0.0014$	Peralte Efectivo: dc =	126.35 cm	
		d =	111.35 cm	
c) $fsu^* ?$				
	$fsu^* = f_s[1 - (\gamma^*/\beta)(\rho^*f_s/f_c)]$	$\gamma^* = 0.28$		9.17.4
		$\beta_1 = 0.81$		8.16.2.7
	$fsu^* = 18293.0 \text{ kg/cm}^2$			
d) Verificar si se comporta como sección Rectangular.				
	$As^*fsu^*/(0.85f_c b) < t_f$			9.17
	La sección se comporta como Rectangular !!			
• Indice de Refuerzo:				
	$l_r = 0.0899 < 0.36\beta_1 \text{ ok !!}$			9.18.1
$\phi Mn = 494.40 \text{ Ton-m}$	$> Mu \text{ ok !!}$			
	$> 1.2Mcr \text{ ok !!}$			9.18.2

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO
• REVISION POR RESISTENCIA DESPUES DE PERDIDAS.				
• REVISION POR FLEXION.				
9.6.1) Momento Ultimo (Mu).	$M_u = 1.3[MD + 1.67M(L+I)]$ $M_u = 435.88 \text{ Ton-m}$			3.23
9.6.2) Momento de Agrietamiento (Mcr*).	$M_{cr^*} = (f_r + f_{pe})S_c - M_d / \eta_c (S_c / S_b - 1)$ $S_b = S_t$ $S_c = S_{bc}$ $M_d / \eta_c = MDL + W_o$ $M_{cr^*} = 307.74 \text{ Ton-m}$			9.18.2
9.6.3) Momento Resistente (ϕM_n).	$\phi M_n = \phi [A_s^* f_{su}^* d (1 - 0.6 \rho^* f_{su}^* / f_c)]$ (Sección Rectangular) $\phi M_n = \phi \{ A_s^* f_{su}^* d [1 - 0.6 A_s^* f_{su}^* / (b' d' f_c)] + 0.85 f_c (b - b') (t) (d - 0.5t) \}$ (Sección con Patín) ($\phi = 0.95$)			9.17.2 9.17.3 9.14
a) $A_s^* ?$	$A_s^* = P_o / (0.7 f_s) = 21.92 \text{ cm}^2$ $A_s^* = P_o / (0.8 f_y^*) = 22.56 \text{ cm}^2$	$R_{ige} = 22.56 \text{ cm}^2 = 3.50$	Revisando con 17 Cables ($A_s^* \text{ prop.} = 23.80 \text{ cm}^2$) Area de acero de preesfuerzo mínima : 17 Cables	9.15.1
b) $\rho^* ?$	$\rho^* = A_s^* / b d = 0.0012$			
c) $f_{su}^* ?$	$f_{su}^* = f_s [1 - (\gamma^* / \beta) (\rho^* f_s / f_c)]$ $f_{su}^* = 18357.1 \text{ kg/cm}^2$	$\gamma^* = 0.28$ $\beta_1 = 0.81$		9.17.4 8.16.2.7
d) <u>Verificar si se comporta como sección Rectangular.</u>	$A_s^* f_{su}^* / (0.85 f_c b) < t_f$ La sección se comporta como Rectangular !!			9.17
• Índice de Refuerzo:	$I_r = 0.0807 < 0.36 \beta_1 \text{ ok !!}$			9.18.1
$\phi M_n = 499.03 \text{ Ton-m}$	$> M_u \text{ ok !!}$ $> 1.2 M_{cr^*} \text{ ok !!}$			9.18.2

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.																																				
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO																																				
<p>• REVISION DE ESFUERZOS FINALES DESPUES DE PERDIDAS.</p> <p>* Estado Final (Servicio).</p> <p style="margin-left: 40px;">$P_e = 237.44 \text{ Ton}$</p> <p>• Compresión, fibra Superior</p> <p style="margin-left: 40px;">$f_{sp} = 43.84 \quad -86.19 \quad -44.53 \Rightarrow -86.9 \text{ kg/cm}^2 \text{ ok !!}$</p> <p>• Tensión, fibra inferior</p> <p style="margin-left: 40px;">$f_{ip} = -197.44 \quad 113.86 \quad 109.21 \Rightarrow 25.6 \text{ kg/cm}^2 \text{ ok !!}$</p> <p>Esf. Iniciales.</p> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Perm. Inicial</th> <th>Presfuer. P_o</th> <th>Peso Viga</th> <th>TOTAL (kg/cm²)</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sup.</td> <td>14.7</td> <td>53.55</td> <td>-53.28</td> <td>0.27</td> <td>ok!!</td> </tr> <tr> <td>Inf.</td> <td>184.8</td> <td>-241.15</td> <td>70.38</td> <td>-170.8</td> <td>ok!!</td> </tr> </tbody> </table> <p>Esf. Finales.</p> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Perm. Final</th> <th>Presfuer.</th> <th>Peso Viga, Losa y Diaf.</th> <th>Superimp. y viva</th> <th>TOTAL (kg/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sup.</td> <td>140</td> <td>43.84</td> <td>-86.19</td> <td>-44.53</td> <td>-87</td> </tr> <tr> <td>Inf.</td> <td>30</td> <td>-197.44</td> <td>113.86</td> <td>109.21</td> <td>26</td> </tr> </tbody> </table> <div style="margin-left: 40px;"> <p>ESFUERZOS TOTALES</p> <p style="text-align: center;">$F_p \text{ (kg/cm}^2\text{)}$</p> </div>						Perm. Inicial	Presfuer. P_o	Peso Viga	TOTAL (kg/cm ²)	Status	Sup.	14.7	53.55	-53.28	0.27	ok!!	Inf.	184.8	-241.15	70.38	-170.8	ok!!		Perm. Final	Presfuer.	Peso Viga, Losa y Diaf.	Superimp. y viva	TOTAL (kg/cm ²)	Sup.	140	43.84	-86.19	-44.53	-87	Inf.	30	-197.44	113.86	109.21	26
	Perm. Inicial	Presfuer. P_o	Peso Viga	TOTAL (kg/cm ²)	Status																																			
Sup.	14.7	53.55	-53.28	0.27	ok!!																																			
Inf.	184.8	-241.15	70.38	-170.8	ok!!																																			
	Perm. Final	Presfuer.	Peso Viga, Losa y Diaf.	Superimp. y viva	TOTAL (kg/cm ²)																																			
Sup.	140	43.84	-86.19	-44.53	-87																																			
Inf.	30	-197.44	113.86	109.21	26																																			

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.										
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO										
10. + CALCULO DE DEFLEXIONES. (Para simple Apoyo)				8.13										
10.1) Inicial (transferencia).		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Inicial (Tranferencia)</th> <th>(cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Presfuerzo</td> <td>5.66</td> </tr> <tr> <td>Peso Propio</td> <td>-2.38</td> </tr> <tr> <td>Def. Neta</td> <td>3.29</td> </tr> </tbody> </table>			Inicial (Tranferencia)	(cm)	Presfuerzo	5.66	Peso Propio	-2.38	Def. Neta	3.29		
Inicial (Tranferencia)	(cm)													
Presfuerzo	5.66													
Peso Propio	-2.38													
Def. Neta	3.29													
a) <u>Presfuerzo.</u>														
$\Delta p_o = 5 * P_o * (e) * L^2 / (48 * E * I)$														
$\Delta p_o =$	5.66 cm													
b) <u>Peso Propio.</u>														
$\Delta w_o = 5 * M_o * L^2 / (48 * E * I)$														
$\Delta w_o =$	-2.38 cm													
c) <u>Deflexión Inicial Neta.</u>														
$\Delta I =$	3.29 cm													
10.2) Final (Montaje).		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Final (Montaje)</th> <th>(cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Presf.+Wo</td> <td>4.08</td> </tr> <tr> <td>Carga Muerta</td> <td>-2.65</td> </tr> <tr> <td>Muerta Superim.</td> <td>-0.90</td> </tr> <tr> <td>Def. Neta</td> <td>0.53</td> </tr> </tbody> </table>			Final (Montaje)	(cm)	Presf.+Wo	4.08	Carga Muerta	-2.65	Muerta Superim.	-0.90	Def. Neta	0.53
Final (Montaje)	(cm)													
Presf.+Wo	4.08													
Carga Muerta	-2.65													
Muerta Superim.	-0.90													
Def. Neta	0.53													
a) <u>Presfuerzo+Peso Propio Final.</u>														
$\Delta (p_e + w_o) = [\Delta p_o * P_e / P_o - \Delta w_o] * E_{cinic} / E_{cfinal} * C_t$														
Ct= 1.843 (Factor por Flujo Plástico).														
$\Delta (p_e + w_o) =$	4.08 cm													
b) <u>Carga Muerta (DL+Diafragma).</u>														
$\Delta DL = 5 * (MDL + Diaf) * L^2 / (48 * E * I) * C_t$														
$\Delta DL =$	-2.65 cm													
c) <u>Carga Muerta Superimpuesta (SDL).</u>														
$\Delta SDL = 5 * (MSDL) * L^2 / (48 * E * I_c) * C_t$														
$\Delta SDL =$	-0.90 cm													
d) <u>Deflexión Final Neta.</u>														
$\Delta f =$	0.53 cm													
	$\Delta f / L < 1/1000$ ok !!													
d) <u>Carga Viva + Impacto.</u>														
$\Delta (L+) = 5 * M_{(L+)} * L^2 / (48 * E * I_c)$														
$\Delta (L+) =$	-2.40 cm													
	$\Delta f / L < 1/1000$ ok !!													

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.																																																	
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO																																																	
11. + DISEÑO POR CORTANTE. (Para simple Apoyo)				9.20																																																	
11.1) Cortante Ultimo (Vu). Carga Viva + Impacto. HS-25 WL = 0.60 Ton/m PL = 7.37 Ton (Para Cortante) PL = 5.10 Ton (Para Momento) Factor de Impacto: 0.242 Factor de Distribución: 0.91 Carga Muerta. WD = 1.79 Ton/m PD = 0.51 Ton $V_u = 1.3[V_D + 1.67V_{(L+I)}]$ $\phi V_c \geq V_u \quad (\phi = 0.90)$				3.22 9.14																																																	
11.2) Cortante Provisto por el Concreto (Vc). $V_c \left\{ \begin{array}{l} V_{ci} = 0.16 \sqrt{f_c} * b' * d + V_d + V_i * M_{cr} / M_{m\acute{a}x}. > 0.45 \sqrt{f_c} * b' * d \\ V_{cw} = (0.933 \sqrt{f_c} + 0.3 * f_{pc}) * b' * d + V_p \Rightarrow d > 0.8h \end{array} \right.$ Vc, será el menor de Vci y Vcw. donde, b' = bw Vd = VD Vi = Vu Mmáx = Mu 0.8(h+tf) = 105.60 cm d = 126.35 cm ok !! 0.45*sqrt(fc)*bw*d = 21.27 Ton				9.20.2																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>X (m)</th> <th>e(x) (cm)</th> <th>VD (Ton)</th> <th>V(L+I) (Ton)</th> <th>Vu (Ton)</th> <th>Vp (Ton)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>h/2</td> <td>0.60</td> <td>5.64</td> <td>21.57</td> <td>16.10</td> <td>63.00</td> <td>22.24</td> </tr> <tr> <td>3L/20</td> <td>3.71</td> <td>30.42</td> <td>16.00</td> <td>12.95</td> <td>48.92</td> <td>19.39</td> </tr> <tr> <td>L/4</td> <td>6.19</td> <td>44.74</td> <td>11.58</td> <td>10.44</td> <td>37.73</td> <td>17.12</td> </tr> <tr> <td>L/3</td> <td>8.25</td> <td>53.02</td> <td>7.89</td> <td>8.36</td> <td>28.40</td> <td>15.23</td> </tr> <tr> <td>2L/5</td> <td>9.90</td> <td>57.27</td> <td>4.43</td> <td>6.68</td> <td>20.27</td> <td>13.71</td> </tr> <tr> <td>L/2</td> <td>12.38</td> <td>59.65</td> <td>0.00</td> <td>4.18</td> <td>9.07</td> <td>11.43</td> </tr> </tbody> </table>						X (m)	e(x) (cm)	VD (Ton)	V(L+I) (Ton)	Vu (Ton)	Vp (Ton)	h/2	0.60	5.64	21.57	16.10	63.00	22.24	3L/20	3.71	30.42	16.00	12.95	48.92	19.39	L/4	6.19	44.74	11.58	10.44	37.73	17.12	L/3	8.25	53.02	7.89	8.36	28.40	15.23	2L/5	9.90	57.27	4.43	6.68	20.27	13.71	L/2	12.38	59.65	0.00	4.18	9.07	11.43
	X (m)	e(x) (cm)	VD (Ton)	V(L+I) (Ton)	Vu (Ton)	Vp (Ton)																																															
h/2	0.60	5.64	21.57	16.10	63.00	22.24																																															
3L/20	3.71	30.42	16.00	12.95	48.92	19.39																																															
L/4	6.19	44.74	11.58	10.44	37.73	17.12																																															
L/3	8.25	53.02	7.89	8.36	28.40	15.23																																															
2L/5	9.90	57.27	4.43	6.68	20.27	13.71																																															
L/2	12.38	59.65	0.00	4.18	9.07	11.43																																															

PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO: RMG	FECHA:	HOJA:	Ref.																																							
TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	REVISO:	Agosto-03		AASHTO																																							
12. +DISEÑO DEL BLOQUE EXTREMO.																																											
El bloque extremo se diseñará para una longitud igual a la altura de la viga. Las únicas fuerzas exteriores que se consideran son las aplicadas por el Presfuerzo.																																											
$f_y = 4200.00 \text{ kg/cm}^2$ $P_o = 290.00 \text{ Ton}$																																											
Extremo: x=0	e = 0.00 cm	$f_{sp} = -P_o/A_e + P_o \cdot e / S_e$	$f_{sp} = -75.99 \text{ kg/cm}^2$																																								
$\Delta \text{ E.N.}$	e = -8.30 cm	$f_{ip} = -P_o/A_e - P_o \cdot e / S_e$	$f_{ip} = -31.42 \text{ kg/cm}^2$																																								
No. de ductos:	<input type="text" value="4"/>																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dist. de la Fibra inferior (in)</th> <th>Esf. (kg/cm²)</th> <th>Momento (Ton-m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.00</td><td>-31.42</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>4.72</td><td>-35.87</td><td>1.07</td></tr> <tr><td>9.45</td><td>-40.33</td><td>4.46</td></tr> <tr><td>14.17</td><td>-44.79</td><td>10.46</td></tr> <tr><td>18.90</td><td>-49.25</td><td>19.37</td></tr> <tr><td>26.89</td><td>-56.79</td><td>41.85</td></tr> <tr><td>23.62</td><td>-53.70</td><td>31.47</td></tr> <tr><td>28.35</td><td>-58.16</td><td>36.31</td></tr> <tr><td>33.07</td><td>-62.62</td><td>20.86</td></tr> <tr><td>37.80</td><td>-67.08</td><td>9.46</td></tr> <tr><td>42.52</td><td>-71.53</td><td>2.41</td></tr> <tr><td>47.24</td><td>-75.99</td><td>0.00</td></tr> </tbody> </table>					Dist. de la Fibra inferior (in)	Esf. (kg/cm ²)	Momento (Ton-m)	0.00	-31.42	0.00	4.72	-35.87	1.07	9.45	-40.33	4.46	14.17	-44.79	10.46	18.90	-49.25	19.37	26.89	-56.79	41.85	23.62	-53.70	31.47	28.35	-58.16	36.31	33.07	-62.62	20.86	37.80	-67.08	9.46	42.52	-71.53	2.41	47.24	-75.99	0.00
Dist. de la Fibra inferior (in)	Esf. (kg/cm ²)	Momento (Ton-m)																																									
0.00	-31.42	0.00																																									
4.72	-35.87	1.07																																									
9.45	-40.33	4.46																																									
14.17	-44.79	10.46																																									
18.90	-49.25	19.37																																									
26.89	-56.79	41.85																																									
23.62	-53.70	31.47																																									
28.35	-58.16	36.31																																									
33.07	-62.62	20.86																																									
37.80	-67.08	9.46																																									
42.52	-71.53	2.41																																									
47.24	-75.99	0.00																																									
Mmáx (+) = 41.9 Ton-m		Mmáx (-) = 0.0																																									
Tmáx (+) = 41.8512 Ton		Tmáx (-) = 0.0 Ton																																									
Area de acero necesario: 24.8 cm ²		Area de acero necesario: 0.0 cm ²																																									
Varillas No.: 4		Varillas No.: 4																																									
Av = 1.27 cm ²		Av = 1.27 cm ²																																									
10 No. 4		0 No. 4																																									
Sep. = 12.3																																											
10 No 4 @ 12 cm => Estribos dobles <input type="checkbox"/>																																											

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Ago-03	

Revisión de ala de viga

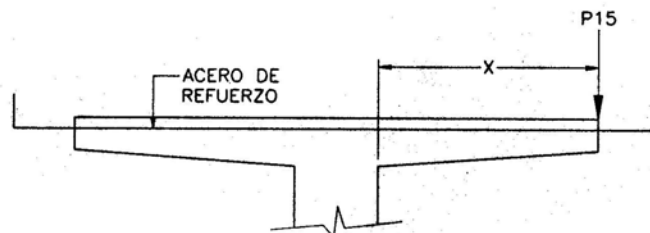
Utilizando Camión HS - 25

Impacto = 1.300

P 25 = 20,000 lb

P 25 + impacto = 26,000 lb

Voladizo, X = 0.525 m



Ancho distribución, $E = 0.8X + 3.75$

E = 5.128 pies
1.563 m

P 25 + impacto = 7.55 ton/m

M = 3.96 ton-m/m

$f_c = 350$ kg/cm²

$f_y = 4200$ kg/cm²

b = 100 cm

d = 9.365 cm

Mu = 3.96 ton-mt

$$f_y^2/1.7bf_c A_s^2 - f_y d A_s + M_u/\phi = 0$$

$$\phi = 0.90$$

$$296.47 A_s^2 - 39333 A_s + 440162.3777 = 0$$

$A_s = 12.34$ cm²

$A_{smin} = (4/3)A_{sreq}$

$(4/3)A_{sreq} = 16.45$ cm²

$(14/f_y) b d = 3.12$ cm²

tomar $A_{smin} = 3.12$ cm²

A_{smax} :

$\rho b = 0.0574$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Ago-03	

$$A_{smax} (0.75pb) = 40.34 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 12.34 \text{ cm}^2 \quad \text{o.k!! } A_s < A_{smax}$$

$$\# \text{ de varilla} = \boxed{4}$$

$$\text{Area de varilla } (A_v) = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cantidad de varillas} = 9.74$$

$$\text{Separación} = 10.27 \text{ cm}$$

Colocar N 4@ 10 cm

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
	RMG		Agosto-03	

DISEÑO DE APOYOS ELASTOMERICOS REFORZADOS. (Art. 14.6.5)

a) Propiedades.

Dureza = 60 Durómetros

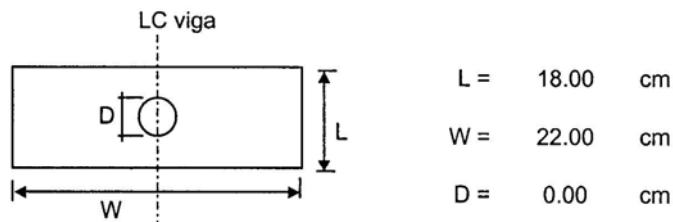
De Tabla 14.6.5.2-1:

Gmin = 9.14	kg/cm ²	}	130	psi
Gmax = 14.06	kg/cm ²		200	psi

Placas de acero:

Fy = 2520	kg/cm ²	}	36,000	psi
Fsr = 1680	kg/cm ²		24,000	psi

b) Geometría.



Claro de diseño, L_{viga} = 25.20 m

c) Fuerzas.

Reacción por carga muerta = 23.85 ton

Reacción por carga viva = 14.99 ton

Total = 38.84 ton

d) Deformaciones.

- Deformación por sismo.

Δ sismo = 1.00 cm

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
	RMG		Agosto-03	

- Deformación por Temperatura.

$$\alpha = 6.0E-06 \text{ por } ^\circ \text{F}$$

$$\Delta T = 53.6 \text{ } ^\circ \text{F}$$

$$\Delta \text{ temp} = \alpha L_{\text{viga}} \Delta T = 0.81 \text{ cm}$$

- Deformación por agrietamiento.

$$\sigma_{\text{presf}} = 56 \text{ kg/cm}^2 = 0.80 \text{ Ksi}$$

$$\Delta = 5.0E-09 \text{ (Flujo Plástico especificado a los 20 años)}$$

$$\Delta \text{ creep} = \Delta \sigma L = 0.71 \text{ cm}$$

Deformación Máxima (Δs):

$$\Delta \text{ sismo } \text{ ó } \Delta \text{ temp} + \Delta \text{ creep}$$

$$\text{Tomar } \Delta s = 1.52 \text{ cm}$$

- Angulo de rotación.

$$\theta_m = 0.0016 \text{ radianes}$$

d) Resultados.

- Espesor Mínimo (hrt):

$$\text{hrt min} = 3.03 \text{ cm}$$

$$\text{hrt pro} = 3.18 \text{ cm} = 1 \frac{4}{16} \text{ in } \checkmark$$

- Esfuerzo admisible por compresión para carga total.

$$\sigma_{\text{adm}} = 127.55 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{TL}} = 97.64 \text{ kg/cm}^2$$

Espesor de lecho interior (hri):

$$\text{hri max} = 0.77 \text{ cm} \quad \text{hri pro} = 0.59 \text{ cm}$$

$$\# \text{ de Lechos interiores} = 2.00$$

$$\text{Recubrimiento} = 0.525 \text{ cm} = \frac{2}{8} \text{ ''}$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
	RMG		Agosto-03	

- Esfuerzo admisible por compresión para carga viva solamente.

$$\sigma_{adm} = 50.71 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{LL} = 37.68 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo admisible por combinación de compresión y rotación.

$$\sigma = 89.15 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{TL} \text{ ec. 14.6.5.3.5-1}$$

$$\sigma = 122.34 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_{TL} \text{ ec. 14.6.5.3.5-2}$$

- Estabilidad.

Puente sin libertad de movimiento horizontal

$$\sigma_{adm} = 20943.87 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{TL} = 97.64 \text{ kg/cm}^2$$

- Refuerzo.

Espesor (hs):

$$hs_{min} = 0.068 \text{ cm} \quad hs_{pro} = 0.318 \text{ cm}$$

Resumen

- Dimensiones: 18.00 X 22.00 cm

- Refuerzo: 3 Placas de 3.175 mm de Espesor

- Placa elastomérica: Dureza: 60 Durómetros

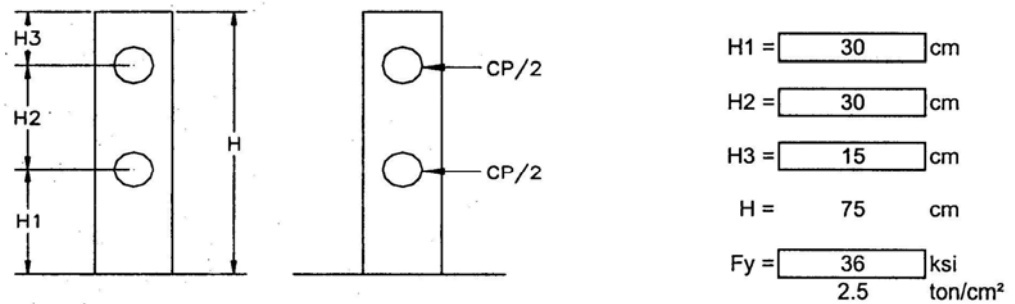
2 Lechos interiores de 5.863 mm de Espesor

Recubrimiento: 5.250 mm (superior e inferior)

Espesor total: 31.75 mm

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Agosto-03	

DISEÑO DE BARANDAL.



-Diseño de Postes.

$$P = 10.00 \text{ kips} \quad c = 1.000 \quad \text{Art. 2.7}$$

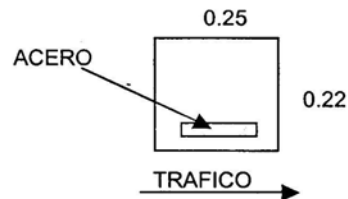
$$CP = 4.54 \text{ ton} \quad CP/2 = 2.27 \text{ ton}$$

Momento en base de poste

$$Ma = CP/2 \times H1 + CP/2 \times (H1 + H2) = 2.04 \text{ ton-m}$$

Cortante en base de poste

$$Va = 2 \times CP/2 = 4.54 \text{ ton}$$



DISEÑO DE ACERO.

$$f_c = \text{input } 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = \text{input } 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$d = \text{input } 16.7 \text{ cm}$$

$$Mu = 2.04 \text{ ton-m}$$

$$f_y^2/1.7bf_c As^2 - f_yd As + Mu/\phi = 0$$

$$\phi = 0.90$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Agosto-03	

$$1482.35 A_s^2 - 70140 A_s + 226796.5 = 0$$

$$A_s = 3.49 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = (4/3)A_{sreq} :$$

$$(4/3)A_{sreq} = 4.65 \text{ cm}^2$$

$$\text{tomar } A_{smin} = 4.65 \text{ cm}^2$$

$$(14/f_y) b d = 1.39 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 4.65 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ de varilla} = \boxed{5} \quad \text{Area de varilla } (A_v) = 1.98 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cantidad varillas} = 2.352$$

Colocar 3 N 5 (en cara contigua al tráfico)

DISEÑO DE CORTANTE .

$$f_y = \boxed{4200} \text{ kg/cm}^2$$

$$b_w = \boxed{25} \text{ cm}$$

$$f'c = \boxed{280} \text{ kg/cm}^2$$

$$d = \boxed{16.7} \text{ cm}$$

$$\text{Resistencia del concreto : } v_c = 2 \sqrt{f'c b_w d}$$

$$v_c = 8185.57 \text{ lbs}$$

$$v_c = 3712.92 \text{ kg}$$

$$V_u = 4.54 \text{ ton}$$

$$V_n = V_c + V_s \quad ; \quad V_s = V_u / \phi - V_c \quad \phi = 0.85$$

$$V_s = 1623.47 \text{ kg}$$

$$V_s = A_v f_y d / s \quad ; \quad s = A_v f_y d / V_s$$

$$\# \text{ de varilla} = \boxed{3} \quad \# \text{ de ramales} = \boxed{2}$$

$$\text{Area de varilla} = 0.71 \text{ cm}^2$$

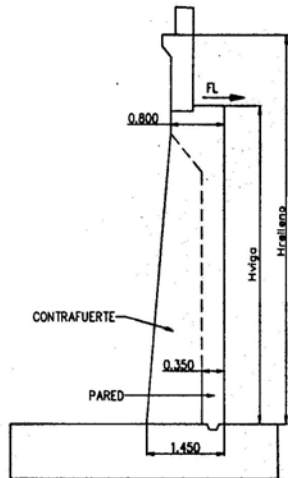
$$s = 61.57 \text{ cm}$$

Colocar varilla N 3 @ 63 cm

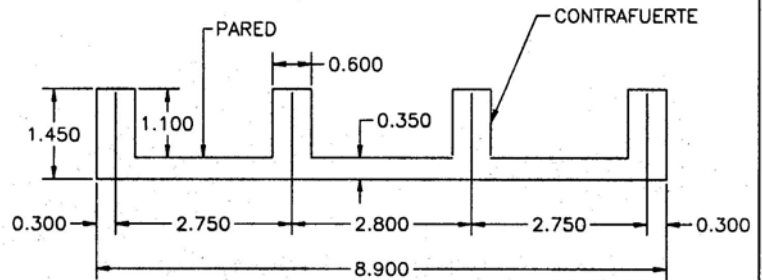
SUBESTRUCTURA

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

DISEÑO DE CONTRAFUERTE DE ESTRIBO



ELEVACION



PLANTA

Fuerza Sísmica,

F_{Long} = ton

Altura, Hvigas = m

Ancho estribo = m

- Empuje de Suelo

$E_{ae} = 1/2 \gamma_s H^2 K_{ae}$

	Grados	Radianes
Angulo de fricción interna?	35	0.61
Angulo de fricción suelo-pared(δ)?	23.33	0.41
Inclinación del talud(β)?	0	0.00
Inclinación de la pared(θ)?	90	1.57

Peso vol. del relleno?	<input type="text" value="1.6"/>
Kh?	<input type="text" value="0.16"/>
Kv?	<input type="text" value="0"/>

- Empuje activo

$E_a = 1/2 \gamma_s H^2 K_a$

Coefficiente de presión activa $K_a = 0.244$

$E_a = 0.196 H^2$

Altura, Hrelleno = m

$E_a = 11.74$ ton / m

E_a horizontal = $E_a \cos(90 - \theta + \delta) = 10.78$ ton / m

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

- Empuje Sísmico

$$Eae = 1/2 \gamma s H^2 Kae \text{ (Mononobe-Okabe)}$$

Angulo de inercia sísmica	9.09	Eae =	0.281	H ²
Angulo de la cara del suelo (β)	0	Eae =	16.85	ton / m
Inclinación del talud (I)	0			
Coefficiente Sísmico Kae	0.351			

$$Eae \text{ horizontal} = Eae \cos(90 - \theta + \delta) = 15.47 \text{ ton / m}$$

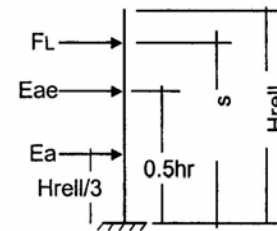
- CONTRAFUERTES

$$\text{Ancho Tributario de Contrafuerte, } b = 2.80 \text{ m}$$

Empuje Activo, $Ea \times b =$	30.19	ton
Empuje Sísmico, $(Eae-Ea) \times b =$	13.13	ton
Fuerza Sísmica, $FLong / 4 =$	18.51	ton

Momento,

$$M = Ea \times h/3 + Eae \times 0.5h + FL \times Hviga = 249.18 \text{ ton - m}$$



DISEÑO DE ACERO POR FLEXIÓN

$$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2 \quad f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 60 \text{ cm} \quad d = 135.13 \text{ cm}$$

Cargas:

$$\text{Momento por empuje+sismo} = 249.18 \text{ ton-m}$$

$$Mu = 1.3(Me + Ms)$$

$$Mu = 323.93 \text{ ton-mt}$$

$$f_y^2 / 1.7b^2 f_c A_s^2 - f_y d A_s + Mu / \phi = 0 \quad \phi = 0.90$$

$$617.65 A_s^2 - 567546 A_s + 35992081 = 0$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

$$As = 68.53 \text{ cm}^2$$

$$Asmin = (4/3)Asreq :$$

$$(4/3)Asreq = 91.37 \text{ cm}^2$$

$$\text{tomar } Asmin = 27.03 \text{ cm}^2$$

$$(14/fy) b d = 27.03 \text{ cm}^2$$

Asmax :

$$\rho b = 0.0459$$

$$Asmax (0.75\rho b) = 279.41 \text{ cm}^2$$

$$As = 68.53 \text{ cm}^2 \quad \text{o.k!! } As < Amax$$

$$\# \text{ de varilla} = \boxed{10}$$

$$\text{Area de varilla } (Av) = 8.17 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cantidad de varillas} = 8.39$$

Colocar **8 - N 10**

DISEÑO DE CORTANTE .

$$fy = \boxed{4200} \text{ kg/cm}^2$$

$$bw = \boxed{60} \text{ cm}$$

$$f'c = \boxed{280} \text{ kg/cm}^2$$

$$d = \boxed{135.13} \text{ cm}$$

$$\text{Resistencia del concreto : } vc = 2 \sqrt{f'c} bwd$$

$$vc = 158962.83 \text{ lbs}$$

$$vc = 72104.41 \text{ kg}$$

Cargas:

$$\text{Cortante por empuje+sismo} = \boxed{61.83} \text{ ton } (FL/4 + Eaxb + (Eae-Ea)xb)$$

$$Vn = Vc + Vs$$

$$Vs = Vu/\phi - Vc$$

$$\phi = 0.85$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
	RMG		Feb-01	

$$Vu = 1.3(Ve + Vs)$$

$$Vu = 80.38 \text{ ton}$$

$$Vs = 22460.08 \text{ kg}$$

$$Vs = Av fy d / s \quad ; \quad s = Av fy d / Vs$$

$$\# \text{ de varilla} = 4$$

$$\# \text{ de ramales} = 2$$

$$\text{Area de varilla} = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$s = 64.02 \text{ cm}$$

Colocar varilla N 4 @ 60 cm

- PARED

- Empuje activo

$$Ea = 1/2 \gamma s H^2 Ka$$

$$\text{Coeficiente de presión activa } Ka = 0.244$$

$$Ea = 0.196 H^2$$

$$\text{Altura, } H = 7.75 \text{ m}$$

$$Ea = 11.74 \text{ ton / m}$$

$$Ea \text{ horizontal} = Ea \cos(90 - \theta + \delta) = 10.78 \text{ ton / m}$$

- Empuje Sismico

$$Eae = 1/2 \gamma s H^2 Kae \text{ (Mononobe-Okabe)}$$

$$\text{Coeficiente Sísmico } Kae = 0.351$$

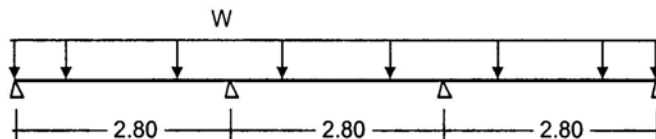
$$Eae = 0.281 H^2$$

$$Eae = 16.85 \text{ ton / m}$$

$$Eae \text{ horizontal} = Eae \cos(90 - \theta + \delta) = 15.47 \text{ ton / m}$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

Diseño de Acero horizontal de pared



Para un ancho de 1 m :

Fuerza sísmica.

$$W1 = F_{long} / (\text{Ancho estribo} \times H_{viga}) = 2.56 \text{ ton / m}$$

$$\text{Empuje activo.} \quad K_a = 0.244$$

$$\text{Para } H = 4.10\text{m, } E_a = 3.02 \text{ ton / m}$$

$$\text{Para } H = 3.10\text{m, } E_a = 1.73 \text{ ton / m}$$

$$W2 \text{ prom} = 2.37 \text{ ton / m}$$

$$\text{Empuje sísmico.} \quad K_{ae} = 0.351$$

$$\text{Para } H = 4.10\text{m, } E_{ae} = 4.33 \text{ ton / m}$$

$$\text{Para } H = 3.10\text{m, } E_{ae} = 2.48 \text{ ton / m}$$

$$W3 \text{ prom} = 1.03 \text{ ton / m}$$

$$W = 5.962 \text{ ton / m}$$

DISEÑO DE ACERO POR FLEXIÓN

a) Lecho en cara exterior de estribo

$$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2 \quad f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 100 \text{ cm} \quad d = 29.2 \text{ cm}$$

$$\text{Momento por empuje+sismo} = 3.52 \text{ ton-m}$$

$$M_u = 1.3(M_e + M_s)$$

$$M_u = 4.58 \text{ ton-mt}$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
	RMG		Feb-01	

$$f_y^2/1.7b^2c As^2 - f_y d As + M_u/\phi = 0$$

$$\phi = 0.90$$

$$370.59 As^2 - 122640 As + 904222.22 = 0$$

$$As = 7.54 \text{ cm}^2$$

$$As_{min} = (4/3)As_{req} :$$

$$(4/3)As_{req} = 10.06 \text{ cm}^2$$

$$(14/f_y) b d = 9.73 \text{ cm}^2$$

$$\text{tomar } As_{min} = 9.73 \text{ cm}^2$$

$$As_{max} :$$

$$\rho_b = 0.0459$$

$$As_{max} (0.75\rho_b) = 100.63 \text{ cm}^2$$

$$As = 9.73 \text{ cm}^2 \quad \text{o.k!! } As < As_{max}$$

$$\# \text{ de varilla} = \boxed{5}$$

$$\text{Area de varilla } (A_v) = 1.98 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cantidad de varillas} = 4.92$$

$$\text{Separación} = b A_v / As = 20.34 \text{ cm}$$

Colocar N 5 @ 20 cm

DISEÑO DE ACERO POR FLEXIÓN

b) Lecho en cara interior de estribo

$$f_c = \boxed{.280} \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = \boxed{4200} \text{ kg/cm}^2$$

$$b = \boxed{100} \text{ cm}$$

$$d = \boxed{29.2} \text{ cm}$$

Cargas:

$$\text{Momento por empuje+sismo} = \boxed{8.29} \text{ ton-m}$$

$$M_u = 1.3(M_e + M_s)$$

$$M_u = 10.78 \text{ ton-mt}$$

$$f_y^2/1.7b^2c As^2 - f_y d As + M_u/\phi = 0$$

$$\phi = 0.90$$

$$370.59 As^2 - 122640 As + 1197444.4 = 0$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

$$A_s = 10.07 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = (4/3)A_{sreq} :$$

$$(4/3)A_{sreq} = 13.43 \text{ cm}^2$$

$$(14/f_y) b d = 9.73 \text{ cm}^2$$

$$\text{tomar } A_{smin} = 9.73 \text{ cm}^2$$

Asmax :

$$\rho_b = 0.0459$$

$$A_{smax} (0.75\rho_b) = 100.63 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 10.07 \text{ cm}^2 \quad \text{o.k!! } A_s < A_{max}$$

$$\# \text{ de varilla} = \boxed{5}$$

$$\text{Area de varilla } (A_v) = 1.98 \text{ cm}^2$$

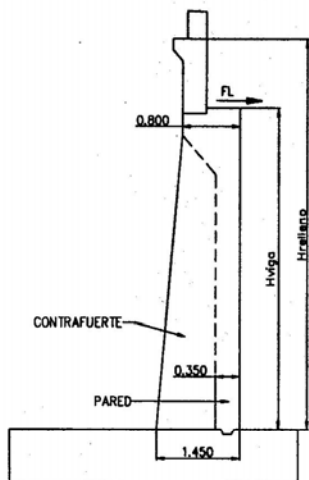
$$\text{Cantidad de varillas} = 5.09$$

$$\text{Separación} = b A_v / A_s = 19.66 \text{ cm}$$

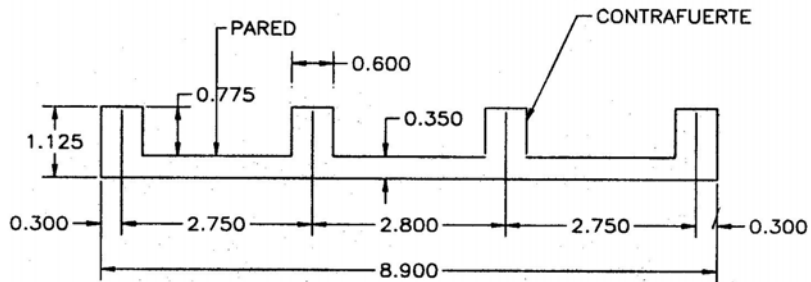
Colocar N 5 @ 20 cm

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
	RMG		Feb-01	

DISEÑO DE CONTRAFUERTE DE ESTRIBO
REVISION A H/2



ELEVACION



PLANTA

Fuerza Sísmica,
 FLong = ton
 Altura, Hvigas = m
 Ancho estribo = m

- Empuje de Suelo

$$Eae = 1/2 \gamma s H^2 Kae$$

	Grados	Radianes	
Angulo de fricción interna?	35	0.61	Peso vol. del relleno? <input type="text" value="1.6"/>
Angulo de fricción suelo-pared(δ)?	23.33	0.41	
Inclinación del talud(β)?	0	0.00	
Inclinación de la pared(θ)?	90	1.57	
			Kh? <input type="text" value="0.16"/>
			Kv? <input type="text" value="0"/>

- Empuje activo

$$Ea = 1/2 \gamma s H^2 Ka$$

Coefficiente de presión activa $Ka = 0.244$

$$Ea = 0.196 H^2$$

Altura, Hrelleno = m $Ea = 3.29$ ton / m

Ea horizontal = $Ea \cos(90 - \theta + \delta) = 3.02$ ton / m

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

- Empuje Sísmico

$$Eae = 1/2 \gamma_s H^2 Kae \text{ (Mononobe-Okabe)}$$

Angulo de inercia sísmica	9.09	Eae =	0.281	H ²
Angulo de la cara del suelo (β)	0	Eae =	4.72	ton / m
Inclinación del talud (l)	0			
Coefficiente Sísmico Kae	0.351			

$$Eae \text{ horizontal} = Eae \cos(90 - \theta + \delta) = 4.33 \text{ ton / m}$$

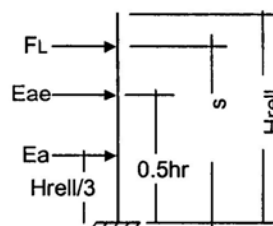
- CONTRAFUERTE

$$\text{Ancho Tributario de Contrafuerte, } b = 2.80 \text{ m}$$

Empuje Activo, $Ea \times b =$	8.45	ton
Empuje Sísmico, $(Eae - Ea) \times b =$	3.67	ton
Fuerza Sísmica, $FLong / 4 =$	18.51	ton

Momento,

$$M = Ea \times h/3 + Eae \times 0.5h + FLxHviga = 79.23 \text{ ton - m}$$



DISEÑO DE ACERO POR FLEXIÓN

$$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2 \quad f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 60 \text{ cm} \quad d = 102.63 \text{ cm}$$

Cargas:

$$\text{Momento por empuje+sismo} = 79.23 \text{ ton-m}$$

$$Mu = 1.3(Me + Ms)$$

$$Mu = 103.00 \text{ ton-mt}$$

$$f_y^2 / 1.7b^2 f_c A_s^2 - f_y d A_s + Mu / \phi = 0 \quad \phi = 0.90$$

$$617.65 A_s^2 - 431046 A_s + 11444523 = 0$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

$$A_s = 27.65 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = (4/3)A_{sreq} :$$

$$(4/3)A_{sreq} = 36.86 \text{ cm}^2$$

$$(14/f_y) b d = 20.53 \text{ cm}^2$$

$$\text{tomar } A_{smin} = 20.53 \text{ cm}^2$$

Asmax :

$$\rho_b = 0.0459$$

$$A_{smax} (0.75\rho_b) = 212.21 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 27.65 \text{ cm}^2 \quad \text{o.k!! } A_s < A_{max}$$

$$\# \text{ de varilla} = \boxed{10}$$

$$\text{Area de varilla } (A_v) = 8.17 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cantidad de varillas} = 3.38$$

Colocar 4 - N 10

DISEÑO DE CORTANTE .

$$f_y = \boxed{4200} \text{ kg/cm}^2$$

$$b_w = \boxed{60} \text{ cm}$$

$$f'_c = \boxed{280} \text{ kg/cm}^2$$

$$d = \boxed{102.63} \text{ cm}$$

$$\text{Resistencia del concreto : } v_c = 2 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$v_c = 120730.82 \text{ lbs}$$

$$v_c = 54762.64 \text{ kg}$$

Cargas:

$$\text{Cortante por empuje+sismo} = \boxed{30.63} \text{ ton } (FL/4 + E_{axb} + (E_{ae}-E_a)xb)$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = V_u/\phi - V_c$$

$$\phi = 0.85$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

$$Vu = 1.3(Ve + Vs)$$

$$Vu = 39.82 \text{ ton}$$

$$Vs = -7912.83 \text{ kg}$$

$$Vs = Av fy d / s ; s = Av fy d / Vs$$

$$\# \text{ de varilla} = 4 \quad \# \text{ de ramales} = 2$$

$$\text{Area de varilla} = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$s = -138.01 \text{ cm}$$

Colocar varilla N 4 @ 30 cm

- PARED

- Empuje activo

$$Ea = 1/2 \gamma s H^2 Ka$$

$$\text{Coeficiente de presión activa } Ka = 0.244$$

$$Ea = 0.196 H^2$$

$$\text{Altura, } H = 4.10 \text{ m} \quad Ea = 3.29 \text{ ton / m}$$

$$Ea \text{ horizontal} = Ea \cos(90 - \theta + \delta) = 3.02 \text{ ton / m}$$

- Empuje Sísmico

$$Eae = 1/2 \gamma s H^2 Kae \text{ (Mononobe-Okabe)}$$

$$\text{Coeficiente Sísmico } Kae = 0.351$$

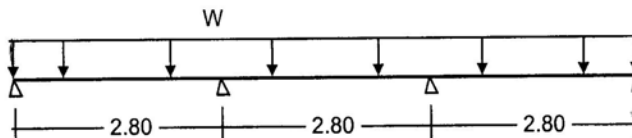
$$Eae = 0.281 H^2$$

$$Eae = 4.72 \text{ ton / m}$$

$$Eae \text{ horizontal} = Eae \cos(90 - \theta + \delta) = 4.33 \text{ ton / m}$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

Diseño de Acero horizontal de pared



Para un ancho de 1 m : ↓

Fuerza sísmica.

$$W1 = Flong / (\text{Ancho estribo} \times \text{Hviga}) = 1.28 \text{ ton / m}$$

$$\text{Empuje activo.} \quad Ka = 0.244$$

$$\text{Para } H = 6.50\text{m, } Ea = 7.59 \text{ ton / m}$$

$$\text{Para } H = 5.5\text{m, } Ea = 5.43 \text{ ton / m}$$

$$W2 \text{ prom} = 6.51 \text{ ton / m}$$

$$\text{Empuje sísmico.} \quad Kae = 0.351$$

$$\text{Para } H = 6.50\text{m, } Eae = 10.88 \text{ ton / m}$$

$$\text{Para } H = 5.50\text{m, } Eae = 7.79 \text{ ton / m}$$

$$W3 \text{ prom} = 2.83 \text{ ton / m}$$

$$W = 10.618 \text{ ton / m}$$

DISEÑO DE ACERO POR FLEXIÓN

a) Lecho en cara exterior de estribo

$$f'c = \boxed{280} \text{ kg/cm}^2$$

$$fy = \boxed{4200} \text{ kg/cm}^2$$

$$b = \boxed{100} \text{ cm}$$

$$d = \boxed{29.2} \text{ cm}$$

$$\text{Momento por empuje+sismo} = \boxed{6.26} \text{ ton-m}$$

$$Mu = 1.3(Me + Ms)$$

$$Mu = 8.14 \text{ ton-mt}$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

$$f_y^2/1.7b^2c As^2 - f_y d As + Mu/\phi = 0 \quad \phi = 0.90$$

$$370.59 As^2 - 122640 As + 508444.44 = 0$$

$$As = 4.20 \text{ cm}^2$$

$$As_{min} = (4/3)As_{req} :$$

$$(4/3)As_{req} = 5.60 \text{ cm}^2$$

$$(14/f_y) b d = 9.73 \text{ cm}^2$$

$$\text{tomar } As_{min} = 5.60 \text{ cm}^2$$

Asmax :

$$p_b = 0.0459$$

$$As_{max} (0.75p_b) = 100.63 \text{ cm}^2$$

$$As = 5.60 \text{ cm}^2 \quad \text{o.k!! } As < A_{max}$$

$$\# \text{ de varilla} = \boxed{5}$$

$$\text{Area de varilla } (A_v) = 1.98 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cantidad de varillas} = 2.83$$

$$\text{Separación} = b A_v / As = 35.35 \text{ cm}$$

Colocar N 5 @ 35 cm

DISEÑO DE ACERO POR FLEXIÓN

b) Lecho en cara interior de estribo

$$f_c = \boxed{280} \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = \boxed{4200} \text{ kg/cm}^2$$

$$b = \boxed{100} \text{ cm}$$

$$d = \boxed{29.2} \text{ cm}$$

Cargas:

$$\text{Momento por empuje+sismo} = \boxed{4.66} \text{ ton-m}$$

$$Mu = 1.3(Me + Ms)$$

$$Mu = 6.06 \text{ ton-mt}$$

$$f_y^2/1.7b^2c As^2 - f_y d As + Mu/\phi = 0 \quad \phi = 0.90$$

$$370.59 As^2 - 122640 As + 673111.11 = 0$$

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Feb-01	

$$As = 5.58 \text{ cm}^2$$

$$As_{min} = (4/3)As_{req} :$$

$$(4/3)As_{req} = 7.44 \text{ cm}^2$$

$$\text{tomar } As_{min} = 7.44 \text{ cm}^2$$

$$(14/f_y) b d = 9.73 \text{ cm}^2$$

$$As_{max} :$$

$$\rho_b = 0.0459$$

$$As_{max} (0.75\rho_b) = 100.63 \text{ cm}^2$$

$$As = 7.44 \text{ cm}^2 \quad \text{o.k!! } As < A_{max}$$

$$\# \text{ de varilla} = \boxed{5}$$

$$\text{Area de varilla } (A_v) = 1.98 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cantidad de varillas} = 3.76$$

$$\text{Separación} = b A_v / As = 26.59 \text{ cm}$$

Colocar N 5 @ 26 cm

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGUA PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
	RMG		Feb-01	

$$Mu = 1.3(Me + Ms)$$

$$Mu = 2.26 \text{ ton-mt}$$

$$f_y^2/1.7b^2c As^2 - f_y d As + Mu/\phi = 0 \quad \phi = 0.90$$

$$370.59 As^2 - 102333 As + 250632.43 = 0$$

$$As = 2.47 \text{ cm}^2$$

$$As_{min} = (4/3)As_{req} :$$

$$(4/3)As_{req} = 3.30 \text{ cm}^2$$

$$\text{tomar } As_{min} = 3.30 \text{ cm}^2$$

$$(14/f_y) b d = 8.12 \text{ cm}^2$$

Asmax :

$$\rho b = 0.0459$$

$$As_{max} (0.75\rho b) = 83.97 \text{ cm}^2$$

$$As = 3.30 \text{ cm}^2 \quad \text{o.k!! } As < A_{max}$$

$$\# \text{ de varilla} = \boxed{4} \quad \text{Area de varilla } (A_v) = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cantidad de varillas} = 2.60$$

$$\text{Separación} = b A_v / As = 38.44 \text{ cm}$$

Colocar N 4 @ 38 cm

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGU	CALCULO	REVISOR	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Ago-03	

DISEÑO DE ZAPATA DE ESTRIBO

	Grados	Radianes		
Angulo de fricción interna?	35	0.61	Altura (H)?	8.5
Angulo de fricción suelo-pared?	23.33	0.41	Peso vol. del relleno?	1.6
Inclinación del talud(β)?	0	0.00	Kh?	0.16
Inclinación de la pared(θ)?	90	1.57	Kv?	0
			Altura empuje pasivo, Hep?	1.5
Coefficiente de presión activa Ka	0.244			
Presión activa Pa(ton/m)	14.13	Coef. Pasivo Kep =	2.466	
Pah	12.97	Empuje pasivo (ton/m) =	4.44	
Pav	5.60			

	Análisis	Sísmico
Angulo de inercia sísmica ^k	9.09	
Angulo de la cara del suelo (β)	0	
Inclinación del talud (l)	0	
Coefficiente Sísmico Kae	0.351	
Presión Sísmica Eae(ton/m)	20.27	
Eaeh	18.61	
Eaev	8.03	

Factor de Fricción (f) ?	0.4
Longitud de la zapata?	11.3
Longitud de cuerpo del estribo?	8.9
Peso volumétrico del estribo?	2.4
Peso de alas (Wa)?	30.24
Brazo de alas (Xa)?	2.5
Carga muerta de superestructura?	143.10
Carga viva de superestructura?	89.91
Altura de sobrecarga (WL)?	0.61
Fuerza de frenado (LF)?	0
Fuerza adicional (Fh)?	0
Brazo (Yh)?	0
Presión admisible (Qadm)?	28
Fuerza Sísmica de superestruct?	57.24
Carga muerta adicional (Pd)?	0
Carga viva adicional (PL)?	0
Brazo de carga adicional?	0
Altura de sobrecarga por relleno?	0

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGU		CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO		RMG		Ago-03	
Sobrecarga por relleno (Wdv)	0.00	3.65	0.00		
Fuerza de frenado (LF)	0.00	7.15	0.00		
Fuerza adicional (Fh)	0.00	7.15	0.00		
Fuerza Sísmica de superstruct.	57.24	6.35	-363.47		
Carga muerta adicional (Pd)	0.00	0.00	0.00		
Carga viva adicional (PL)	0.00	0.00	0.00		
Empuje pasivo	50.17	0.50	25.08		
ESTABILIDAD				Area de zapata =	62.15
				Inercia de zapata =	156.67
Caso 1 (sin incluir carga de superestructura)					
Grupo I U=D+E+L ;T=100%			Grupo VII U=D+E+EQ ; T=133%		
Σ Fuerzas Verticales	741.63		759.68		
Σ Fuerzas Horizontales	133.49		225.97		
Σ Momentos Resistentes	2220.39		2326.31		
Σ Momentos de volteo	403.79		823.31		
Factor de seguridad contra volteo	5.50		2.83		
Factor de seguridad contra desliz.	2.22		1.34		
Ubicación de resultante	2.45		1.98		
Excentricidad	0.30		0.77		
Esfuerzo en el pie	15.85	ok!!	22.51	ok!!	
Esfuerzo en el talón	8.02	ok!!	1.94	ok!!	
Momento en "m" (M/ml)	48.96		87.78		
Caso 2 (incluyendo carga de superestructura)					
Grupo I U=D+E+L ;T=100%			Grupo VII U=D+E+EQ ; T=133%		
			Admisible (inc. 1.333) 37.33		
Σ Fuerzas Verticales	974.64		902.78		
Σ Fuerzas Horizontales	83.33		233.04		
Σ Momentos Resistentes	2530.91		2526.69		
Σ Momentos de volteo	403.79		1186.79		
Factor de seguridad contra volteo	6.27		2.13		
Factor de seguridad contra desliz.	4.68		1.55		
Ubicación de resultante	2.18		1.48		
Excentricidad	0.57		1.27		
Esfuerzo en el pie	25.39	ok!!	34.58	ok!!	
Esfuerzo en el talón	5.97	ok!!	-5.53	Tensión	
Momento en "m" (M/ml)	69.06		104.42		

TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE CONCHAGU	CALCULO	REVISO	FECHA	HOJA No
PROYECTO: SIRAMA-LA UNION-PUERTO CUTUCO	RMG		Ago-03	

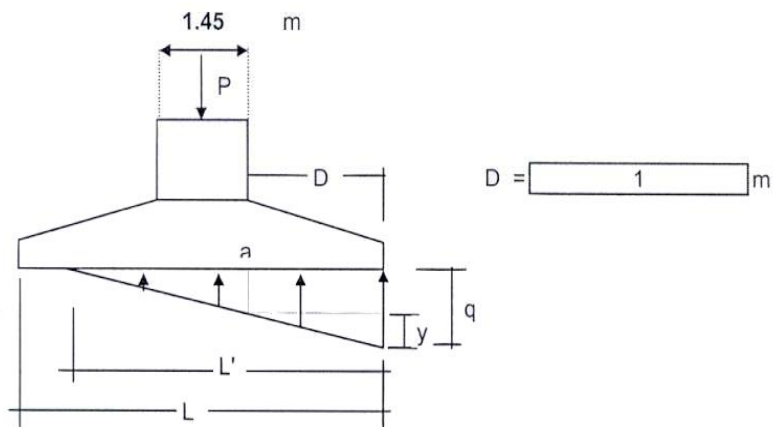
Grupo III U=D+E+L+LF ; T=125%

Grupo II U=D+E+L+W ; T=125%

35

Factor de seguridad contra volteo	6.17		6.17	
Factor de seguridad contra desliz.	3.36		3.36	
Ubicación de resultante	2.15		2.15	
Excentricidad	0.60		0.60	
Esfuerzo en el pie	20.66	ok!!	20.66	ok!!
Esfuerzo en el talón	4.33	ok!!	4.33	ok!!
Momento en "m" (M/ml)	55.25			

CALCULO DE ACERO DE REFUERZO

Esfuerzo sin tensión
Grupo VII

$$q = 2V / 3B(L/2 - e)$$

$$V = 902.78 \text{ ton} \quad L = 5.5 \text{ m}$$

$$B = 11.3 \text{ m} \quad e = 1.266 \text{ m}$$

$$q = 35.89 \text{ ton/m}^2$$

$$q / 1.33 = 26.98 \text{ ton/m}^2 < \text{Esf. Adm. o.k !!}$$

$$L' = 3x(L/2 - e)$$

$$L' = 4.45 \text{ m}$$

$$Y/D = q / L' \quad Y = qx/D/L'$$

$$Y = 8.06 \text{ ton/m}^2$$

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. American Association Of State Highway And Transportation Officials
“AASHTO”, 16Aa. Edición, 19998.
2. Norma Técnica para Diseño por Sismo de la República de El Salvador,
Ministerio de Obras Públicas, 2001.
3. Estudio Geológico.

APENDICE

A P E N D I C E 1

**CASO DE APLICACION: PUENTE CONCHAGUA, KM 195 Y 195.5 BY
PASS LA UNION**

PROPIETARIO: MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

EMPRESA CONSTRUCTORA: CASTANEDA INGENIEROS S.A. DE C.V.

EMPRESA SUPERVISORA: PROINTEC S.A. DE C.V.

CONTRATISTA: ASOCIO TEMPORAL CONASA-PADEGUA

1.0 CARACTERISTICAS GENERALES

1.1 LOCALIZACION

El puente Conchagua está localizado en el departamento de La Unión, en el kilómetro 195 y 195.50, El Salvador. (ver esquema No.1)

1.2 UBICACION

El puente Conchagua está ubicado en la intersección de la calle que del centro urbano a la Unión conduce a Conchagua y el By Pass La Unión.

1.3 DIMENSIONES

El puente está constituido por dos claros cada uno de 12.6 m de longitud y un ancho de calzada de 7.10m.

1.4 COMPONENTES PRINCIPALES

Zapatas de concreto de 5m x 10m x 0.80m, para las pilas y zapatas de concreto de 5m x 11m x 0.80m, para estribos.

Los estribos se diseñaron de concreto reforzado con dimensiones de 7.50 de altura por 8.90m de largo con un espesor de 30cm.

Las pilas se proyectan de concreto reforzado con sección circular tipo marco con cabezal.

Vigas prefabricadas: Vigas T pretensadas con espesor 0.20m y una altura de 0.90m.

Losas de aproximación de 4.0m x 3m y losas principales de 12.6m x 9.0m.

Barandales y postes prefabricados de concreto.

Obras de protección, guardacarril y emplantillados de piedra para protección de talud.

1.5 TIPO DE PUENTE

Puente hipostático de dos claros

1.6 MATERIALES

De acuerdo al diseño estructural realizado por la empresa PLATINIUM S. A. DE C.V. lo constituye lo siguiente:

Zapatas y losas de aproximación. Resistencia del concreto, 210kg/cm^2 hierro grado 60, $f_y=4200\text{kg/cm}^2$.

Estribos, losa del puente, postes, columnas y cabezal de pila.

Resistencia del concreto, 280kg/cm^2 hierro grado 60, $f_y=4200\text{kg/cm}^2$.

Vigas pretensadas.

Resistencia del concreto, 350kg/cm^2 hierro grado 60, $f_y=4200\text{kg/cm}^2$, cables con diámetro $1/2''$ y 7 alambres relevados de esfuerzo $FPU=270\text{KSI}$.

Apoyos elastoméricos. Neopreno de 60 durómetros.

Pasamanos. Acero A-36.

1.7 TECNOLOGIA UTILIZADA

El concreto utilizado fue premezclado haciendo uso de bombas hidráulicas para poder depositar el concreto en los elementos en construcción. Para agilizar el proceso de izado de vigas fueron usadas grúas giratorias de 40 toneladas y 60 toneladas de capacidad.

1.8 MONTO APROXIMADO

El costo del puente se estimó en \$300,000.00 (trescientos mil dólares americanos).

1.9 MANO DE OBRA Y MAQUINARIA

En la mano de obra se seleccionó personal calificado en la construcción de puentes. En la maquinaria relevante se utilizó grúas giratorias y excavadoras mecánicas.

1.9.1 PERSONAL

1.9.2 PERSONAL ADMINISTRATIVO

Para el proyecto se utilizó un gerente administrativo, contador, secretaria, dibujantes, mensajero, conserje, y vigilantes.

1.9.3 PERSONAL DE CAMPO

- Ingeniero residente, es el responsable de la construcción del puente de acuerdo a planos, especificaciones y plan de control de calidad emitido por el contratista en conformidad con el propietario.
- Gerente de control de calidad. Su responsabilidad es representar al contratista que esta presente físicamente en la obra todo el tiempo que se requiera, de acuerdo a los procesos constructivos.
- Supervisor. Responsable de todas las actividades relativas a la calidad.
- Maestro de obra. Persona encargada de realizar las actividades concernientes a la realización de la obra en conjunto con los albañiles y auxiliares.

- Obreros. Son las personas encargadas de realizar las actividades necesarias para construir físicamente el puente.

1.10 DURACION DE LA CONSTRUCCION

El tiempo estimado para la realización del proyecto fue de 3 meses.

1.11 SUBCONTRATOS

CASTANEDA INGENIEROS S.A. DE C.V. se subcontrato para la construcción del puente por la empresa ASOCIO TEMPORAL CONASA-PADEGUA.

MIXTO LISTO se subcontrato por la empresa CASTANEDA INGENIEROS S.A. DE C.V. para la elaboración del concreto prefabricado.

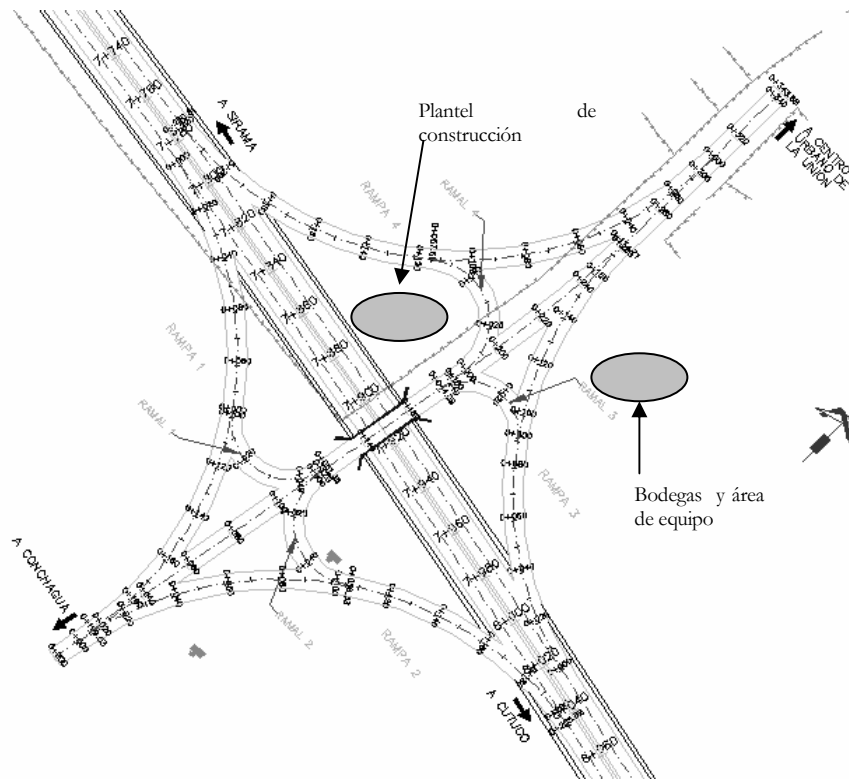
1.12 PROBLEMAS MAS COMUNES DURANTE LA CONSTRUCCION

- Las altas temperaturas y brisas marinas que ocasionaron problemas para el curado del concreto.
- El desorden en el proceso de colado ocasionado por los trabajadores, lo cual causó atraso e incomodidades en la realización de la losa.
- La colocación de las vigas generó dificultades para estabilizarlas en su colocación por su esbeltez.

2.0 PROCESO CONSTRUCTIVO

2.1 INSTALACIONES PROVISIONALES

Las instalaciones provisionales fueron ubicadas por el realizador del proyecto en la posición indicada en el esquema No. 1 y consisten en una oficina móvil (furgón) y una champa de lámina.



Esquema No. 1 Esquema de ubicación del puente Conchagua e instalaciones provisionales

2.2 PLANTEL DE CONSTRUCCION

Espacio destinado para bodega, parqueo de equipos y área de construcción el cual fue ubicado en posición estratégica tal como se muestra en el esquema No. 1. (ver figura A.1)



figura A.1 Plantel de construcción

2.3 FACILIDADES MEDICAS Y SANITARIAS. En la oficina del realizador fue instalado un botiquín el cual contenía los medicamentos principales para dar primeros auxilios de acuerdo con el plan de higiene y seguridad ocupacional en caso de un accidente laboral. La empresa facilitó el transporte para llevar a los trabajadores al centro asistencial más cercano en caso de emergencia. En la periferia del área de construcción fueron instalados servicios sanitarios para uso del personal técnico y trabajadores.

2.4 OFICINA DE CONSTRUCCION

El contratista utilizó una oficina móvil (furgón)

2.5 FACILIDADES PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO

Entre las facilidades instaladas están: agua potable, instalación eléctrica para luz y fuerza mecánica durante la construcción, rótulo de identificación del proyecto y vigilancia. El equipo, herramientas del contratista, materiales y mano de obra fueron contratadas de acuerdo a las especificaciones del proyecto.

2.6 TRAZO Y NIVELACION

Las actividades realizadas son trazo, escuadras y niveles.

Actividades previas: desmonte, tala, eliminación y remoción de árboles y otros materiales.

Trazo: las actividades son replanteo de puntos mediante el equipo de topografía, de las dimensiones del elemento a construir, utilizando varillas de hierro sembradas en el suelo y alineadas con los puntos topográficos, amarra con nylon,

se busca la escuadra, hecho el trazo se realiza la nivelación utilizando nivel de manguera para especificar la cantidad de material a excavar.

2.7 EXCAVACIONES

Antes de iniciar la excavación de zapatas de pilas y estribos el contratista solicita al equipo de topografía delimitar la excavación de cada elemento, luego con el visto bueno de supervisión se procedió a realizar la limpieza y descapote del sitio, haciendo uso de la maquinaria adecuada, ver figura A.2.1 A.2.2, posteriormente se realizaron los cortes de acuerdo a las estacas de corte colocadas por el equipo de topografía. Una vez terminados los preparativos del terreno (se realizó la losa de nivelación con concreto simple y moldeado, utilizando madera de pino y plywood, ver figura A.3) se procedió al armado y colocado de hierro estructural según los planos constructivos y posteriormente se realizó el colado de la misma (ver figura A.4 de colado).

En esta etapa se verificó el correcto posicionamiento del hierro de refuerzo y la vibración adecuada del concreto. El concreto utilizado fue de 210 kg/cm^2 y el hierro estructural grado 60.



Figura A.2.1 , A.2.2 Proceso de excavación



Figuras A.3 Armado de zapata de estribo



Figura A.4 Armado de pila

COLOCACION DE BASES PARA ESTRIBOS Y PILAS

Al finalizar el colado de las zapatas se solicitó la autorización de la supervisión para iniciar las actividades de encofrado de estribos y pilas, desarrollado de acuerdo con las medidas indicadas en los planos constructivos utilizando madera para el molde y puntales metálicos para la cimbra y andamios. Posteriormente se realizó el colado con concreto premezclado, por etapas, es decir, se realizaron colados de 1.50m de altura y luego se subía el molde para colar otros 1.50m, hasta llegar a los cabezales, ver figuras A.5, A.6 y A.7. El concreto utilizado tiene una resistencia de 280kg/cm².



Figuras A.5 Moldeado de pilas



Figura A.6 Moldeado de pilas



Figura A.7 Moldeado de estribo

2.8 CONSTRUCCION DEL TABLERO.

2.8.1 MONTAJE DE VIGAS

Después de terminada la construcción de los cabezales de las pilas 5 días después se iniciaron las operaciones de montaje de vigas pretensadas utilizando grúas giratorias de 40 toneladas y 60 toneladas de capacidad para colocarlas en su posición final, (ver figuras A.8. A.9, A.10, A.11), los apoyos elastoméricos se colocaron justo antes de colocar las vigas en su respectiva posición.



Figuras A.8 y A.9 Montaje de vigas prefabricadas



Figuras A.10 Montaje de vigas prefabricadas



Figura A.11 Colocación final de vigas

Proceso de izado de vigas. Las vigas fueron transportadas en rastras desde la planta de prefabricados hasta colocarlas entre las grúas giratorias, con ayuda de los trabajadores las vigas son aseguradas a las grúas para poder levantarlas y colocarlas en su respectiva posición, este proceso se hizo en forma sistemática en cada claro del puente comenzando con la colocación una de las vigas laterales, esta fue apuntalada en ambos extremos para mantenerla estable, posteriormente fue colocada la siguiente viga, y así sucesivamente hasta colocar la otra viga lateral. Es necesario mencionar, que resulta más complicada la colocación de vigas laterales en ambos claros. La resistencia del concreto utilizado en las vigas fue de $350\text{kg}/\text{cm}^2$ con hierro estructural grado 60.

2.8.2 DIAFRAGMAS

Los diafragmas son vigas de concreto reforzado que sirven para unir transversalmente las vigas del tablero del puente y lograr un trabajo conjunto de las mismas. Después de colocadas las vigas pretensadas se procede a realizar la armadura de los diafragmas y la colocación de los moldes, posteriormente se

procede al colado utilizando concreto de resistencia 280kg/cm², y hierro grado 60 (ver figura A.12)



Figura A.12 Colado de diafragmas

2.8.3 TOPES ANTISISMICOS

La construcción se realiza después de colocadas las vigas, se procede a moldear la armadura ya existente y su respectivo colado.

2.8.4 ARMADO Y MOLDEADO DE LOSAS

Colocadas las vigas se procede al armado de los diafragmas y construcción de topes antisísmicos, luego se realizó el armado de losas principales, losas de aproximación y aceras (ver figura A.13 y A.14 de armado) finalmente, se realizó monóticamente el colado de diafragmas losas y aceras teniendo como respaldo un estricto control de calidad en el concreto y su colocación y un vibrado en satisfacción con la supervisión.



Figura A.13 y A.14 Armado de losas principales



Figura A.15 detalle de bomba



Figura A.16 Proceso de colado de losa

El concreto utilizado fue premezclado con resistencia $280\text{Kg}/\text{cm}^2$ y hierro grado 60.

Se hizo uso de bombas hidráulicas para llevar el concreto hasta su posición final (ver figura A.15, A.16 de bomba y proceso de colado) mediante mangueras metálicas.

Después de realizar el colado se procedió a colocar antisol a la superficie de la losa para evitar fisuraciones por causa de altas temperaturas.

2.8.5 ACABADOS DE LA LOSA

Enrasado manual. Colocando guías de madera ajustándolas al bombeo de la vía y posteriormente se aplicó un tratamiento asfáltico superficial consistente en una

capa de revestimiento formada por riegos sucesivos, alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados de tamaño uniforme, esparcidos uniformemente, que mediante el proceso de compactación son acomodados y orientados en su posición más densa. Esta capa está destinada principalmente a recibir directamente la acción del tránsito proporcionando al pavimento las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje (ver figura A.17 de acabado).

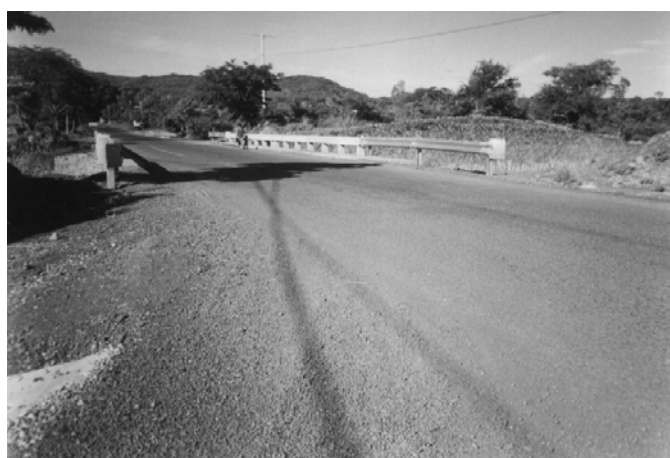


Figura A.17 Acabado final de superficie de rodadura

2.9 COLOCACION DE BARANDALES

Para el caso de los barandales fueron prefabricados colocados antes de colar las aceras y se aseguraron en el hierro de esta; posteriormente, fueron empernados sus elementos horizontales tal como se muestra en la figura A.18.

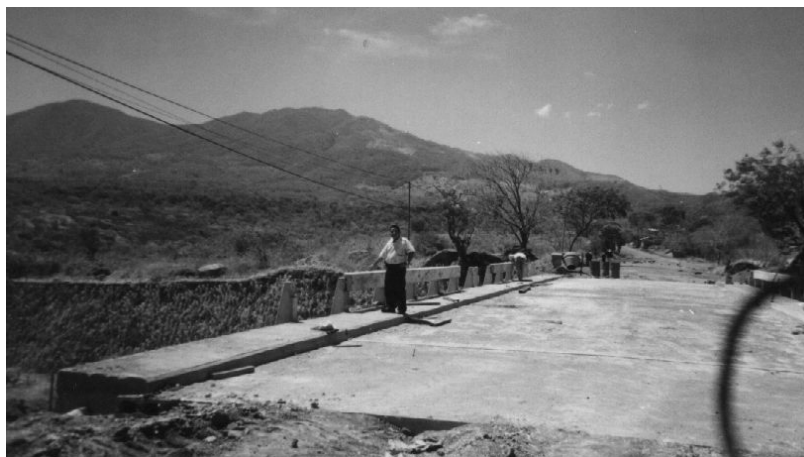


Figura A.18 Colocación de barandales

2.10 CONSTRUCCION DE JUNTAS

Las juntas se ubicaron entre la losa de aproximación y losa principal y entre las dos losas principales adyacentes. Para la construcción de juntas se utilizaron ángulos de acero con las medidas de acuerdo a la sección detallado en los planos. Antes de ser colocadas se revisaron para evitar defectos constructivos.

2.11 AGUJEROS DE DRENAJE

Se construyeron en los estribos de PVC con diámetro de 4" a un ángulo de 30 grados y a una separación horizontal de 3m y vertical de 1.50m.

2.12 OBRAS DE PROTECCION

Las obras realizadas para la protección de los estribos del puente son las siguientes: se realizó una excavación contiguo a los estribos rellenándola con lodocreto al 5% de cemento, tres días después se realizó un emplantillado de piedra a cada lado de los estribos. Para encausar el tránsito se colocaron vallas guardacarril (flex beam) a la entrada y salida del puente y protección a las pilas

intermedias, ver figura A.19, A.20. La protección de las vigas intermedias se realizó colocando vallas dobles de flex beam.



Figura A.19 y A.20 Obras de protección

2.13 PRUEBAS DE CARGA

Antes de abrir el tráfico al público, el puente es puesto a prueba, colocando cargas en sus losas principales y pasando repetidamente cierta maquinaria, en este caso, se utilizaron rodos para verificar la estabilidad de la estructura, luego se hicieron pasar camiones de 8ton cargados; funcionando satisfactoriamente y con el visto bueno de la supervisión, se abrió al tráfico regular al publico.

2.14 SEÑALIZACION

Antes de abrir al tráfico se colocan rótulos informativos donde se indica la existencia del puente con la finalidad de orientar satisfactoriamente a los usuarios.

2.16 PUESTA EN SERVICIO DEL PUENTE

Al finalizar todas las actividades concernientes a la construcción del puente, éste es abierto al tráfico vehicular (ver figura A.22). Además aquellas áreas utilizadas

para establecer la oficina, bodegas y estacionamiento de maquinaria se limpiaron y se dejaron en condiciones similares, como antes de iniciar el proyecto, como se muestra en las figuras A.23 y A.24.



Figura A.23 y A.24 Condiciones finales del proyecto.

Para la construcción del puente Conchagua se utilizaron 4 planos estructurales proporcionados por la empresa diseñadora los cuales se presentan a continuación.