

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



**“APLICACIONES DE PUENTES METÁLICOS
MODULARES EN EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

**FABRICIO ADALBERTO CARRILLO CHOPIN
HELMAN ALCIDES LÓPEZ PEÑA**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2006

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 :

**“APLICACIONES DE PUENTES METÁLICOS
MODULARES EN EL SALVADOR”**

Presentado por :

**FABRICIO ADALBERTO CARRILLO CHOPIN
HELMAN ALCIDES LÓPEZ PEÑA**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. M. Sc. ROGELIO ERNESTO GODÍNEZ GONZÁLEZ
ING. ROGELIO ARMANDO BERMÚDEZ**

San Salvador, agosto de 2006

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. M. Sc. ROGELIO ERNESTO GODÍNEZ GONZÁLEZ

ING. ROGELIO ARMANDO BERMÚDEZ

AGRADECIMIENTOS

A nuestros asesores:

Ing. M. Sc. Rogelio Ernesto Godínez González.

Ing. Rogelio Armando Bermúdez.

Queremos expresar nuestros profundos agradecimientos, por su guía, paciencia, dedicación, esmero, amistad y comprensión en la realización satisfactoria de este trabajo de graduación.

A la Escuela de Ingeniería Civil, por su disposición efectiva, en las presentaciones de esta investigación.

Al Ministerio de Obras Públicas, representado por nuestro asesor Ing. Bermúdez por su incondicional apoyo, en la recopilación de información obtenida durante el proceso de investigación.

DEDICATORIA

Si se puede soñar se puede conseguir, para estudiar hay que tener paciencia y no detenerse. "Ten paciencia tengo ideas, ya verás, ya verás" (Gustavo Eiffel).

A DIOS TODOPODEROSO: que me ha permitido llegar hasta esta meta, ha bendecido mis estudios y me permite ponerlos al servicio de los demás.

A MIS PADRES: mi papá, Adalberto Antonio Carrillo Durán y a mi mamá, Irma Catalina Chopin de Carrillo por sus sacrificios.

A MI ESPOSA: Maria Erika Merino de Carrillo, por su paciencia, confianza y compañía en el desarrollo de este trabajo.

A MI HIJA: Karla Faviola, porque me acompaña desde el cielo, con sus manos abiertas y su rostro en mi mente.

A MI HERMANO: Carlos Josué, por tener fe en que podía lograr lo que me proponía y alentarme con su confianza.

A MIS ABUELOS: Enma Salvadora Meléndez, Marcedonio Chopin, Pilar Carrillo y Apolonio Durán, por haber dotado a mis padres de gran preocupación por las personas, la familia, las amistades y la formación de sus hijos.

A MI FAMILIA: por acompañar mis metas y alentar a mis padres.

FABRICIO CARRILLO

DEDICATORIA

Dedico éste trabajo a:

A DIOS TODO PODEROSO: por cuidarme, iluminarme y protegerme durante todo el trayecto de mi carrera, en todo momento, y así, haber alcanzado la meta deseada.

A MIS PADRES: Salvador López Aviles y Estebada del Socorro Peña Argueta, por su amor, comprensión, aliento y consejos, que sin la ayuda de ellos, este logro no hubiese sido posible. Y mi padre, que desde el cielo, me ha cuidado en todo momento.

A MI TÍA: Bertila Peña Argueta, por estar siempre pendiente de mis pasos, brindándome todo su apoyo, habiendo siempre creído en mí, apoyándome con sus sabios consejos.

A MIS HERMANOS: Ivan Vladimir López Peña y Fernando Ernesto López Peña, por el apoyo que siempre me han brindado, de forma incondicional

A MIS AMIGOS: porque en los momentos difíciles de mi carrera, me brindaron apoyo y aliento para seguir adelante y así, pasar momentos más agradables.

A MIS COMPAÑEROS: por su apoyo moral en los momentos más difíciles de mi carrera.

A MIS PROFESORES: que con todos sus conocimientos y enseñanzas contribuyeron con mi formación profesional.

A MIS ASESORES: quienes me asistieron en todo el transcurso de este trabajo, y me brindaron su consejería y por tenerme muchísima paciencia. Por haberme dedicado un poco de su tiempo, para proporcionarme información y sugerencias valiosas, que contribuyeron para la elaboración de éste trabajo de graduación.

A TODOS LOS PROFESIONALES Y DEMÁS PERSONAS: a todos los que colaboraron con el desarrollo de éste trabajo, muchas gracias.

HELMAN LÓPEZ

RESUMEN

En la investigación “Aplicaciones de puentes metálicos modulares en El Salvador” se desarrolla, la búsqueda de criterios de mejor aplicación de puentes metálicos modulares, basados en funcionamiento, y utilidades históricas, reconocimientos de las de las piezas de los fabricantes de puentes metálicos modulares utilizados en el país, Bailey, Mabey Compact 200, Acrow Panel, detalladamente, para conocer la respuesta mecánica que tienen en cada modulación de vigas que ellos producen, esto es cargas axiales, fuerzas cortantes y momento flexionante individualmente y la estructura en conjunto, validando la teoría de la viga simplemente apoyada con cargas puntuales por eje en el claro del puente a utilizar, estableciendo criterios de seguridad de carga por efectos de impacto, fatiga, daños y vida útil. Sin embargo, el Ministerio de Obras Públicas limita el peso de vehículos sobre estos puentes a 20 toneladas y 30 toneladas, de acuerdo con cargas de funcionamiento y las especificadas en la AASHTO y la SIECA. Se establecen secuencias del montaje, de las diferentes modulaciones, identificando herramientas, maquinaria, accesorios, estructuras provisionales (morro de lanzamiento) y propias del puente, además, basado en cálculos para el proceso montaje y lanzamiento, que den seguridad durante la posición de voladizo, garantizando la posición del centro de gravedad por detrás del extremo de lanzamiento. Los implementos necesarios para el personal durante el montaje, garantizan seguridad y bienestar, durante todas las actividades que estos puentes presentan, durante el ensamble y montaje.

Cabe destacar, que el ajuste final de las piezas, apoyos y prueba de carga, para la puesta en servicio; señalizaciones de límite de peso y velocidad; inspecciones de campo, se hará mediante un formulario, de donde se obtenga el buen o mal estado de los componentes de la estructura, permitiendo hacer un diagnóstico, esto, con visitas periódicas sobre los puentes actualmente montados, previniendo daños severos, mediante actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. Por lo cual, es indispensable tener un inventario de estas estructuras, para establecer un control de las actividades a realizar en cada una de ellas, conociendo las condiciones en que se encuentran, para evitar que estos pierdan su funcionamiento antes de la vida útil proyectada en su diseño estructural.

ÍNDICE

Contenido:	Página
<i>CAPÍTULO I. GENERALIDADES</i>	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Alcances y limitaciones.....	6
1.4.1 Alcances.....	6
1.4.2 Limitaciones.....	7
1.5 Justificación.....	7
1.6 Puentes metálicos.....	8
1.6.1 Evolución de puentes de armadura metálica.....	8
1.7 Breve historia de puentes y bóvedas de El Salvador.....	15
1.8 Conceptos generales de puentes.....	18
1.8.1 Definición y orígenes de puentes.....	18
1.8.2 Partes fundamentales que constituyen un puente.....	19
1.8.2.1 La superestructura.....	19
1.8.2.1.1 Elementos principales.....	19
1.8.2.1.2 Elementos secundarios.....	20

1.8.2.1.2.1 Arriostramiento.....	20
1.8.2.1.2.2 Calzadas.....	21
1.8.2.1.2.3 Señalización.....	22
1.8.2.1.2.4 Aparatos de apoyo.....	22
1.8.2.1.2.5 Drenajes.....	22
1.8.2.1.2.6 Aceras.....	23
1.8.2.1.2.7 Juntas.....	23
1.8.2.1.2.8 Accesos.....	23
1.8.2.1.2.9 Barandas.....	23
1.8.2.1.2.10 Gálibo vertical.....	24
1.8.2.2 La subestructura o infraestructura.....	24
1.8.2.2.1 Estribos.....	24
1.8.2.2.1.1 Pilotes.....	25
1.8.2.2.1.2 Base de estribo.....	26
1.8.2.2.1.3 Columna del estribo.....	26
1.8.2.2.1.4 Pantalla del estribo.....	26
1.8.2.2.1.5 Muros de ala o aletones.....	26
1.8.2.2.1.6 Vigas de cabezal.....	27
1.8.2.2.2 Pilas.....	27
1.8.2.2.2.1 Pila marco.....	27
1.8.2.2.2.2 Pila pared.....	28
1.8.2.2.2.3 Pila cabeza de martillo.....	28

1.8.2.2.2.4 Pila columna aislada.....	28
1.9 Red vial de El Salvador.....	29
1.9.1 Caminos y puentes.....	30
1.10 Estudios para el emplazamiento de un puente metálico modular.....	31
1.10.1 Estudios de ubicación topográfica.....	31
1.10.2 Estudio geotécnico.....	33
1.10.2.1 Geología.....	33
1.10.2.2 Estudios de suelos.....	34
1.10.3 Estudio hidrológico.....	37
1.10.3.1 Hidrografía.....	37
1.10.3.2 Hidrogeología.....	38
1.10.4 Estudio hidráulico.....	42
1.10.5 Estudio socioeconómico.....	48
1.11 Aspectos a tomar en cuenta para el estudio del punto de emplazamiento.....	50
1.11.1 Tipo de vehículo.....	50
1.11.2 Tipo de carretera.....	53
1.11.3 Condiciones de carga.....	53
1.11.4 Estudio de tránsito.....	55
1.11.5 Ancho de rodadura.....	57
<i>CAPÍTULO II. PUENTES METÁLICOS MODULARES</i>	58
2.1 Piezas de los puentes metálicos modulares.....	59

2.1.1 Panel modular.....	59
2.1.2 Traveseros.....	61
2.1.3 Elementos de unión.....	62
2.1.4 Elementos de calzada.....	69
2.1.4.1 Rampa de acceso.....	69
2.1.4.2 Calzada vehicular.....	74
2.1.4.3 Calzada peatonal.....	76
2.1.5 Elementos de apoyo.....	81
2.1.6 Elementos de refuerzo.....	85
2.1.7 Modulaci3n t3pica de puentes met3licos modulares.....	87
2.2 Dimensiones de los puente met3licos modulares.....	91
2.2.1 Dimensiones de Puentes Bailey Thos Storey.....	91
2.2.2 Dimensiones de Puente Mabey Compact 200.....	91
2.2.3 Dimensiones de Puentes Acrow Panel.....	92
2.3 Puentes Bailey Thos Storey.....	93
2.3.1 Puente Bailey est3ndar ensanchado.....	93
2.3.2 Puente Bailey extra ancho.....	100
2.3.3 Puente Bailey con tablero de acero.....	104
2.3.4 Puente Bailey de tablero superior.....	112
2.3.5 Puentes de varios vanos.....	123
2.4 Puentes modulares Mabey Compact 200.....	130
2.4.1 Componentes de construcciones de Puentes Mabey Compact.....	133

2.5 Puentes modulares Acrow Panel.....	135
2.6 Torres y Pilas.....	139
2.7 Puentes Bailey Flotantes.....	146
2.7.1 Descripción de componentes.....	151
2.7.2 Acoplamiento de Uniflotes.....	157
2.7.3 Ferry de carga en la orilla.....	159
<i>CAPÍTULO III. SELECCIÓN DEL PUENTE METÁLICO MODULAR.....</i>	164
3.1 Principios del diseño de puentes metálicos modulares.....	165
3.2 Cargas que soportan los puentes metálicos modulares.....	166
3.2.1 Cargas permanentes.....	166
3.2.2 Cargas vivas.....	170
3.2.2.1 Camión de diseño y Carga de carril.....	170
3.2.2.1.1 Cargas Británicas.....	170
3.2.2.1.2 Cargas Americanas (AASHTO).....	171
3.2.2.1.3 Cargas Canadienses.....	172
3.2.3 Cargas de impacto.....	173
3.3 Capacidad de la estructura.....	174
3.3.1 Capacidad para absorber cargas a imponer.....	174
3.3.2 Capacidad portante de las fundaciones.....	175
3.3.3 Propiedades mecánicas de los elementos que conforman los puentes metálicos modulares.....	186

3.3.4 Resistencia de las piezas componentes y fenómenos locales.....	190
3.4 Tipos de reforzamientos.....	194
3.5 Selección de un puente metálico modular.....	195
3.5.1 Criterios básicos para la selección de puentes metálicos modulares.....	195
3.5.2 Evaluación de esfuerzos.....	197
3.5.2.1 Cortante máximo.....	198
3.5.2.2 Momento de flexión máximo.....	198
3.5.2.3 Deflexiones.....	198
3.5.3 Selección de puentes metálicos modulares utilizando tablas de capacidad cortante y momento flexionante de los fabricantes, (Anexo A).....	200
3.5.3.1 Ejemplo 3.1.....	201
3.5.3.2 Ejemplo 3.2.....	205
3.5.3.3 Ejemplo 3.3.....	208

CAPÍTULO IV. MONTAJE Y LANZAMIENTO DE LOS PUENTES

METÁLICOS MODULARES.....213

4.1 Principio básico de montaje y lanzamiento de los puentes metálicos modulares....	214
4.2 Procedimiento para calcular la lista y cantidad de piezas para montaje de puentes metálicos modulares.....	215
4.2.1 Información requerida para elegir las piezas del puente metálico modular..	215
4.2.2 Procedimiento para utilizar la Tabla 4.1, cantidad de piezas.....	215
4.3 Equipo para montaje y lanzamiento de puentes metálico modular.....	218

4.3.1 Accesorios.....	218
4.4 Maquinaria y herramientas para montaje y lanzamiento de puentes metálicos modulares.....	227
4.4.1 Maquinaria y equipo para montaje y lanzamiento de puentes metálicos modulares.....	227
4.4.2 Herramientas.....	229
4.5 Plan de Higiene y Seguridad Industrial durante el montaje de puentes metálicos modulares (PHSI).....	233
4.5.1 Condiciones técnicas.....	233
4.5.2 Equipo personal.....	236
4.6 Secuencia de montaje de puentes metálicos modulares.....	237
4.6.1 Consideraciones previas al montaje de puentes metálicos modulares.....	237
4.6.2 Preparación del lugar de montaje.....	238
4.6.3 Montaje del morro de lanzamiento de los puentes metálicos modulares.....	242
4.6.4 Montaje de un puente Bailey Simple Simple.....	247
4.6.5 Montaje de un puente Bailey Doble Simple.....	249
4.6.6 Montaje de un puente Bailey Triple Simple.....	252
4.6.7 Montaje de un puente Bailey Doble Doble.....	254
4.6.8 Montaje de un puente Bailey Triple Doble.....	256
4.6.9 Montaje de un puente Bailey de tres módulos de altura con arriostramiento superior.....	259
4.6.10 Montaje de puentes Bailey con Cordón reforzado.....	260

4.6.11 Lanzamiento de puentes metálicos modulares.....	261
4.6.11.1 Cálculos típicos para el lanzamiento de puentes metálicos modulares.....	261
4.6.11.1.1 Ejemplo 4.1.....	262
4.6.11.1.2 Ejemplo 4.2.....	264
4.6.11.2 Lanzamiento y bajada de los puentes metálicos modulares.....	266
4.6.12 Montaje de calzada.....	270
4.6.12.1 Montaje de calzada de madera.....	271
4.6.12.2 Montaje de calzada de acero.....	273
4.7 Fijación final de los puentes metálicos modulares.....	273

CAPÍTULO V. GUÍA PARA LA EVALUAR EL BUEN ESTADO DE LOS

<i>PUNTES METÁLICOS MODULARES.....</i>	276
5.1 Inventario de los puentes metálicos modulares en El Salvador.....	277
5.2 Determinación del buen estado de los puentes metálicos modulares.....	277
5.2.1 Inspección.....	277
5.2.2 Diagnostico.....	286
5.2.2.1 Condiciones del punto de emplazamiento.....	286
5.2.2.2 Condiciones de la superestructura.....	288
5.2.2.3 Condiciones de la subestructura.....	289
5.2.3 Evaluación.....	290
5.3 Mantenimiento de los puentes metálicos modulares.....	291

5.3.1 Mantenimiento preventivo.....	294
5.3.2 Mantenimiento correctivo.....	302
5.4 Formulario para la inspección de los puentes metálicos modulares.....	305

CAPÍTULO VI. ANALISIS DE RESULTADOS, CONSIDERACIONES

<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	329
6.1 Análisis de resultados.....	330
6.1 Consideraciones.....	339
6.2 Conclusiones.....	342
6.3 Recomendaciones.....	343
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	346
<i>ANEXO A</i> Tablas de fuerza cortante y momento flexionante.....	350
<i>ANEXO B</i> Tablas de pesos de puentes metálicos modulares.....	367
<i>ANEXO C</i> Inventario de los puentes metálicos modulares en El Salvador.....	371
<i>ANEXO D</i> Formulario para la inspección de los puentes metálicos modulares.....	377

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido:	Página
Tabla 1.1 Compacidad de suelos friccionantes.....	36
Tabla 1.2 Consistencia de suelos cohesivos.....	36
Tabla 1.3 Coeficiente de rugosidad de Manning.....	44
Tabla 1.4 Determinación del caudal y tirante de diseño.....	45
Tabla 1.5 Dimensiones de vehículos. AASHTO-44.....	53
Tabla 1.6 Límites de peso por eje de vehículos SIECA.....	55
Tabla 2.1 Anchos de puentes Bailey de tablero inferior.....	91
Tabla 2.2 Dimensiones de puentes Mabey Compact 200.....	92
Tabla 2.3 Dimensiones de puentes Acrow Panel.....	93
Tabla 2.4 Juegos de monturas utilizando cuatro traveseros por módulo.....	108
Tabla 2.5 Juegos de monturas utilizando dos traveseros por módulo.....	108
Tabla 2.6 Propiedad de puentes Mabey Compact 200.....	134
Tabla 2.7 Dimensiones de Traveseros Acrow Panel.....	138
Tabla 3.1 Pesos por tramo de 10 piés Puentes Mabey Compact 200 con tablero de madera.....	167
Tabla 3.2 Pesos por tramo de 10 piés. Puentes Mabey Compact 200 con tablero de acero.....	168
Tabla 3.3 Pesos por tramos de 10 piés (3.048m). Puentes Bailey. Paneles estándar.....	169
Tabla 3.4 Capacidad total de cortante para modulaciones de vigas normales de	

puentes Bailey.....	174
Tabla 3.5 Coeficientes de aceleración sísmica.....	178
Tabla 3.6 Factores de seguridad para muros.....	180
Tabla 3.7 Momentos de inercia para las modulaciones de vigas de puentes Bailey.....	189
Tabla 3.8 Cantidad de piezas para refuerzo de puentes Mabey Compact 200.....	195
Tabla 4.1 Cantidad de piezas por módulo para puentes metálicos modulares.....	217
Tabla 4.2 Flecha producida en el morro de lanzamiento, según la altura y longitud del puente metálico modular.....	221
Tabla 4.3 Distancias entre centros de rodillos de lanzamiento.....	229
Tabla 4.4 Proceso de montaje de puente Bailey Triple Doble.....	257
Tabla 4.5 Peso de módulos de morro de lanzamiento.....	262
Tabla 4.6 Modulación y longitud del morro de lanzamiento para puentes metálicos modulares de ancho estándar Bailey.....	265
Tabla 5.1 Elementos modulares principales de los Puentes Bailey.....	310
Tabla 5.2 Elementos modulares secundarios de los Puentes Bailey.....	311
Tabla 5.3 Elementos modulares de calzada de los Puentes Bailey.....	314
Tabla 5.4 Elementos modulares internos de calzada de los Puentes Bailey.....	315
Tabla 5.5 Elementos modulares de calzada peatonal de los Puentes Bailey.....	316
Tabla 5.6 Elementos modulares de apoyo de los Puentes Bailey.....	317
Tabla 5.7 Elementos modulares de refuerzo de los Puentes Bailey.....	319
Tabla 5.8 Elementos de cimentaciones para los Puentes Modulares.....	320
Tabla 5.9 Clasificación de daños.....	323

Tabla 6.1 Peso vehicular máximo (toneladas) sobre los puentes metálicos modulares utilizados en El Salvador.....	335
Tabla 6.2 Modulación, longitud y flecha del morro de lanzamiento para puentes metálicos modulares.....	337

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido:	Página
Figura 1.1 Puentes Bailey en el Boulevard del Ejercito sobre el río Acelhuate.....	4
Figura 1.2 Puente de Coalbrookdale sobre el río Severn.....	10
Figura 1.3 Inicios de los puentes metálicos modulares.....	12
Figura 1.4 Puente de armazón lateral poligonal, “Ns” ubicado sobre el río Comalapa, departamento La Paz.....	14
Figura 1.5 Puentes de armadura metálica.....	14
Figura 1.6 Puente provisional Bailey sobre el río Jiboa, departamento de La Paz.....	15
Figura 1.7 Puente de provisional Bailey sobre el río Lempa carretera CA-2 en San Marcos Lempa. Al fondo el puente del ferrocarril, paso antiguo hecho con armaduras metálicas poligonales.....	18
Figura 1.8 Tipos de calzadas de puentes metálicos modulares.....	21
Figura 1.9 Acceso al puente Mabey Compact 200 Doble Simple, “Los Ángeles”, Apopa.....	24
Figura 1.10 Esquema del uso de pilotes.	25
Figura 1.11 Pila tipo marco, puente Acrow Triple Doble 430’ Citala.	

Chalatenango.....	28
Figura 1.12 Estribo de mampostería, con aletones, puente Acrow Doble Simple “El Carrizo”. Cabañas.....	46
Figura 1.13 Área para objetos de arrastre.....	48
Figura 1.14 Cargas H (M).....	54
Figura 1.15 Cargas HS (MS).....	55
Figura 1.16 Ancho mínimo de circulación.....	57
Figura 2.1 Panel de puente Bailey (BB.1).....	60
Figura 2.2 Travesero (BB.5).....	61
Figura 2.3 Bastidor de Arriostramiento (BB.2).....	63
Figura 2.4 Tornapuntas o Puntal (BB.3).....	63
Figura 2.5 Bulón (BB.4) y Pasador (BB.4).....	64
Figura 2.6 Torniquete de Travesero (BB.6) y Torniquete de Travesero (BB.573).....	65
Figura 2.7 Perno de Cordón (BB.9).....	66
Figura 2.8 Perno de Trinca No.1 (BB.10).....	66
Figura 2.9 Perno de Arriostramiento (BB.11).....	67
Figura 2.10 Placa de unión (BB.29).....	67
Figura 2.11 Diagonal de Arriostramiento (BB.15).....	68
Figura 2.12 Rampas de Acceso.....	71
Figura 2.13 Rampa Plana (BB.24).....	72
Figura 2.14 Rampa de botones (BB.25).....	72
Figura 2.15 Pedestal de Rampa 1 (BB.23) y Pedestal de Rampa 2 (BB.108).....	73

Figura 2.16 Trinca guardalado (BB.13).....	74
Figura 2.17 Tablón estándar (BB.14).....	75
Figura 2.18 Emparrillados planos (BB.7).....	75
Figura 2.19 Emparrillados de botones.....	76
Figura 2.20 Ménsula de Andén para Peatones (TSBB.615).....	77
Figura 2.21 Plancha Cuadrículada de Acero (TSB.639).....	78
Figura 2.22 Módulo de madera (TSBB.631).....	79
Figura 2.23 Pasamanos para Vías de Peatones.....	80
Figura 2.24 Apoyo de Cojinete (BB.19).....	82
Figura 2.25 Placa de Asiento (BB.31).....	82
Figura 2.26 Poste Final Hembra (BB.62) y Poste Final Macho (BB.63).....	84
Figura 2.27 Cordón de Refuerzo (BB.150).....	85
Figura 2.28 Collarín de Perno de Cordón (BB.151).....	86
Figura 2.29 Cordones de Refuerzo Extremo (TSBB.616 y TSBB.617).....	86
Figura 2.30 Soporte para el Arriostramiento Superior (BB.73).....	87
Figura 2.31 Tipos de modulaciones de un panel de altura.....	89
Figura 2.32 Tipos de modulaciones de dos o tres paneles de altura.....	90
Figura 2.33 Ancho de puentes Acrow panel.....	92
Figura 2.34 Travesero Largo (BB.105).....	94
Figura 2.35 Diagonal de Arriostramiento Larga (BB.107).....	95
Figura 2.36 Tablón Largo (BB.106).....	95
Figura 2.37 Bastidor de Arriostramiento Ancho Especial (TSBB.501).....	96

Figura 2.38 Bulón de Panel sin Cabeza Especial (BB.130).....	96
Figura 2.39 Poste Final Macho (BB. 146) y Poste Final Hembra (BB.147).....	97
Figura 2.40 Extensión de Diagonal de Arriostramiento (BB.51).....	98
Figura 2.41 Viga de Balanceo (BB.128).....	99
Figura 2.42 Travesero Extra Ancho (BB.133).....	101
Figura 2.43 Diagonal de Arriostramiento E.A. (BB.134).....	102
Figura 2.44 Bastidor de Arriostramiento E.A. (BB.140).....	102
Figura 2.45 Torniquete de Travesero E.A. (BB.143).....	103
Figura 2.46. Tablón E.A. (BB.144).....	103
Figura 2.47 Traveseros (TSBB.542), (TSBB.543) y (TSBB.544).....	107
Figura 2.48 Unidades de Tablero (TSBB.534) y (TSBB.535).....	110
Figura 2.49 Tope de Asfalto Corto (TSBB.594).....	111
Figura 2.50 Perno de Guardalado No. 2 (TSBB.504).....	112
Figura 2.51 Cordón de Refuerzo Superior de Plataforma Lisa (TSBB.527).....	114
Figura 2.52 Emparrillado Central de Plataforma Lisa (TSBB.566 y TSBB.567).....	115
Figura 2.53 Poste Final de Plataforma Lisa, Macho y hembra (TSBB.568 y 569) y Extensiones de Poste Final, Macho y Hembra (TSBB.580 y 581).....	116
Figura 2.54 El Travesero-Marco de la Plataforma de Acero (TSBB.560 y TSBB.561).....	117
Figura 2.55 Travesero de 18 pies (5.49 m) para Plataforma Lisa, tablero de madera TSBB.621 y tablero de acero TSBB.622.....	119
Figura 2.56 Travesero de 20 pies (6.10 m) para Plataforma Lisa, tablero de madera TSBB.623 y tablero de acero TSBB.624.....	120

Figura 2.57 Platabanda de Travesero (TSBB.575).....	120
Figura 2.58 Bastidor de Arriostamiento de Viga Maestra Central (TSBB.576).....	121
Figura 2.59 Viga de Distribución (BB.154).....	126
Figura 2.60 Placa de Unión de Vigas de Cumbreira (BB.155 y TSBB.517).....	127
Figura 2.61 Poste intermedio de Tramos, Macho (BB.68) y Hembra (BB.69).....	128
Figura 2.62 Eslabón de Unión (BB.70) y (BB.166).....	129
Figura 2.63 Cordón de Refuerzo Corto (BB.161).....	130
Figura 2.64 Paneles Mabey compact 200.....	131
Figura 2.65 Piezas de Puentes Mabey Compact 200.....	132
Figura 2.66 Bastidores de Arriostamiento Horizontal y Vertical en Puentes Mabey Compact 200.....	133
Figura 2.67 Panel Acrow (AB1).....	136
Figura 2.68 Elementos de Estabilización.....	137
Figura 2.69 Miembros de Apoyo.....	137
Figura 2.70 Traveseros Acrow panel.....	138
Figura 2.71 Traveseros de los Extremos Laterales.....	139
Figura 2.72 Pila Bailey Quintuple Triple bajo el puente Bailey TS-110' en el Km 177, San Sebastián, Ruta Militar, Santa Rosa de Lima, depto. de La Unión.....	140
Figura 2.73 Pilas Bailey con Paneles en Progreso Vertical.....	140
Figura 2.74 Zapatas de Pilas Bailey (TSBB.564 y TSBB.655).....	141
Figura 2.75 Viga de cumbreira de pilas Bailey (TSBB.652 y TSBB.653).....	142

Figura 2.76 Cojinete superior de cumbrera (TSBB.654).....	143
Figura 2.77 Viga de Distribución (BB.154).....	144
Figura 2.78 Bastidor de Arriostramiento Pesado (TSBB.657).....	145
Figura 2.79 Torre de 4 Paneles y Soporte Angular (TSBB. 565).....	146
Figura 2.80 Uniflote (TSU.37/1A).....	152
Figura 2.81 Proa (TSU.37/2A).....	152
Figura 2.82 Popa (TSU.37/3A).....	153
Figura 2.83 Parihuela de Tres Piezas del Uniflote (TSU.44/28).....	154
Figura 2.84 Parihuelas de Junta Transversal (TSU.44/28/4).....	155
Figura 2.85 Parihuelas de Junta Lateral (TSU.44/28/5-6).....	155
Figura 2.86. Macho (TSU.37/14) y Hembra (TSU.37/13)	
Macho/Hembra (TSU.44/9).....	156
Figura 2.87 Macho/Hembra (TSU.37/38).....	157
Figura 3.1 Carga H.B. Británicas.....	171
Figura 3.2 Carga Americana HS20-44.....	171
Figura 3.3 Carga Canadiense MS250.....	172
Figura 3.4 Fuerzas sobre un estribo de mampostería de piedra.....	179
Figura 3.5 Factores de capacidad de carga para aplicación de teoría de Terzaghi.....	183
Figura 3.6 Cabezal de estribo para puentes metálicos modulares.....	184
Figura 3.7 Estribo de concreto para puentes metálicos modulares, con las varillas vistas del cabezal de estribo vertical, para el lanzamiento del puente y posterior colado. Comunidad Nueva Inglaterra. San Salvador.....	185

Figura 3.8 Cubos de mampostería con losa de concreto y tensor de apoyo de puentes metálicos modulares.....	186
Figura 3.9 Resistencia a fuerzas puntuales de paneles Bailey, por efecto de la fuerza cortante y la cupla activa.....	190
Figura 3.10 Resistencia al momento par, en un bastidor de arriostamiento (BB.2).....	192
Figura 3.11 Resistencia a la carga puntual del apoyo de cojinete (BB.19).....	193
Figura 3.12 Vehículo de diseño, ejemplo 3.1.....	202
Figura 3.13 Evaluación del cortante, ejemplo 3.1.....	203
Figura 3.14 Momento máximo a flexión, ejemplo 3.1.....	203
Figura 3.15 Cargas por eje de los camiones de diseño, ejemplo 3.2.....	206
Figura 3.16 Evaluación del cortante, ejemplo 3.2.....	206
Figura 3.17 Momento máximo a flexión producido por el tren de carga, ejemplo 3.2.....	207
Figura 3.18 Camión de diseño H.S.20-44, ejemplo 3.3.....	209
Figura 3.19 Evaluación de cortante máximo, ejemplo 3.3.....	210
Figura 3.20 Momento máximo a flexión, ejemplo 3.3.....	211
Figura 4.1 Eslabón de Morro de Lanzamiento (BB.65).....	218
Figura 4.2 Efecto del Eslabón de Lanzamiento (BB.65), en el morro de lanzamiento de los puentes metálicos modulares.....	220
Figura 4.3 Rodillo plano (BB.58).....	222
Figura 4.4 Solera de rodillo plano (BB.54).....	223
Figura 4.5. Rodillo basculante (BB.59).....	234
Figura 4.6 Solera de rodillo basculante (BB.60).....	225

Figura 4.7 Viga de Balanceo (BB.128).....	226
Figura 4.8 Equipo para el montaje de puentes metálico modulares.....	228
Figura 4.9 Montaje de puente Bailey Doble Doble de 100 pies mediante el uso de pala mecánica.....	228
Figura 4.10 Llave de carraca (BB.26).....	229
Figura 4.11 Llave de boca 1 ¼ ó ¾ pulgadas (BB.32).....	229
Figura 4.12 Llave de manivela ¾” (BB.34).....	230
Figura 4.13 Base de apoyo del calzo para gato (BB.18).....	231
Figura 4.14 Gato hidráulico (TSBB.505).....	232
Figura 4.15 Gato de carraca EN.1046.....	232
Figura 4.16 Vestuario para montaje de puentes metálicos modulares.....	237
Figura 4.17 Replanteo en el sitio.....	241
Figura 4.18 Colocación de rodillos planos y basculantes.....	242
Figura 4.19 Montaje del primer módulo del morro de lanzamiento.....	243
Figura 4.20 Montaje del segundo módulo del morro de lanzamiento.....	244
Figura 4.21 Montaje del tercer módulo del morro de lanzamiento.....	245
Figura 4.22 Montaje de cuarto módulo del morro de lanzamiento.....	247
Figura 4.23 Montaje de puente Simple Simple.....	248
Figura 4.24 Inicio de montaje de un puente Doble Simple.....	250
Figura 4.25 Montaje un puente Doble Simple.....	251
Figura 4.26 Montaje de traveseros en puentes Doble Simple.....	252
Figura 4.27 Montaje de un puente Triple Simple.....	253

Figura 4.28 Montaje de un puente Doble Doble.....	255
Figura 4.29 Montaje de un puente Doble Doble.....	256
Figura 4.30 Montaje de puente Triple Doble.....	258
Figura 4.31 Montaje de puente Triple Triple.....	259
Figura 4.32 Ejemplo 4.1 Morro de lanzamiento puente Bailey D.S.90'R.4.M-2.....	263
Figura 4.33 Ejemplo 4.2 Morro de lanzamiento puente Bailey D.D.70' .M-2.....	264
Figura 4.34 Nariz de lanzamiento.....	267
Figura 4.35 Lanzamiento de puente Bailey D.D.70'M-2. Presa Cerrón Grande.....	269
Figura 4.36 Bajada de puente Bailey.....	270
Figura 4.37 Montaje de emparrillados planos y de botones.....	271
Figura 4.38 Calzada de madera.....	272
Figura 4.39 Montaje de calzada de acero.....	273
Figura 4.40 Empotramiento de placas de apoyo en cabezal de concreto reforzado.....	274
Figura 4.41 Puente Bailey T.S.R. 100' M-2 en el Boulevard del Ejercito, probando su resistencia con una carga de 35 toneladas.....	274
Figura 4.42 Señalización de puentes metálicos modulares.....	275
Figura 5.1 Puente Bailey, Santa Marta, D.S. 90', San Jacinto.....	279
Figura 5.2 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.....	280
Figura 5.3 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.....	280
Figura 5.4 Puente Mabey, Los Ángeles, DS - 110', Apopa.....	281
Figura 5.5 Puente Bailey, La Barra, TS - 200', Metapán.....	281
Figura 5.6 Puente Mabey Compact, Los Ángeles, DS - 110', Apopa.....	283

Figura 5.7 Puente Bailey, La Barra, TS - 200', Metapán.....	284
Figura 5.8 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.....	286
Figura 5.9 Puente Bailey, Eureka, TSR – 100', San Salvador.....	287
Figura 5.10 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.....	287
Figura 5.11 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.....	288
Figura 5.12 Puente Bailey, La Barra, TS - 200', Metapán.....	289
Figura 5.13 Disposición de señales temporales en la reparación de calzadas no pavimentadas.....	293
Figura 5.14 Puente Bailey, Eureka, TSR – 100', San Salvador.....	294
Figura 5.15 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.....	296
Figura 5.16 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.....	296
Figura 5.17 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.....	301
Figura 5.18 Puente Bailey, La Barra, TS - 200', Metapán.....	301
Figura 5.19 Puente Bailey, El Pipil, DD - 80', San Pablo Tacachico.....	307
Figura 5.20 Puente Acrow Panel, Citalá, TDM - 430', Chalatenango.....	308
Figura 6.1 Capacidad a la fuerza cortante en los puentes metálicos modulares utilizados en El Salvador.....	332
Figura 6.2 Capacidad de momento flexionante de puentes metálicos modulares utilizados en El Salvador.....	333
Figura 6.3 Esquema del puente y el morro de lanzamiento.....	336
Figura 6.4 Análisis de aplicación de Tabla 6.2 en el cálculo de modulación, longitud y flechas del morro de lanzamiento.....	339

SIGLAS Y ABREVIATURAS

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

ASTM: American Standard Testing Materials.

IECP: Inventario Estado de Condición de Puentes.

M.E.X.E.: Establecimiento Experimental de Ingeniería Militar.

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

PCC: Plan de Control de Calidad.

PHSI: Plan de Higiene y Seguridad Industrial.

R.E.D.S.E.S.: Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de El Salvador.

SAP: Sistema de Administración de Puentes.

SIECA: Secretaria de Integración Económica Centroamericana.

STAA: Surface Transportation Assistance Act.

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual.

SIMBOLOGÍA

A_c : Área de la cuenca.

A_H : Área hidráulica.

A_h máx y A_v máx: Coeficientes de aceleración sísmica.

A_o : Área de objetos de arrastre.

b : Ancho de espaciamiento de estribos..

B : Ancho de la fundación.

C : Cohesión.

C : coeficiente de escorrentía.

$C.G.$: Centro de gravedad.

d : Constante para cálculo de flecha elástica.

E_{DV} : Empuje dinámico vertical.

E_{DH} : Empuje dinámico horizontal.

E : Módulo de elasticidad.

E_a : Empuje activo.

E_p : Empuje pasivo.

$F.S.D.$: Factor de seguridad al deslizamiento.

$F.S.V.$: Factor de seguridad al volteo.

F_R : Fuerza de fricción.

h : Altura para objetos de arrastre, en metros.

H : Altura del muro en metros.

H_1 : Altura del lado pasivo.

H_m : Elevación media de la cuenca.

H_{SC} : Altura de sobrecarga en metros.

I : Momento de Inercia.

I : Intensidad de diseño.

K_p : Coeficiente de presión pasiva.

K_a : Coeficiente de presión activa.

L_c : Longitud del cauce más largo.

Q : Caudal máximo, en m^3/s .

q_{adm} : Capacidad de carga admisible del suelo.

q_d : Capacidad de carga.

$q_{m\acute{a}x}$: Capacidad soportante máxima.

$q_{m\acute{i}n}$: Capacidad soportante mínima.

M_{Δ} : Momento adicional por impacto.

$M_{m\acute{a}x}$: Momento a la flexión máximo.

M_R : Momento resistente.

M_A : Momento actuante.

n : Número de paneles.

n : Coeficiente de rugosidad de Manning.

R_B : Reacción en punto B.

R_H : Radio hidráulico.

S : Pendiente media.

T_c : Tiempo de concentración de la cuenca, en minutos.

W : Carga en libras.

σ : Esfuerzos normales.

Φ : Ángulo de fricción.

γ_s : peso volumétrico del suelo.

δ : Flecha elástica.

τ_Δ : Fuerza cortante adicional.

$\tau_{\text{máximo}}$: Fuerza cortante máxima.

$N_c, N_q, N_\gamma, N'_c, N'_q$ y N'_γ : Factores de capacidad de carga.

ΣF_v : Sumatoria de fuerzas verticales.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

CAPÍTULO I

GENERALIDADES.

1.1 Antecedentes.

Los primeros puentes metálicos construidos en el país fueron, los tipo cercha, para ferrocarril¹, entre 1920 y 1930, uno de ellos carretera de Santa Tecla – El guarumal en 1928. El desarrollo de la tecnología de puentes metálicos, desde su inicio, presentó múltiples ventajas en su construcción, bajo costo y resistencia. En El Salvador actualmente, el diseño de puentes tiene mayor énfasis en los puentes de concreto reforzado y preesforzado, principalmente cuando son permanentes, a largo plazo en los lugares de emplazamiento, basados en técnicas y especificaciones normadas por la American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. Históricamente, los puentes metálicos colgantes, en el país, son del año 1942, por ejemplo, el Puente de Oro, sobre el río Lempa en San Marcos Lempa y en la Ciudad de Aguilares el Puente Colima, en San Salvador, carretera a Chalatenango. Los diseños de puentes metálicos, tuvieron diferentes patentes por su diseño. Los elementos de las primeras armaduras metálicas se unían por medio de pasadores, pero pronto éstos dieron paso a las conexiones a base de placas, remaches y roblones. A cada placa se fijaban todos los elementos de una junta. Al final del siglo XIX, el hierro fue sustituido por el acero. La creación de puentes metálicos modulares dio un salto en la agilidad de fabricación y colocación de estas estructuras, desde la década de 1940, con el diseño de

¹ Togño. 1969. Ferrocarriles. Capítulo VII. Representación y servicios de Ingeniería. México.

los puentes Bailey inventados por los Ingleses, durante la Segunda Guerra Mundial para el paso de vehículos militares, montados en corto tiempo y reutilizables. Los puentes metálicos modulares son estructuras de acero formadas por un conjunto de paneles que se eslabonan. Se colocan en filas simples, dobles o triples, en el plano horizontal, y en la misma forma en el plano vertical, de acuerdo con los requerimientos de longitud y capacidad soportante. Son montados en tiempos cortos, sobre acantilados profundos, estructuras de paso dañadas, ríos o quebradas, como puentes económicos o en emergencias con el fin de habilitar el paso de vehículos, adaptando su apoyo a las bases existentes de la vía interrumpida o sobre estribos diseñados para su colocación..

En El Salvador, la utilización de estos puentes metálicos modulares, ha tenido su mayor auge, entre el periodo de los años 1980 a 1990, debido a los efectos de 12 años de conflicto interno, cuando se dinamitaron algunos puentes, entre ellos el Puente de Oro y el Puente Cuscatlán, sobre el río Lempa, para los cuales se utilizaron puentes Bailey provisionalmente. Además, han ayudado al desarrollo social de diferentes comunidades en la creación de vías de acceso, a través de donaciones internacionales e inversiones locales de Alcaldías y Gobierno, por su factibilidad económica y técnica frente a diferentes circunstancias y necesidades de la población y punto de emplazamiento.

Una vez colocados provisionalmente estos puentes, en emergencias, por daños en las obras de paso, su permanencia puede variar desde meses hasta años por las circunstancias que cada caso amerite, manteniéndolos en buen funcionamiento requerido. Una de las necesidades urgentes de la aplicación de estas estructuras, fue cuando se colocaron dos puentes Bailey de 100 piés de longitud cada uno en un tramo de

la carretera panamericana, Km. 3 ½, cerca de la fábrica Eureka, en el extremo oriente urbano de la ciudad de San Salvador, Soyapango, de gran tráfico permanente, con una circulación de alrededor de 600,000 personas diariamente, debido al colapso del extremo norte del cuerpo de la bóveda existente sobre un río con agua permanente, en octubre de 2004.



Figura 1.1 Puentes Bailey en el Boulevard del Ejercito sobre el río Acelhuate.

1.2 Planteamiento del problema.

Las carreteras de un país son la infraestructura más importante en su desarrollo económico y social, ya que a través de éstas se realiza la comunicación terrestre. Por tanto, la aplicación de puentes es un complemento primordial en ellas. Aún, cuando, por su longitud, los puentes representan una porción pequeña de la red de carreteras, constituyen eslabones viales vitales, que garantizan su continuidad. En el país, muchas comunidades están necesitando usar puentes como medio de circulación vehicular y peatonal, sobre discontinuidades naturales de caminos, tales como quebradas, ríos,

zanjas profundas, que cortan el paso vehicular. La tecnología de selección, montaje y funcionamiento de puentes metálicos modulares, es muy particular en los estudios de puentes, sin embargo, es de las primeras soluciones rápidas y económicas en los casos de emergencia, para dar continuidad al tráfico vehicular, por fallas de puentes y bóvedas. En la actualidad, hay instituciones, organizaciones internacionales, Alcaldías y comunidades que solicitan la construcción de un puente y hasta la infraestructura base del viaducto. Los puentes metálicos modulares son una buena alternativa a problemas causados por los frecuentes fenómenos naturales que inciden en el ambiente del país causando mucho daño a la infraestructura de carreteras, por lo que los puentes y bóvedas son afectados directamente, necesitándose acciones más prácticas e inmediatas que den solución a las dificultades que representa la falla de un puente o la falta de este ya sea temporal o permanente. Así, es necesario conocer las técnicas, la tecnología de estos y el uso, por ejemplo, conocer las piezas básicas componentes de la estructura, sus capacidades para soportar cargas de tráfico según el tramo a salvar y los usuarios, su construcción y mantenimiento.

Los puentes metálicos modulares han comprobado su versatilidad frente a las emergencias, y muchas veces, un puente provisional se ha convertido en un puente permanente; por ejemplo, el puente Bailey Triple Simple 80' en Quebrada Seca, en la carretera CA: 1, Km 79, que permaneció funcionando durante 18 años, de 1984 a 2002. Es importante que se conozca y difunda la aplicación de este sistema, sus características y sus avances, como respuesta práctica a necesidades emergentes, satisfaciendo criterios

de seguridad, rapidez de montaje y económico en costo y tiempo, frente a situaciones que sólo estos puentes pueden solucionar rápidamente.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

- Sistematizar las técnicas de construcción que se aplican en el uso de los puentes metálicos modulares en El Salvador para obtener una guía de aplicación.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Analizar las modulaciones y combinaciones de elementos de los puentes metálicos modulares para el cumplimiento de las necesidades técnicas, tal como cargas de diseño, características del sistema, selección, montaje y lanzamiento.
- Determinar los procedimientos de inspección y mantenimiento de los puentes metálicos modulares para la protección de sus componentes.
- Determinar las ventajas prácticas para la utilización de los puentes metálicos modulares en la solución de emergencias como puentes provisionales.

1.4 Alcances y limitaciones.

1.4.1 Alcances.

Mostrar las aplicaciones de puentes metálicos modulares de los fabricantes que actualmente existen en El Salvador, Bailey, Mabey Compact y Acrow Panel. Con lo que se propondrá, cómo resolver múltiples problemas con la utilización de puentes metálicos modulares, a la vez, se conformará una guía en la aplicación de estos.

1.4.2 Limitaciones.

La subestructura, estribos o pilas, para puentes Bailey, requiere estudios más particulares o especializados; mediante, estudios de capacidades de los suelos² que determinan, diseños particulares para cada estribo o pila, y factores de seguridad a cumplir, lo cual incide en el estudio del tema, no sólo ampliándolo, sino dando más complejidad; por esta limitación, la investigación se enfocará sólo en la superestructura, con énfasis en su detallamiento respecto a las piezas que la componen, su armado y ensamble. Es importante destacar como limitante, que existe muy poco personal especializado en puentes metálicos modulares para dar amplia pericia en estos montajes técnicos, y dejarlo documentado en la guía a proponer para este fin.

1.5 Justificación.

Es importante conocer la correcta utilización de los puentes metálicos modulares, ya que son estructuras que muchas veces son adquiridas por las comunidades a través de cooperaciones internacionales, en emergencias o en mejoramiento general del bien social. Ya que, el territorio salvadoreño es bastante vulnerable a fenómenos naturales. Además, es común la aplicación de cargas, cada vez mayores, a las estructuras de puente, lo cual hace que éstas se dañen; en estos casos, es importante saber la aplicación de puentes metálicos modulares como solución inmediata a las necesidades emergentes. Este sistema modular, basado en paneles, transportados fácilmente hasta las obras, pueden ser armados y montados en poco tiempo por personal que tenga conocimientos

² Del estudio geotécnico se obtienen datos para el diseño de la subestructura estribos o pilas, así estos cumplen de apoyos en los extremos cercanos a cada borde del claro a superar

básicos, y no es necesario utilizar maquinaria de alta tecnología para llevarlo a cabo, requiriendo un mínimo de mantenimiento rutinario, posterior a su ejecución. Los puentes metálicos modulares tienen muchas ventajas en su construcción frente a diferentes situaciones problemáticas, es práctico donde hay suelos regulares, ya que necesitan bases simples; también, se adaptan a infraestructuras existentes como estribos y pilas de otros puentes, su capacidad cargante es adaptable según su necesidad y permite el reacomodo y reforzamiento práctico de estructuras existentes.

Los puentes metálicos modulares necesitan poca infraestructura base para su apoyo, convirtiéndolos en una estructura económica y práctica. La aplicabilidad que se puede dar a este tipo de puentes es amplia y versátil, debido a las necesidades que se pueden suplir en algunas comunidades, en las cuales es beneficioso tener una estructura de estas, ya que pueden servir para mejorar la circulación entre un lugar y otro. Por lo cual, es importante conocer sobre este tipo de puentes, convirtiéndolos en una buena alternativa para suplir necesidades, lo que haría que instituciones, alcaldías y sus comunidades se beneficien con esta tecnología.

1.6 Puentes metálicos.

1.6.1 Evolución de los puentes de armadura metálica.

Los puentes de armadura metálica se basaron en el principio geométrico de crear una estructura formada por triángulos, ya que esta forma geométrica básica no puede ser alterada sin cortar o alargar, al menos uno de sus lados, cada triángulo forma una estructura rígida según lo permitan las propiedades de cada material. Leonardo da Vinci

(1452-1519), artista florentino y uno de los más grandes maestros del renacimiento, esbozó puentes con vigas apoyadas en estructuras de triángulos; y el arquitecto italiano, Andrea Palladio, construyó con madera varios de estos. Fue con la utilización del hierro que Gustavo Eiffel, en los años de 1860 y 1869, desarrolló la construcción de puentes ferrocarrileros y torres de apoyo basados en armaduras metálicas. El uso de este material, abrió paso a la construcción de puentes puramente de hierro. Eiffel, desarrolló un sistema constructivo, lanzando las vigas horizontales desde las colinas laterales para que pasando sobre las torres se unieran en el centro; un ejemplo de esto, es el Viaducto de Rouzat en el año 1869.

Los materiales derivados del hierro, sucesivamente, utilizados en la construcción de puentes metálicos son: hierro fundido, forjado y acero, tal como a continuación se describen:

Puentes de fundición. Aparecieron por primera vez al final del siglo XVIII; el primero fue el de Coalbrookdale, construido en 1779, sobre el río Severn, en Inglaterra, compuesto por cinco arcos paralelos de 30.5m de luz, fue concebido por el maestro forjador Abraham Dardy³. Este prototipo fue imitado rápidamente, y a finales de siglo existían otros puentes como el de Sunderland, diseñado por R. Burdon, con una luz de 72 m, al noreste de Inglaterra, construido en 1796. En Francia, este nuevo material se introdujo en la construcción de puentes por una decisión gubernamental que ordenaba la construcción de tres puentes de fundición, tal decisión, motivada esencialmente por

³ Fuente <http://www.nireland.com/brigeman/chronology>.

razones de prestigio, se intentaba introducir en Francia una técnica moderna utilizada en Inglaterra. De estos tres puentes, subsiste solamente la Pasarela de las Artes, cuyo proyecto inicial se debe a Louis-Alexandre de Cessart, fue terminada en 1803 y ofrece tráfico solamente peatonal.⁴

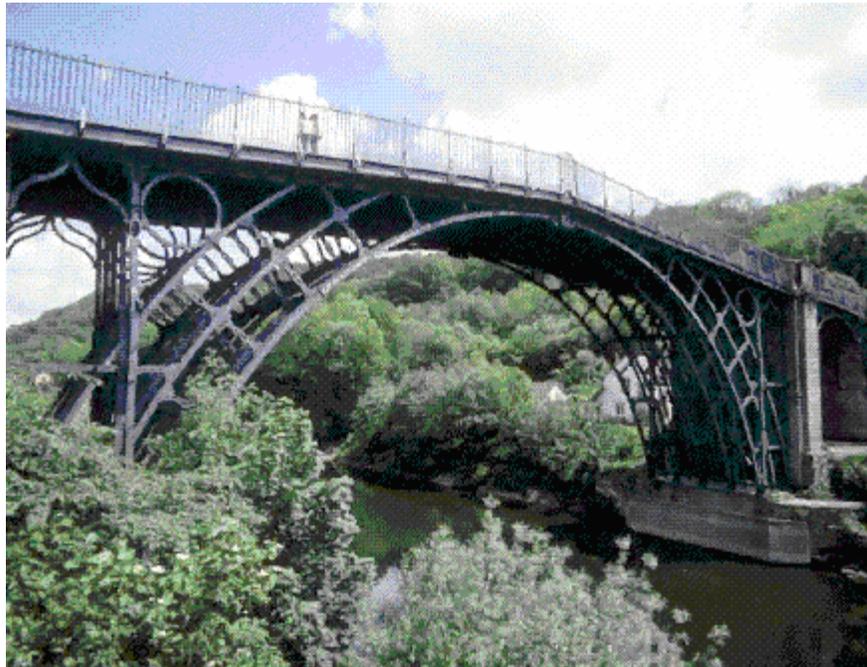


Figura 1.2 Puente de Coalbrookdale sobre el río Severn.

Puentes de hierro forjado. Fueron iniciados a principios del siglo XIX, el empleo del hierro se desarrolló rápidamente. El hierro era más caro que la fundición, al existir más trabajo de elaboración, pero poseía mayor resistencia a la tracción. Así, los constructores disponían por primera vez de un material que permitía realizar los tres grandes tipos de puentes: puentes suspendidos, puentes de vigas y puentes en arco. Los primeros puentes

⁴ Fuente: Arenas de Pablo, Juan J. 1981. Concepción de puentes. Editores técnicos asociados. Edición Española, Enrolles París. Capítulo II Diversos tipos de puentes.

construidos con hierro fueron los colgantes, fue la invención de las cadenas articuladas formadas por barras de hierro articuladas, patentadas en 1817 por Brown, en Inglaterra, lo que permitió pasar a cubrir luces mucho mayores. El primer puente colgante, de cadenas constituidas por barras de hierro, fue el de Berwick, construido en 1820 por Brown, en Inglaterra, con una luz de 137 metros.

Puentes de acero. La fabricación comercial del acero, después de 1856, permitió su empleo en los puentes, debido a sus características físicas, y principalmente por su resistencia. Sustituyó totalmente a la fundición y al hierro; a medida que las posibilidades del acero eran mejor apreciadas. El primer gran puente donde el acero fue muy ampliamente utilizado es el de Saint Louis, sobre el río Mississippi, diseñado por James Buchanan Eads⁵, entre 1868 y 1874, incluye tres claros, 153 m, 159 m y 153 m, respectivamente. Sólo a finales del siglo XIX, en Francia, comenzó a utilizarse el acero en los puentes de vigas y en los puentes de arco, a pesar que su costo era menor. El arquitecto Eiffel tenía dudas sobre la regularidad de su fabricación y todavía prefirió el hierro para la realización de su torre de 300 m, de alto, en 1889. Sin embargo, el éxito técnico de la torre Eiffel, constituyó un estímulo para la construcción metálica y favoreció indirectamente al desarrollo de los puentes de acero. El puente de Brooklyn sobre el río oeste, en Nueva York, diseñado por Jonh Roebling, 1883⁶, el Firth of Fort en

⁵ James Buchanan Eads (1820-1889).

⁶ Jonh Roebling, nació en Alemania y recibió en Berlín su diploma de Ingeniero. En 1841, estableció una fábrica de cables para halar los botes que recorrían, los canales de los Estados Unidos.

Escocia, diseñado por Benjamín Baker, en 1889⁷, y el puente Saint Louis en 1874, ilustran los tres grandes tipos de puentes de acero: puentes colgantes, puentes de vigas y arco.

Los puentes metálicos modulares, propiamente, aparecieron al terminar la Segunda Guerra Mundial, inventados por Sir Donald Coleman Bailey, de origen Inglés, por quien adoptó el nombre genérico de puentes Bailey.



Pruebas con equipos militares sobre puentes Bailey



Sir. Donald C. Bailey
creador de los puentes Bailey

Figura 1.3 Inicios de los puentes metálicos modulares.

El equipo original Bailey fue proyectado para vehículos militares, formando un simple puente de tablero inferior. Es decir, la superficie de rodadura o calzada, está soportada en los extremos inferiores, por dos vigas principales que están compuestas de un cierto número de paneles Bailey, unidos con bulones, de extremo a extremo y conectados lateralmente, para formar vigas rígidas de una orilla a otra. Una considerable variedad,

⁷ Benjamin Baker (1840-1907).

en la clase, de componentes permiten que sean montados muchos tipos de puentes metálicos modulares, para diferentes situaciones que sean necesarios, ahora pueden construirse usando el equipo Bailey, con éxito en todas partes del mundo, en cualquier tipo de estructuras de ingeniería, para las que en el pasado se usaban armazones de acero.⁸

De las muchas patentes que surgieron en 1840 y 1850, los tipos básicos, de armaduras, que se impusieron son los siguientes: armadura “Ns”, patentada por los estadounidenses hermanos Pratt, en 1844; esta configuración se distingue por tener sus diagonales bajando, siempre, en dirección del centro del tramo, de forma que sólo están sujetas a tensión, puede variar según su silueta sea rectangular (ver figura 1.5a) o poligonal (ver figura 1.4 y 1.5b); las armaduras poligonales “Ns”, con tramos del orden de los cien metros, pueden tener diagonales adicionales que no alcancen de cordón superior a cordón inferior, denominados subdiagonales (ver figura 1.5c); en 1847, también, se patentó la armadura “doble Ns”, en la cual, los postes quedan más cercanos unos a otros y las diagonales los atraviesa por sus puntos medios hasta terminar en el próximo panel. (Ver figura 1.5d); armadura “Ws”, patentada en 1848 por dos ingenieros británicos, esta configuración tiene sus diagonales en direcciones alternadas y generalmente combinadas con los elementos verticales o postes (ver figura 1.5e); armadura “Xs”, o “sistema Eiffel”, esta armadura de celosía, tiene tres sistemas de diagonales tipo “W” superpuestos (ver figura 1.5f).

⁸ Fuente: Bailey, Donald Coleman. 1970. Manual Bailey Y Uniflote, Thos Storey (Engineers).



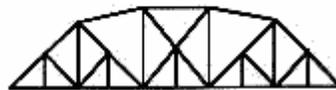
Figura 1.4 Puente de armazón lateral poligonal, "Ns" ubicado sobre el río Comalapa, departamento La Paz.



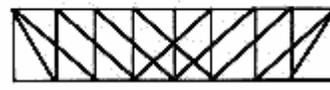
a) Rectangular de "Ns" Pratt



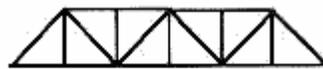
b) Poligonal de "Ns" Parker



c) Poligonal de "Ns" con subdiagonales.



d) Rectangular de doble "Ns" Pratt.



e) Rectangular de "Ws" con postes.



f) Rectangular de "Xs" Eiffel.



g) Poligona de "Ws" Warren



h) Rectangular de celosía triple

Figura 1.5 Puentes de armadura metálica.

1.7 Breve historia de los puentes y bóvedas de El Salvador.

El puente sobre el río Jiboa, en el departamento de La Paz, fue inaugurado en 1942, originalmente era de 11 pilas intermedias, 7 vigas metálicas tipo I y losa de 20 cm de espesor, esta llevaba un simple tejido con hierro liso, 5/8" de diámetro, compuesto de 12 claros de 12.5 m, falló por asentamiento y desviación de la pila número 10, la pila número 8 se asentó, pero para continuar en uso se montó un puente Bailey, con un tramo Triple Simple y un tramo Doble Doble de 27.43m y 39.63 m de longitud, respectivamente, ver figura 1.6.



Figura 1.6 Puente provisional Bailey sobre el río Jiboa, departamento de La Paz.

En el río “San José”, en Metapán, en 1996 se montó un puente Bailey Doble Simple de 27.47 m, ahí había una bóveda de 7.5 m, que databa de la época colonial, hecha en arco con fachaletas de barro. El agua del río erosionó los taludes, hasta que el cauce alcanzó los 18 m, de ancho. La Bóveda quedó fuera de uso cuando las aguas desbordaban sobre ella, y erosionó un poco más los laterales, haciendo mayor el claro y dificultando el paso de la vía.

El puente “Don Luís de Moscoso” en la ruta de San Miguel – La Unión, ubicado en el kilómetro 143 (CA-1), sobre el río Grande de San Miguel, fue construido en 1950, y fue derribado en el año de 1987 por detonaciones, originalmente era metálico, de cerchas tipo Pratt, durante mucho tiempo lo repuso un puente tipo Bailey Doble Triple de 134 m. El puente sobre el río Las Cañas, ubicado en la ruta Zacatecoluca – Tecoluca, fue dinamitado el 11 de noviembre de 1989, este, originalmente se construyó con vigas y losas de concreto armado de 13.5 m, lo repuso un puente tipo Bailey doble simple de 24.4 m, el cual fue colocado el 19 de noviembre de 1989.

La bóveda Los Talpetates, en San Vicente, se construyó a finales 1940, ubicada sobre la carretera CA-2, la litoral, Km 47, sobre el río Los Talpetates, fué hecha en arco de concreto armado y bóveda simple de 4.6 m, de diámetro mayor; falló en abril de 1997, porque ya era insuficiente para conducir el caudal actual; aguas abajo se montó un puente Bailey, para reconstruirla.

El puente Cuscatlán y el puente de Oro, son los puentes más largos de El Salvador han tenido su historia de destrucción y reconstrucción, el puente Cuscatlán quedó terminado el lunes 25 de mayo de 1942, ante delegados de la Secretaría de Fomento y Obras

Públicas, se llevaron a cabo las pruebas de resistencia bajo cargas móviles H – 15, y se firmó el acta de recepción correspondiente. Fue inaugurado el sábado 6 de junio de 1942, construido con fondos propios del Estado, en la presidencia de Maximiliano Hernández Martínez. El puente Cuscatlán se conformaba de un tramo colgante central de 250 m sostenido por 2 series de 16 cables de acero de 2 pulgadas de diámetro cada uno, prestó sus servicios durante 42 años, se encontraba ubicado en el kilómetro 90 de la carretera Panamericana (carretera CA-1). El puente Cuscatlán, fue dinamitado a las 4:00 a.m. del domingo 1 de enero de 1984, el claro central del puente se desplomó en su totalidad. El puente de oro, en San Marcos Lempa, fue dinamitado el jueves 15 de octubre de 1981, con bombas; similar fue con el puente Cuscatlán, sólo quedaron los cables principales de las pilastras y los escombros retorcidos. El puente de oro, pertenecía a los puentes colgantes, era un puente colgante modificado, por su diversidad de elementos conectados como un rompecabezas, sin soldaduras; la unión se realizó con remaches y pernos, tuvo un costo de 6 millones de colones; y en el pasado fue una verdadera belleza; y sólo dos más en el mundo eran como éste: uno en Inglaterra y el Golden Gate en la bahía de San Francisco, en Estados Unidos.

En ambos puentes colapsados, se utilizó, durante mucho tiempo, puentes provisionales Bailey Triple Simple para mantener la circulación sobre el río Lempa, ver figura 1.7, hasta que inició su reconstrucción en 1997, a cargo del consorcio de empresas italianas Rizan de Eccher, por un costo aproximado de 22 millones 24 mil dólares para cada puente, con una longitud de 398.7 m, conformada por 192 segmentos de vigas tipo cajón con cables tensores para postensado de la estructura. Su reconstrucción finalizó en mayo

de 2000 y “nuevamente representa un ícono sobre el río lempa”, como lo comentó Roberto Jiménez, ingeniero que administró el proyecto⁹.

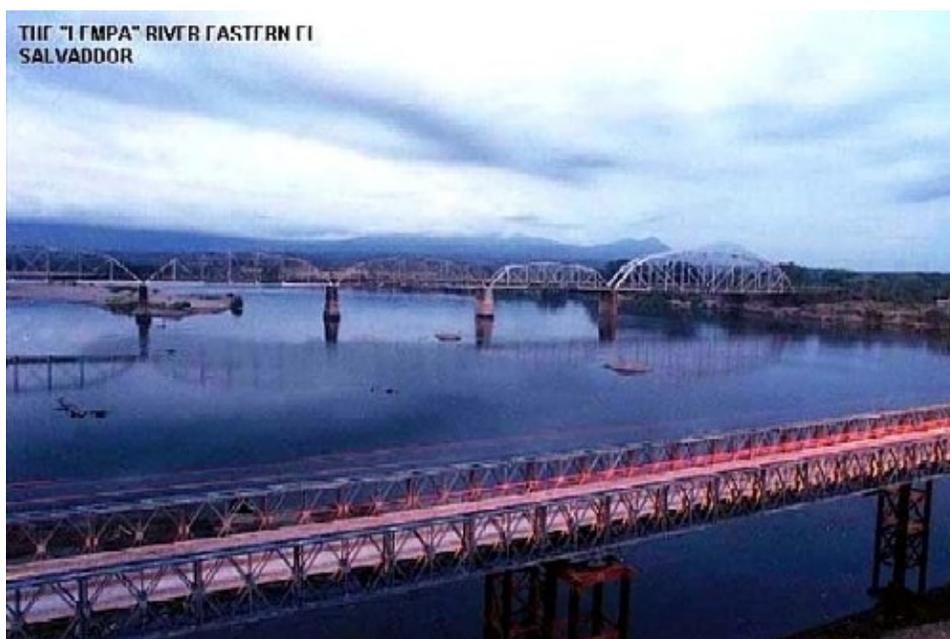


Figura 1.7 Puente de provisional Bailey sobre el río Lempa carretera CA-2 en San Marcos Lempa. Al fondo el puente del ferrocarril, paso antiguo hecho con armaduras metálicas poligonales.

1.8 Conceptos generales de puentes.

1.8.1 Definición y orígenes de puentes.

Un puente, es un medio que permite franquear un obstáculo natural o una vía de circulación terrestre, fluvial o marítima. El objetivo de colocar un puente, es dar paso en una depresión natural o corte superficial de la tierra.

⁹ Fuente: Periódico Más. 6 de diciembre 2005.

Un puente viaducto, es una obra que cruza a gran altura una brecha sobre terreno seco, o que se compone de gran número de vanos sucesivos. El puente está contenido en el viaducto. Una pasarela, es una obra elevada que cruza transversalmente sobre la vía, reservada a los peatones.

1.8.2 Partes fundamentales que constituyen un puente.

En un puente se distinguen fundamentalmente, la superestructura, la subestructura o infraestructura¹⁰.

1.8.2.1 La superestructura.

Es la parte superior del puente, que une y salva la distancia entre uno o más claros. La superestructura consiste en el tablero o parte que soporta directamente las cargas o las armaduras. Según el IECP Inventario Estado de Condición del Puente, del Sistema de Administración de Puentes (SAP), propiedad del Ministerio de Obras Públicas (MOP), la superestructura está formada por dos partes: elementos principales y elementos secundarios.

1.8.2.1.1 Elementos principales.

Lo constituyen el tablero, vigas principales, estructuras en arco que reciben las cargas vivas (tránsito) y cargas muertas (peso propio la superestructura) y las transmiten a los apoyos extremos e intermedios de la subestructura (estribos y pilas).

¹⁰ Fuente: Merrit, Frederick. 1989. Manual del Ingeniero Civil. Tercera edición. Tomo III. Mc Graw Hill.

1.8.2.1.2 Elementos secundarios.

Complementan la superestructura, en el funcionamiento, estabilidad y seguridad, garantizando el funcionamiento del puente para el tránsito vehicular.

1.8.2.1.2.1 Arriostramiento.

En los puentes de estructura metálica, según la ubicación, los arriostramientos pueden clasificarse como sigue:

- Arriostramiento del portal. Se encuentra en la parte superior de los extremos de la armadura y proporcionan estabilidad lateral y transferencia de cortante entre armaduras.
- Arriostramiento transversal. Miembros estructurales secundarios que se atraviesan de lado a lado entre armaduras en nudos interiores.
- Arriostramiento lateral superior. Están situados en el plano de la cuerda superior y proporciona estabilidad lateral entre las dos armaduras y resistencia contra los esfuerzos provocados por el viento.

En cualquiera de los casos, los arriostramientos permiten mantener la geometría de la estructura, estabilidad y rigidez para minimizar deformaciones, da funcionamiento correcto al más largo plazo sin grandes costos, así mismo, evita que ocurran fenómenos locales por funcionamiento de la estructura, tal como alabeo, flanbeo, pandeo, aplastamiento, otros.

1.8.2.1.2.2 Calzadas.

Las calzadas de los puentes metálicos modulares se construyen con lámina de acero lagrimada, (ver figura 1.7a); tablonetes de madera (ver figura 1.7b); concreto asfáltico sobre tablonetes de madera o estructura de acero (ver figura 1.7c) y concreto hidráulico (ver figura 1.7d).



a) Calzada de lámina de acero lagrimada.



b) Calzada de tablonetes de madera.



c) Calzada de pavimento asfáltico.



d) Calzada de concreto hidráulico.

Figura 1.8 Tipos de calzadas de puentes metálicos modulares.

1.8.2.1.2.3 Señalización.

La señalización vertical y horizontal que advierta la existencia y acceso al puente es importante, para su funcionamiento, y es vital cuando se establece un límite de peso y dimensiones del vehículo que circula en la estructura.

1.8.2.1.2.4 Aparatos de apoyo.

Son elementos que se colocan entre vigas principales y la superficie sobre la que se apoya, su función es transmitir carga de la superestructura a la infraestructura. Es necesario tomar precauciones, con el fin de controlar los cambios diferenciales en la longitud, como resultado de las variaciones de temperatura. Para claros largos, es necesario permitir la rotación en los apoyos que acompañan la deflexión de la estructura cargada, controlando la flecha máxima. Los apoyos de asiento se construyen de acero, neopreno, bronce, o una combinación de estos materiales. Las partes expuestas de estos apoyos, generalmente, son protegidas de los efectos del deterioro, con una pintura o un sistema de galvanizado. Los apoyos¹¹ del puente son de vital importancia para el funcionamiento de la estructura. Si ellos no conservan una buena disposición de trabajo, pueden inducirse esfuerzos, a la estructura, que pueden acortar la vida útil del puente.

1.8.2.1.2.5 Drenajes.

El agua de la superficie de la superestructura de los puentes, debe evacuarse tan rápido y directamente, como sea posible. En el caso de calzadas, de concreto o asfalto, se les da

¹¹ Placas de apoyo trasmisoras de carga.

bombeo en ambos lados, desde el centro, con pendiente del 3%, inclinada hacia las cunetas, encausadas a las entradas de los drenajes.

1.8.2.1.2.6 Aceras.

Son elementos que forman parte de un puente con la finalidad de dar paso a los peatones, con seguridad; estas se incluyen dentro del ancho del puente o se crea una circulación exclusiva para peatones de manera independiente.

1.8.2.1.2.7 Juntas.

Permiten salvaguardar la unión del puente con la carretera de manera independiente y resistente a la circulación de los vehículos, garantizando los movimientos reológicos de la superestructura, como cambios de temperatura, efectos del tránsito, asentamientos diferenciales o tolerancias requeridas, compatibles con las condiciones de apoyo.

1.8.2.1.2.8 Accesos.

Se encuentran inmediatamente antes y después del puente y lo conforman el terraplén y la losa de acceso o rampa, ver figura 1.9.

1.8.2.1.2.9 Barandas.

Son elementos de seguridad que salvaguardan los laterales de circulación peatonal y caída de vehículos.



Figura 1.9 Acceso a puente Mabey Compact 200 Doble Simple, “Los Ángeles”, Apopa.

1.8.2.1.2.10 Gálibo vertical.

Es el espacio libre, medido desde la calzada y algún tipo de obstáculo superior que forma parte de la estructura, está colocado en el puente, limitando el paso de vehículos más altos que la altura permitida en el puente.

1.8.2.2 La subestructura o infraestructura.

Es la parte inferior del puente, formada por las cimentaciones, estribos, pilas y aletones. A través de esta se transmiten las cargas en los apoyos al suelo. Los apoyos extremos son los estribos, y las pilas son los apoyos intermedios.

1.8.2.2.1 Estribos.

Un estribo, es un muro de retención que soporta verticalmente el extremo de la superestructura de un puente y a la vez, transmite las cargas al suelo de cimentación, lateralmente sostiene el relleno de tierra detrás del muro y protege contra la erosión.

Los estribos pueden ser hechos de concreto reforzado, mampostería reforzada o mampostería de piedra. La construcción de un estribo es independiente del tablero. Según el tipo de estribo que se diseñe, se controlan las fuerzas que se transmiten al estribo mediante el ajuste de dispositivos de apoyo o cabezal, entre el tablero y el estribo. Generalmente, un estribo consta de: base de estribo, columna de estribo, muros de ala, pantalla, asiento de puente o viga cabezal del estribo y pilotes.

1.8.2.2.1.1 Pilotes.

Sirven para sustentar el estribo y las fuerzas que le son transmitidas, cuando los estratos apropiados para cimentación se hallan a gran profundidad. Los pilotes, son relativamente

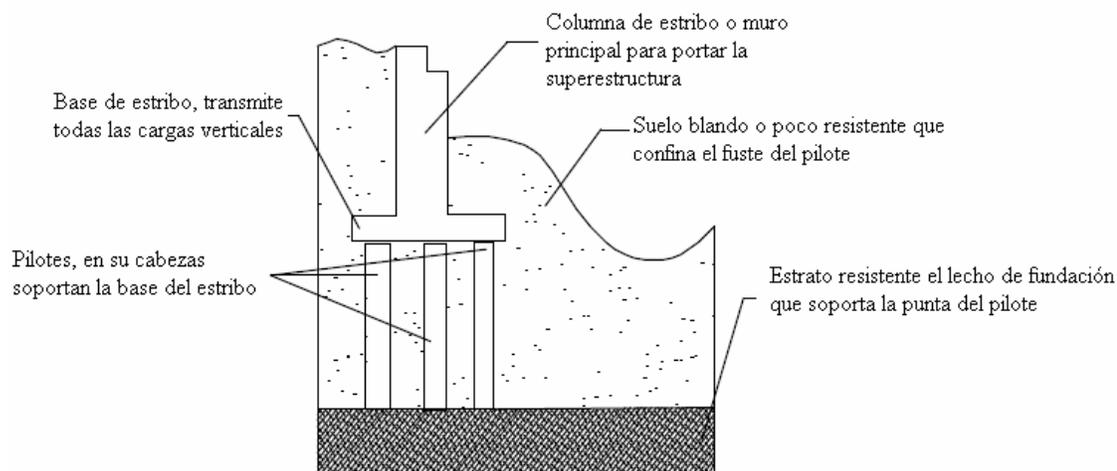


Figura 1.10 Esquema del uso de pilotes.¹²

¹² Fuente: Mendoza Maldonado, Wilson Francisco y otros. 2003. Manual del mantenimiento rutinario y preventivo de puentes en El Salvador. Trabajo de Graduación. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. UES. S.S.

largos y esbeltos, hechos de concreto reforzado, se introducen al terreno ya sea hincados o colados in-situ. Los pilotes cortos son del orden de 10m a 20m, los pilotes largos pueden ser de longitud mayor que estos, ver figura 1.10.

1.8.2.2.1.2 Base de estribo.

Es la parte inferior del estribo, conocida comúnmente como base o cimiento, su función es semejante a una zapata. La base del estribo está diseñada y construida con la finalidad de recibir, transmitir y distribuir el peso y la carga de la estructura a través de los estribos, aletones, muros de gravedad, al suelo o a los pilotes.

1.8.2.2.1.3 Columna del estribo.

Es el muro o columna de un estribo o pila que soporta la superestructura y transmite las cargas a las fundaciones. El cuerpo de este sostiene el asiento del puente y soporta el ancho del terraplén que se encuentra directamente en el extremo de la superestructura.

1.8.2.2.1.4 Pantalla del estribo.

Hacen la misma función que la columna de estribo, y tienen una cara expuesta al cauce, y la otra, está soportando el terraplén, es longitudinalmente más grande comparada con la columna de estribo.

1.8.2.2.1.5 Muros de ala o aletones.

Estos muros se hacen a ambos lados del estribo, independientes, con la finalidad de contener y proteger el relleno del terraplén, contrarrestar la erosión y encausar el agua en el paso del puente. Los muros de ala o aletones, se hacen del mismo material que el estribo o de otro material, dando continuidad a través de una junta; además, pueden o no ser monolíticos, y tener fundaciones separadas.

1.8.2.2.1.6 Vigas de cabezal.

La viga de cabezal, es la parte superior de un estribo y pilas, sobre la que se apoya la superestructura y es la que transmite uniformemente las cargas a las columnas o pantallas de pilas o estribos.

1.8.2.2.2 Pilas.

Son los soportes intermedios de un puente, tienen como función primordial la transmisión de las cargas, horizontales y verticales, provenientes de la superestructura hacia las cimentaciones. Varían en forma geométrica y material de elaboración, por el tipo de superestructura. Los tipos de pilas más comunes se describen a continuación.

1.8.2.2.2.1 Pila marco.

Esta consiste en dos o más columnas, generalmente ubicadas en un mismo plano transversal al eje longitudinal del puente, estas se encuentran unidas en sus extremos superiores por una viga, convirtiéndose, todo el conjunto, en un marco estructural.



Figura 1.11 Pila tipo marco, puente Acrow, Triple Doble 430' Cítala. Chalatenango.

1.8.2.2.2 Pila pared.

Consiste únicamente en una pared cuyo ancho está transversalmente al eje longitudinal de la superestructura y su espesor es relativamente delgado, comparado con su largo.

1.8.2.2.3 Pila cabeza de martillo.

Este tipo de soporte consistente en un par de vigas en voladizo, ménsulas, ubicadas a cada extremo de la pila, constituyendo el patín que soportará las vigas largueros horizontales. La construcción de tales soportes es de concreto reforzado o una combinación de este, con acero estructural. Las partes que componen este tipo de soporte intermedio son: viga cabezal, columna de pila y base de pila.

1.8.2.2.4 Pila columna aislada.

Esta forma es la más sencilla, para soporte intermedio; utilizada generalmente, para apoyar una superestructura hecha, por ejemplo, de vigas cajón. La sección transversal de la columna puede ser rectangular, circular u otra forma geométrica regular, apropiada a las necesidades. La construcción de estas pilas puede ser de concreto reforzado o de acero estructural con pedestal de concreto reforzado.

1.9 Red vial de El Salvador.

La red vial del país es de vital importancia para el transporte terrestre, contribuyendo al desarrollo económico, social y cultural del país. El Ministerio de Obras Públicas, es el encargado de mantener en buen estado las carreteras, caminos y puentes en la Red vial prioritaria; las alcaldías, dan mantenimiento a las rutas de competencia Municipal que comprende caminos vecinales y obras de paso. La red vial, de El Salvador, en la década de 1980, experimentó un descuido prolongado en las carreteras, que condujo al deterioro progresivo y acelerado de los pavimentos, en las principales carreteras y la desaparición de algunos caminos, total o parcial. Ello se combinó con el vencimiento del periodo de la vida útil de las carreteras, de forma que las actividades de conservación de la red vial del país, han sido calificadas de excesivas y costosas debido a la ejecución de tareas de mantenimiento de emergencia para conservar la circulación en las carreteras. Si se cuenta con caminos transitables, todo el año, se logran los siguientes efectos inmediatos:

- Incremento de la oferta de vehículos de transporte de personal y de carga.
- Reducción de tarifa, de transporte, por mayor oferta y menor costo de operación vehicular, incluyendo el ingreso de vehículos más grandes.

- Facilidad y comodidad para traslado de la familia, a lugares de su interés. Así mismo, mayor duración de los vehículos automotores y ahorro de combustible y repuestos.
- Facilidad para gestionar y beneficiar con servicios básicos de salud, educación, comercio, etc., lo cual no ocurre si los caminos son intransitables.
- Posibilidad de incorporar más tierras cultivables a la agricultura, abandonadas por la inaccesibilidad de los caminos.
- Mejora del acceso a los mercados de productos e insumos agrícolas. (semilla, fertilizantes, insecticidas, etc.) trayendo consigo asistencia técnica.
- Se incentiva la inversión en lugares con potencial turístico (bosques y playas), y surgimiento de lugares de recreación, restaurantes, ventas de artesanías y productos propios de la zona.

Sin embargo, la tenencia de estas ventajas con lleva a gran inversión para el mantenimiento de la red vial del país, incluyendo las obras de paso que son de vital importancia para la circulación vehicular y peatonal permanente.

1.9.1 Caminos y puentes.

Caminos rurales. En la actualidad, se están realizando grandes inversiones en caminos rurales, estos representan el 78% de la red vial del país. En las zonas rurales son comunes los caminos sin obras de paso, por lo que el tráfico se ve en la necesidad de llegar hasta el lecho del río o quebrada para continuar transitando. Esto, en la estación lluviosa provoca grandes problemas, incomunicando zonas, cuando se dan las crecidas

de los ríos o quebradas, evitando, por largos períodos, el tránsito de personas y vehículos. En la práctica, el inventario real de los caminos vecinales lo tienen las alcaldías municipales, en estos, la falta de obras de paso es mayor que en los caminos rurales ya que, generalmente, no se formulan proyectos de puentes para mejorarlos.

1.10 Estudios para el emplazamiento de un puente metálico modular.

Para el proyecto de un puente, es necesario hacer los siguientes estudios principales: Estudios topográficos, estudios geotécnicos, estudios hidrológicos e hidráulicos y estudios de financiamiento.

1.10.1 Estudios de ubicación topográfica.

El levantamiento del eje del camino se realiza entre 150 m y 250 m atrás y adelante del sitio de emplazamiento, dependiendo de la topografía y forma del alineamiento. El levantamiento se realiza convencionalmente, con teodolito y cinta¹³, y la nivelación o altimetría con nivel fijo y estadal, para lo cual, se fija un banco de marca como referencia para todo el levantamiento. Para definir la posición del eje respecto al cauce, se toman detalles para configurar el ancho de la calle, tomando como referencia los árboles y taludes, según se tenga, así como las cercas y alambradas existentes. Además, se requiere el ángulo de esviaje entre el eje del río y eje del camino y la ubicación de los sondeos para el estudio del suelo. La configuración del relieve del camino queda

¹³ Actualmente se utiliza Estación total para hacer el levantamiento topográfico con mayor rapidez; sin embargo, se requiere chequeo con equipo convencional para exactitud y garantía de la topografía a utilizar.

definida por las curvas de nivel y puntos prominentes o depresiones, estableciendo bancos de marca o puntos de referencia favorables para el replanteo o control de niveles. El levantamiento del cauce es necesario referenciarlo a la planimetría del eje del camino con el fin de ubicarlo; así mismo, las secciones transversales del cauce con sus pendientes y la del fondo del cauce en su sentido longitudinal.

Las secciones transversales del cauce del río, se ubican de la siguiente manera: una en el punto de emplazamiento, sobre el eje del camino, otra perpendicular al cauce en el punto de emplazamiento, una seccion aguas arriba y unas aguas abajo. En el punto más desfavorable es donde se genera mayor turbulencia, que por lo general, se da en los meandros. Además, en el levantamiento topográfico, se tendrá en cuenta la divagancia del río, para tener el verdadero ancho total del cauce. En la medición, se incluyen los taludes laterales y el lecho del cauce. En general, al rendir este informe, además de proporcionar el nombre del río o quebrada, camino correspondiente, tramos del camino en el cual se encuentra, etc., se proporcionan los datos siguientes:

1. kilometraje de inicio y final, de todo el tramo considerado.
2. Plano en planta, a escala 1:200, o según lo requiera el detalle, mostrando el eje del camino y sus discontinuidades, curvas de nivel, dirección del cauce, construcciones cercanas y otros datos que sirven de referencia para el planeo de la solución del problema.
3. Angulo que forma el camino con el eje del cauce, o ángulo de esviaje
4. Elevación y descripción del banco de marca más próximo al cauce principal.

5. Planos de localización correspondiente a un kilómetro a cada lado de la discontinuidad del cauce.
6. Elevación de la subrasante que resulte más adecuada sobre el proyecto tomando en cuenta la huella más antigua del cauce.
7. Costo de las indemnizaciones que tendrían que hacerse al llevar a cabo las obras sobre las propiedades ajenas.

1.10.2 Estudio geotécnico.

1.10.2.1 Geología.

La geología, es uno de los aspectos más importantes a considerar en el punto de emplazamiento de un puente y sus cercanías, ya que de esto dependerá que la obra de paso sea estable, permanente y económica. Es necesario detectar el tipo de roca que se encuentra en el lecho, o manto rocoso, aguas arriba y aguas abajo del río. El ambiente geológico del país, es volcánico ígneo, se compone de rocas ácidas que se encuentran superficialmente, de color blanco, tal como tobas, pómez, tierra blanca o ignimbritas, también, rocas de color negro en los lechos profundos, expuestas, basaltos y andesitas, que al ser una roca sana es ideal para cimentación. En los taludes, se puede encontrar estratigrafía muy variada, los diferentes materiales que lo componen pueden variar de diámetro, dureza y espesores. Se puede observar, que en los taludes la erosión ha dejado descubiertos los diferentes estratos, en los que se encuentran arenas consolidadas, gravas, arcillas y limos. Las rocas al estar en continuo contacto con el agua, el aire y el sol, los cambios de temperatura provocan fuerzas internas, intemperismo, meteorización,

que originan su fracturamiento y degradación, hasta formar el suelo residual. Un talud es estable, cuando la estructura de las formaciones del suelo o rocas encontradas, contienen reducido fracturamiento y desintegración.

El agua que se precipita en la tierra en forma de lluvia, golpea al suelo arrancando partículas según el grado de resistencia que presente la superficie terrestre, haciendo pequeñas incisiones que con el escurrimiento superficial dan lugar a la formación de surcos de erosión mayores, que al intensificarse, según el ciclo erosivo, éste va formando canales naturales de diferentes profundidades hasta formar cañadas, donde muchas de éstas llegan a convertirse en quebradas o ríos intermitentes. Las quebradas erosionan fuertemente el terreno por donde pasan, comenzando por el desgaste de su lecho y taludes laterales. Como el proceso de erosión se intensifica durante cada período de lluvias, éstos al profundizar su cauce, alcanzan la zona de saturación permanente de las aguas subterránea, que al ser alimentadas por éstas, se convierten en ríos permanentes.

1.10.2.2 Estudios de suelos.

Para las cimentaciones de pilas y estribos de puentes, se hace necesario un estudio confiable del suelo soportante de la cimentación, en el que se concilien los requerimientos técnicos con la economía y rapidez, satisfactoriamente. Para los estribos, el estudio de suelos debe garantizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo o resistencia suficiente para diseñar un estribo que garantice su estabilidad. Los métodos para sondear el suelo se pueden dividir en tres grandes clases:

Clase 1. Métodos que proporcionan información sin obtener muestras, como los procedimientos geofísicos, resistividad estratigráfica por ondas y de penetración. La resistividad estratigráfica por onda se logra mediante una descarga eléctrica sobre el suelo que mediante un rebote de onda determina una profundidad estratigráfica de resistencia del suelo, esta determinación preliminar permite conocer la profundidad de penetración en pruebas siguientes.

Clase 2. Métodos que obtienen muestras del subsuelo, sin permitir ver este en su estado natural (muestras alteradas), con procedimientos de perforación rotativa, taladros lavados y taladros de percusión con cuchara de penetración. La prueba de penetración estándar, es de percusión mecánica, se realiza con una cuchara muestrera de 1 3/8" (34.9mm) de diámetro interno hincada con un martillo de 140 lb (63.5 Kg), el cual se deja caer desde una altura de 30 (76.2cm) contando el número de golpes necesarios para penetrar un pie (30.5 cm) y obtener el valor de N, según la norma de la ASTM D 1586 "Prueba de penetración estándar y muestreo de suelos con cuchara partida". Este método, permite recuperar muestras que determinan la estratigrafía del suelo en profundidad, según las alturas de recuperación y las propiedades físicas del suelo según las normas siguientes: ASTM D – 2216 "Determinación del contenido de humedad en el laboratorio; ASTM D – 2448 "Descripción de suelos, procedimiento visual manual"; ASTM D – 2487 "Clasificación de suelos, para propósitos de ingeniería".

En base al número de golpes (N) obtenidos en la prueba de penetración estándar, se clasifica la compacidad de los suelos friccionantes, esta propiedad se tiene por el efecto de trabazón intergranular que poseen los suelos y es un indicador del valor de resistencia

del suelo. La tabla 1.1 y 1.2 son los parámetros de calidad e indicadores de resistencia de los suelos friccionantes y cohesivos respectivamente en base a sus propiedades.

Tabla 1.1 Compacidad de suelos friccionantes.

Número de golpes	Compacidad
0-4	Muy suelto
5-10	Suelto
11-30	Semi-compacto
31-50	Compacto
Más de 50	Muy Compacto

La aceptación de un suelo, no termina con un resultado satisfactorio de penetración en un suelo firme. Para la fundación de un puente se necesita saber la estabilidad del suelo y la firmeza de su lecho de fundación, lo cual se logra con una penetración mediante un sistema rotativo dentro de ese estrato, para explorar, por ejemplo, dentro de un suelo aglomerático o rocoso su estabilidad y composición geológica verdadera, en ese estrato firme, que garantice su sanidad y estabilidad a una profundidad mayor.

Tabla 1.2 Consistencia de suelos cohesivos.¹⁴

Número de golpes (N)	Consistencia	Kg/cm²	Φ
0-1	Muy blanda	0-0.25	0
2-4	Blanda	0.25-0.50	0-2°
5-8	Media	0.5-1	4-6 °
9-15	Firme	1-2	6-12 °
16-30	Dura	2-4	>14 °
Más de 30	Muy dura	>4	-

¹⁴ Fuente: Crespo Villalaz, Carlos. 1993. Mecánica de suelos y cimentaciones Editorial Limusa, cuarta edición. México.

Clase 3. Métodos que obtienen muestras del subsuelo, permitiendo además la observación de los diferentes estratos en su estado natural, como fosas o calicatas excavadas a mano y perforaciones rotativas de gran diámetro. Un estudio rotativo con cuchara Shelby, permite obtener muestras inalteradas de los estratos del suelo.

Una exploración de pozo de cielo abierto, con el objetivo de determinar el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo mediante el ensayo en la norma de la ASTM D – 2450 “Prueba de compresión triaxial”, determina el estado de esfuerzos internos que tiene el suelo insitu, al determinar la ley de resistencia de este en función de σ (esfuerzo normales), Φ (ángulo de fricción), y c (cohesión)¹⁵.

Para la cimentación de un puente metálico modular, se busca más la estabilidad, sin descuidar la capacidad de carga, esto, para la reducción de la inestabilidad por carga dinámica que tiene esta estructura de acero durante su funcionamiento y operación, una vez esté finalmente emplazada, permitiendo el paso y la continuidad de la vía que los contiene.

1.10.3 Estudio hidrológico.

1.10.3.1 Hidrografía.

Las crecidas en los ríos ocasionan una serie de daños materiales por las inundaciones, como las continuas ocurridas en zonas del Bajo Lempa, en una faja a 6 km a 19 km,

¹⁵ Pérez Guerra, Gustavo. 1982. Fundaciones para edificios. Sociedad Venezolana de mecánica de suelos e ingeniería.

aguas abajo de San Marcos Lempa¹⁶, dañando y ocasionando las pérdidas de muchos cultivos de grandes áreas, y la contaminación de pozos; los registros de las crecidas de muchos ríos se obtienen de la información procesada y coleccionada por el Servicio Hidrológico del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

1.10.3.2 Hidrogeología.

Las características hidrogeológicas en las cercanías de un río, se pueden observar si se examinan, por ejemplo, los taludes de éste o las superficies cercanas en las que pueden encontrar taludes que se mantienen húmedos en la estación seca y lluviosa, en donde superficialmente se encuentra el manto freático. La permanencia de la humedad en los taludes, permite que el agua se infiltre a los substratos, haciendo que estos pierdan estabilidad, es decir, que se reduzca la capacidad de carga del suelo para que pueda ser capaz de soportar el peso de una estructura del puente en un momento dado.

Las aguas brotan en la superficie terrestre y van a los lugares más bajos, las cuales aparecen en las laderas de las montañas y en el fondo de los valles, incrementando el caudal de las aguas de los ríos. La permanencia de una lámina de agua en un río en la estación no lluviosa, indica la cercanía a que se encuentra el agua subterránea, conviene observar las riberas del río en las cercanías al punto de emplazamiento, ya que los taludes y cimientos que aparentemente son estables, dejan de serlo, cuando la lámina de agua los va cubriendo.

¹⁶ La cuenca más importante del país es la cuenca del río Lempa, a este río tan largo y caudaloso de El Salvador ya se le ha aplicado un puente metálico modular cuando fue destruido el puente colgante o puente de oro similarmente se hizo en el puente cuscatlán.

Un estudio hidrológico permite conocer la cantidad de agua que escurre superficialmente en un área de recogimiento determinada o cuenca, evaluando los parámetros físicos de la región, tal como: área, perímetros, pendiente, elevaciones, los caudales mínimos y máximos que corren por el río. El estudio hidráulico del río es para prevenir las inundaciones que puedan ocurrir con las aguas del remanso de una obra de paso; es necesario conocer el caudal y el nivel de aguas máximas en la sección natural del río, y en la sección del cauce con su puente, donde se interceptan los ríos o quebradas con el alineamiento del camino, y que es necesario colocar una obra de paso.

Los caudales que ocurren en un solo río, varían de acuerdo con el régimen de estación lluviosa cada año, así como en la estación. El punto de medición es el punto de control donde se cruza un camino con el cauce y donde se emplazará el puente. En este punto, el camino se encuentra discontinuo, el agua en el río no posibilita el paso de vehículos y personas que necesitan acceder a lugares de interés en sus actividades cotidianas. En el punto de control pasa el agua que es recogida y drenada por la cuenca, se determinan los caudales de aguas por medio del estudio hidrológico, llegando a establecer la altura que alcanza el agua en los taludes. Posteriormente, se fija la longitud y la altura del puente en el punto de emplazamiento.

Estudio de la cuenca.

Cuenca, es el área o superficie terrestre delimitada por una línea imaginaria o parteaguas, que une los puntos con más elevación, que rodean y delimitan la cuenca, donde se parten las gotas de lluvia que caen y drenan superficialmente a través del

sistema de corrientes naturales que son tributarias hacia un mismo cauce, pasando por el punto de interés, en este caso, es el punto de control, o emplazamiento del puente.

Tiempo de concentración de la cuenca. Es el tiempo que tarda una gota de agua precipitada, en recorrer desde el punto más alejado de la cuenca, hasta el punto de control, en ese momento, toda la superficie de la cuenca está drenando agua, produciendo en un tiempo determinado el caudal máximo, en el punto de control o en la salida final.

El tiempo de concentración de la cuenca se calcula por la fórmula de Giandotti:

$$T_c = \frac{\sqrt{Ac + 1.5Lc}}{0.85 \times \sqrt{Hm}} \times 60 \quad (\text{ecuación.1.10.1})$$

donde:

T_c : tiempo de concentración de la cuenca, en minutos.

Ac : área de la cuenca, en metros cuadrados.

Lc : longitud del cauce más largo, en metros.

Hm : elevación media de la cuenca, definida por la semisuma de elevaciones máxima y mínima, en metros.

Intensidad de la lluvia. Determinada por la cantidad de agua lluvia en una zona determinada, tiene mucho que ver con el proceso de sedimentación, ya que este se inicia desde el momento en que una partícula del suelo es desprendida debido a la energía cinética producida por el impacto de una gota de lluvia, pasando luego por una serie de procesos, hasta llegar a depositarse en el fondo de los ríos. Mientras mayor sea la intensidad de lluvia, mayor será la cantidad de partículas que se desprenderán del suelo.

Periodo de diseño. En este se determina la avenida máxima de agua durante la máxima crecida de un cauce en un día determinado, que tiene una determinada probabilidad de ocurrir, este puede ser un periodo de 10, 20, 50, 75, 100, 150, o más años. Mientras mayor sea este período, menor será la probabilidad que ocurra esa avenida, los caudales serán grandes, y por tanto los costos también serán grandes. Caso contrario, mientras más pequeño sea este período, la obra será económicamente viable pero insegura; implica en cada caso el balance de los costos inmediatos y de la deducción correlativa de los estragos eventuales, generalmente es difícil de estimar.

Para puentes carreteros, el periodo de retorno es el siguiente:

Sistema secundario: 10 – 50 años.

Sistema primario: 50 – 100 años.

Caudal de la cuenca usando la formula racional.

El caudal de agua que pasa por un cauce, que contiene a este, es el volumen de agua que recoge la cuenca en la unidad de tiempo y que pasa por el punto de control, es utilizado para el cálculo del tirante crítico de las secciones transversales del río en el punto de emplazamiento. El caudal de la cuenca se calcula aplicando la fórmula racional:

$$Q_c = \frac{50}{3}(CIA) \quad \text{(ecuación 1.10.2)}$$

donde:

Q_c : es el caudal de la cuenca, en m^3/s .

50/3: factor de conversión de $Km^2 \text{ mm/min}$ a m^3/s .

C : coeficiente de escorrentía (adimensional).

I : intensidad de diseño, en mm/min.

A : área de la cuenca, en m^2 .

1.10.4 Estudio hidráulico.

Con el estudio hidráulico, se llega a relacionar el estudio hidrológico, aplicando la fórmula de Manning y la ecuación de continuidad. Este sirve para determinar el nivel de aguas máximas en el punto de interés y el área hidráulica más eficiente, con el fin de obtener el dimensionamiento hidráulico de la obra de paso. La sección hidráulica óptima capaz de alojar y dejar pasar el caudal máximo, está basada en la fórmula del Ingeniero irlandés Robert Manning, como sigue:

$$\frac{Qn}{S^2} = A_H R_H^{2/3}, \text{ o sea} \quad (\text{ecuación 1.10.3})$$

$$\text{Factor hidráulico} = \text{factor geométrico}. \quad (\text{ecuación 1.10.4})$$

donde:

Q : caudal máximo, en m^3/s .

n : coeficiente de rugosidad de Manning.

S : pendiente media.

A_H : área hidráulica.

R_H : radio hidráulico.

El estudio hidráulico, se realiza en las secciones transversales del río, obtenidas a través del estudio topográfico, ubicadas, una en el punto de emplazamiento, y las otras, van

aguas arriba y aguas abajo, en lugares donde el río presente condiciones desfavorables, tales como meandros, angostamientos del cauce, o donde exista un flujo turbulento.

El coeficiente de rugosidad de Manning, es un parámetro que indica la rugosidad en el lecho del río, este depende del tamaño y forma de sección transversal del canal, del tamaño de todas las partículas que contiene en el lecho, de la vegetación como revestimiento superficial, del alineamiento del canal, depósitos y socavaciones, etc.

El coeficiente de rugosidad “n” de Manning. Se puede determinar, por medio de tablas y en el campo, haciendo mediciones de este por algún método establecido.

Por medio de tablas, se consideran los siguientes factores:

1. Rugosidad de la superficie: los granos delgados dan un valor bajo de “n” y los granos gruesos un valor alto de “n”.
2. Vegetación: esta reduce la velocidad del agua en el canal, retarda el flujo, dependiendo de la altura, densidad, distribución y tipo de vegetación.
3. Alineamiento del canal: lineal, curvoso, divagante, turbado, etc., según el tipo de río joven, mediana edad o maduro.
4. Depósitos y socavaciones: la depositación aluvial puede cambiar un canal muy irregular en uno uniforme y disminuir el valor de “n”, mientras que la erosión aumenta el valor “n”. (Ver tabla 1.3).

Tabla 1.3 Coeficiente de rugosidad de Manning.

Revestimiento	Coefficiente
Fondos de grava con lados de :	
> Concreto	0.020
> Piedra	0.023
Canales naturales:	
> Limpios y rectos	0.030
> Limpios y curvos	0.040
> Curvos con hierbas	0.050
> Con matorrales y arboles	0.100
Planicies de inundación:	
> Pastos	0.035
> Cultivos	0.040

Fuente: adaptada de Ven Te Chow.

Determinación de n en campo. La rugosidad es función del diámetro de la partícula que produce, la fricción o rugosidad, esta viene dada por la siguiente fórmula:

$$n = (\sqrt[12]{\phi_{90}}) / 64 \quad (\text{ecuación. 1.10.5})$$

donde:

n : coeficiente de rugosidad de Manning.

64: es una constante, o número de Reynolds, para flujo laminar.

ϕ_{90} : es el diámetro, en mm, de la curva granulométrica correspondiente al 90% que pasa la malla de mayor diámetro.

Determinación de “ n ” mediante el método de las velocidades, este es aproximado, y se basa en la distribución logarítmica de las velocidades en las verticales mediante la siguiente ecuación¹⁷:

¹⁷ Zavala A, José Efraín. 1976. Determinación del Coeficiente de rugosidad “ n ” de Manning para ríos de El Salvador. Seminario de Graduación. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura UES. S.S.

$$n = \frac{(x-1)Y^{1/6}}{6.78(x+0.95)} \quad (\text{ecuación 1.10.6})$$

donde:

x : es la velocidad a 0.2 de la profundidad media entre la velocidad a 0.8 de la profundidad media.

Y : es la profundidad media.

Las velocidades a 0.2 y 0.8 de la profundidad deben corresponder a una sola vertical y el valor de Y será el promedio de todas las verticales medidas en el aforo.

La ecuación 1.10.6 indica la proporcionalidad directa entre los valores $Y^{1/6}$ y “ n ”.

Debido a que en el proceso de medición de velocidades, en la cercanía de los taludes, los efectos de turbulencia son más notables, es preferible escoger las verticales en la parte central del río.

La sección hidráulica óptima, se obtiene cuando el factor hidráulico es igual al factor geométrico, calculado a partir de la ecuación 1.10.3.

Para realizar el cálculo de la curva de descarga, ordenadamente, se tabulan los datos en una tabla que contenga la información, como lo muestra la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Determinación del caudal y tirante de diseño.

Tirante Y (m)	Área hidráulica A_H (m ²)	Perímetro mojado P_m (m)	Radio Hidráulico $R_H = A_H/P_m$	Factor Geométrico $F_g = A_H R_H^{2/3}$	Caudal (m ³ /seg) $Q = (S^{1/2}/n)F_g$

El tirante crítico, es la altura del agua, donde el factor geométrico es igual al factor hidráulico (ecuación 1.10.4), representando el nivel de aguas máximas alcanzado en la sección. Se utiliza para conocer el nivel de aguas máximo que alcanza el agua en la sección transversal del río. Esta altura, ayuda a determinar la altura de la parte inferior de la obra, agregándole una altura prudencial para el paso de objetos del arrastre, 1.5 metros a 2.0 metros, ó según el diseñador.



Figura 1.12 Estribo de mampostería, con aletones, puente Acrow Doble Simple 60' Acrow panel "El Carrizo". Cabañas.

Una vez que se ha establecido el tirante crítico, a través del estudio hidráulico, éste se compara con las huellas que deja marcado el río en los taludes; el valor que sea mayor, se utilizará para el cálculo de la cota más inferior del tablero, que es la suma del tirante crítico o nivel de aguas máximas, la altura para objetos de arrastre estimada es de 2 metros.

La velocidad del agua. Es la distancia que recorre ésta en el cauce del río en la unidad de tiempo. En la práctica, la velocidad del agua se puede determinar experimentalmente midiendo una distancia en el sentido de la corriente del río, dejando ir un objeto muy liviano, que puede ser de durapax, durante 6 a 12 veces, medir su tiempo de recorrido para determinar la velocidad media que lleva el agua superficial al centro del río, en su paso por el punto de interés. Por medio de la velocidad se puede determinar en el río, si hay depositación o erosión, y en algunos casos mayores, para asegurar un equilibrio entre erosión y depositación; es decir, que para que no se dañen los estribos, se pretende regular la velocidad en el río mediante gradas disipadoras de energía para que éstas oscilen en un rango aceptable ($0.40 < V < 2.50$ m/s).

También, se realiza otro estudio hidráulico para determinar el tirante crítico, con la variante que se deben incluir los estribos del puente. El área para objetos de arrastre o cuerpos flotantes se puede calcular de la siguiente forma:

$$A_O = A_H/3 \quad (\text{ecuación. 1.10.7})$$

donde:

A_O : área para objetos de arrastre.

A_H : área hidráulica óptima.

Por lo tanto, se puede obtener la altura entre el nivel de aguas máximas y la parte inferior del tablero.

$$A_O = b \times h \quad (\text{ecuación. 1.10.8})$$

entonces, $h = A_O/b$

donde:

A_o : área de objetos de arrastre, en m^2 .

h : altura para objetos de arrastre, en metros.

b : ancho de espaciamiento de estribos, en metros.

Cuando la obra de paso está construida, los estribos reducen el área hidráulica de la sección natural del cauce, aumentando la velocidad y la altura del tirante normal del agua, produciendo cambios en el perfil del agua, hasta cierta longitud del cauce donde vuelve a coincidir con su curso normal. Al cambio producido en el perfil del agua, aguas arriba del puente, se le conoce como remanso.

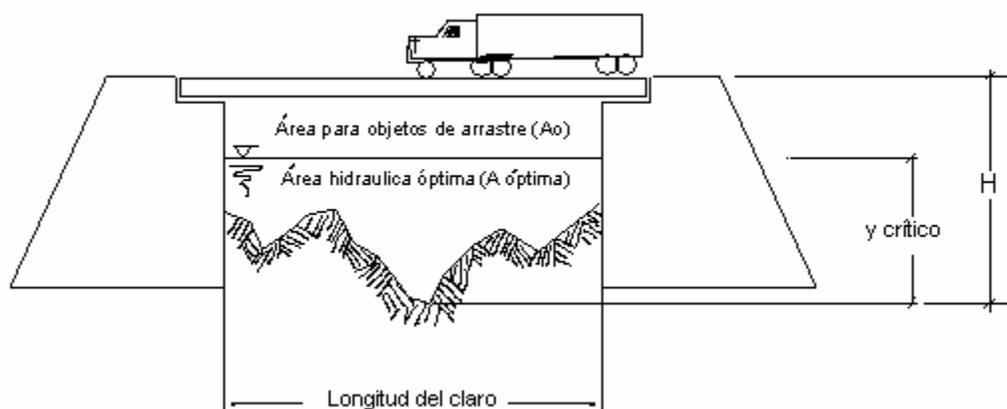


Figura 1.13 Área para objetos de arrastre.

1.10.5 Estudio socioeconómico.

Es importante tener en cuenta lo económico y social, de las comunidades que serán beneficiadas, así como la reactivación económica y el desarrollo social local según la disposición económica con que se cuente para realizar las obras de paso, y los beneficios que se obtendrán; estos dependerán, en mayor grado, que la obra se realice o

no. La falta de acceso a lugares para vivienda y facilidad de traslado de mercaderías es un factor que disminuye las oportunidades de desarrollo de diferentes comunidades en El Salvador.

Cuando se realice la obra de paso en el sitio de cruce de un camino, con un cauce, se toma en cuenta la búsqueda de un sistema económico de colocación del puente, determinando el alineamiento del camino más conveniente, que el cruce se encuentre formando un ángulo recto, o sea noventa grados, para que su esviaje sea cero grados; porque cuando un camino se encuentra esviado, respecto al eje del cauce, la longitud de paso se incrementa respecto del ancho del cauce y los costos también se incrementan. Para caminos rurales y vecinales, un ángulo de esviaje entre 0 y 15 grados, puede considerarse favorable, ya que los incrementos en su longitud respecto al ancho del cauce son mínimos. Para ángulos mayores que 15 grados, se debe buscar una solución que mejore las condiciones en el cruce, desplazando el camino en el cruce hasta lograr enderezar el alineamiento.

Otro factor importante, que influye en los costos de la obra de paso, es el nivel de aguas máximas alcanzado en el punto de emplazamiento, mientras más elevado se encuentre el tirante crítico o la huella, los costos se incrementan con la altura de la obra de paso. Además, cuando las pendientes son fuertes en el cauce, la velocidad del agua aumenta, causando grandes índices de erosión, transporte y socavación; lo cual, para contrarrestar estos problemas, se tienen que realizar gradas disipadoras de energía y estas aumentarían los costos de la obra. Cuando en los taludes y en el lecho del río se encuentran estratos rocosos para cimentaciones, la obra se vuelve más económica, porque en algunos casos,

se puede ahorrar la inversión en la compra de materiales para la construcción de los cimientos de la obra de paso, y, en otros casos, el costo del estudio de suelos pudiera ser menor.

Cuando existen abundantes arenas y gravas en las riveras del río, estas pueden ser utilizadas como materiales de construcción de la obra en su fundación, si cumplen los requerimientos de calidad para tales fines, reduciendo el costo del transporte y la compra del material de construcción. También, la morfología del cauce influye en los costos de la obra de paso, ya que el ancho del canal natural y la altura de los taludes determinan las dimensiones de ésta, mientras mayor sea el ancho y la altura del cauce, los costos se incrementan.

1.11 Aspectos a tomar en cuenta para el estudio del punto de emplazamiento.

1.11.1 Tipo de vehículo.

Los vehículos de diseño son los automotores de mayores exigencias en el tránsito, que se desplazan por las carreteras regionales, por lo que al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación de cada uno de ellos, brindan al diseñador los controles y elementos a los que se deben ajustar los diseños para posibilitar y facilitar su circulación irrestricta de cada tipo de vehículo utilizado para diseño; se seleccionan a propósito, para adoptar las condiciones más desfavorables, aquellos con mayores dimensiones físicas.

Datos de tránsito y los registros nacionales de vehículos automotores estudiados por SIECA, destacan, en Centroamérica, la presencia relativamente importante del camión tipo T3, que corresponde a un camión de tres ejes, uno delantero y dos ejes traseros,

utilizado con preferencia para el acarreo de mercancías a distancias cortas y medianas. La combinación vehicular identificada como T3-S2, que consiste en la integración operativa de una unidad de tracción o cabezal de tres ejes, acoplado con un semirremolque de dos ejes en tandem, es significativa para la importación y exportación por carreteras, en contenedores de 40 piés, 45 piés y hasta 48 piés de longitud, con origen o destino en los puertos marítimos de Centroamérica, se realiza utilizando este tipo de combinación de transporte que ha resultado práctico para las necesidades de la región.

Aunque su presencia en la actualidad es bastante reducida, es posible que la combinación tipo T3-S3, o sea, la combinación del mismo cabezal con un semirremolque de tres ejes, pudiera, a largo plazo, llegar a ser importante para el transporte por carreteras en Centroamérica, en virtud de su mayor capacidad para transportar carga, para movilización de embarques más pesados, incentivando este movimiento, la aplicación más efectiva de controles en los límites establecidos para los pesos y dimensiones de los vehículos por carretera.

La AASHTO-44¹⁸, selecciona cinco vehículos tipo para el diseño de las carreteras regionales. El vehículo tipo P, corresponde a la categoría de vehículos livianos, que representa el automóvil. El vehículo representativo de las unidades de transporte colectivo, representado por el autobús sencillo, corresponde al tipo bus. El camión de tres ejes no aparece en la clasificación de la AASHTO, pero puede homologarse al camión sencillo de dos ejes identificado como SU, por ser más restrictivo que los

¹⁸AASHTO-44. 1994. Policy on Geometric Design of Highways and Streets, p 21.

vehículos articulados. En la categoría de vehículos articulados de carga, se puede escoger para diseño, por semejanza, el vehículo tipo WB-19 (remolque interestatal), que utiliza un semirremolque de 14.6 metros de largo (48 piés) y fue adoptado como vehículo de diseño, según la ley federal norteamericana de Transporte por Superficie de 1982¹⁹, igualmente, se puede considerar el vehículo tipo WB-20 que está provisto de un semirremolque de 16.2 metros de longitud (53 piés). En un rango intermedio entre los dos tipos extremos de vehículos para el transporte de carga, se puede considerar el vehículo identificado como WB-15, que puede cargar contenedores de 6.1 y 9.1 metros de largo (20 piés y 30 piés). En la tabla 1.5 se muestran las dimensiones de estos tipos de vehículos, siendo oportuno destacar, que los vehículos pesados, de pasajeros o de carga, tienen un ancho máximo para diseño de 2.6 metros, mientras el Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras, de 1958²⁰, en proceso de revisión, limita ese ancho a 2.5 metros.

La Ley de transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial del año 2002, en el capítulo II Art. 12, clasifica los vehículos como sigue: a) Livianos de Carga; b) Pesados de carga; c) Camiones de más de tres toneladas de capacidad; d) Camiones y remolques articulados; e) Cabezales y trailer; f) Maquinaria pesada montada sobre ruedas de hule; g) Otros no contemplados.

¹⁹ STAA. 1982. Surface Transportation Assistance Act.

²⁰ SIECA. 2000. Manual Centroamericano de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 2. Criterios de diseño de carreteras. Guatemala.

Tabla 1.5 Dimensiones de vehículos. AASHTO-44.

DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS DE DISEÑO (METROS)

	P	BUS	SU	WB-15	WB-19	WB-20
Altura	1.3(1.3)	4.1	4.1(4.1)	4.1(4.1)	4.1	4.1
Ancho	2.1(2.1)	2.6	2.6(2,6)	2.6(2.6)	2.6	2.6
Longitud	5.8(5.8)	12.1	9.1(9.2)	16.7 (16.8)	21.0	22.5
Voladizo Delantero	0.9(0.9)	2.1	1.2(1.2)	0.9(0.9)	1.2	1.2
Voladizo Trasero	1.5(1.5)	2.4	1.8(1.8)	0.6(0.6)	0.9	0.9
Distancia entre Ejes Extremos, WB1	3.4(3.4)	7.6	6.1(6.1)	6.1(6.1)	6.1	6.1
Distancia entre Ejes Extremos, WB2				9.1(9.2)	12.8	14.3

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994. p. 21

1.11.2 Tipo de carretera.

El Ministerio de Obras Públicas²¹ clasifica las carreteras de la Red Vial Nacional Prioritaria en: a) Carreteras especiales, b) carretera primaria, c) carretera secundaria, d) carretera terciaria, e) carretera terciaria modificada, carreteras rural A, f) carreteras rural B, g) carretera rural A modificada, h) carretera rural B modificada. Otra clasificación que responde a un criterio administrativo de carreteras es: carreteras regionales o centroamericanas, carreteras nacionales, carreteras departamentales y locales.

1.11.3 Condiciones de carga

Las cargas vivas sobre puentes, las constituyen camiones tipo o de carriles de carga equivalentes a una serie de camiones. Las especificaciones de la AASHTO 93, consideran, dos tipos de carga H (M) y cargas HS (MS), ver figura 1.14.

²¹Ministerio de Obras públicas de El Salvador. 1998. Levantamiento del inventario nacional de carreteras.

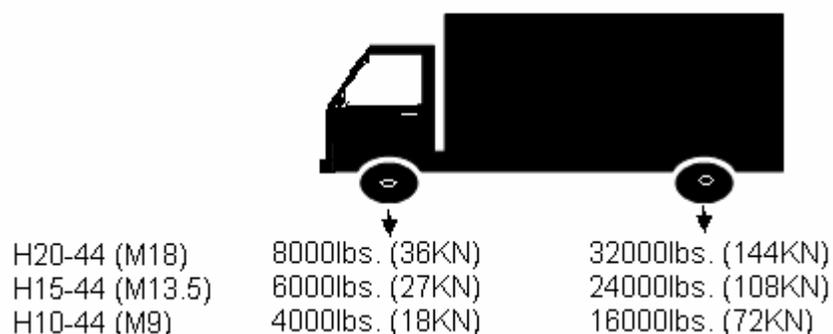


Figura 1.14 Cargas H (M).

H20 – 44 (M – 18), peso total 18.2 toneladas.

H15 – 44 (M -13.5), peso total 13.7 toneladas.

H10 – 44 (M - 9), peso total 9.1 toneladas.

Cargas H (M). Consisten en un camión de dos ejes o el correspondiente carril de carga. Estas cargas se designan por las letras H (M) y a continuación, un número indicando el peso total del camión normalizado o camión tipo en toneladas (1 tonelada inglesa = 907 kg).

Cargas HS (MS). Consisten en un camión tractor con semiremolque o el carril de cargas correspondiente. Estas cargas se designan por las letras HS (MS) seguidas de un número que indica el peso total en toneladas del camión tractor. Ha sido introducida una separación variable entre ejes con el fin de aproximarse más a los tractores remolque, ahora en uso, ver figura 1.15.

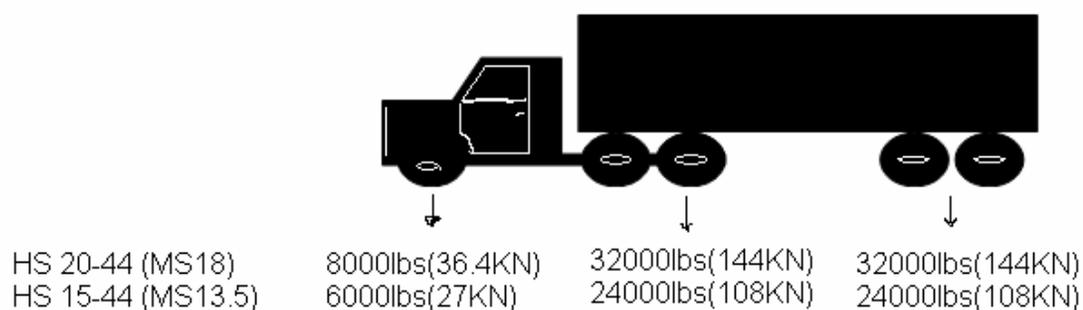


Figura 1.15 Cargas HS (MS).

HS 20 – 44 (H - 18.1) (S – 14.6) Peso total 32.7 toneladas.

HS 15 – 44 (H -13.6) (S – 10.9) Peso total 24.5 toneladas.

Tabla 1.6 Límites de peso por eje de vehículos SIECA.

Tipo de vehículo	Eje simple direccional	Eje simple doble rueda	Eje doble tipo A	Eje doble tipo B	Eje triple tipo A	Total (Toneladas)
C-2	5.00	10.00	-----	-----	-----	15.00
C-3	5.00	-----	16.50	-----	-----	21.50
C-4	5.00	-----	-----	-----	20.00	25.00
T2-S1	5.00	18.00	-----	-----	-----	23.00
T2-S2	5.00	9.00	16.00	-----	-----	30.00
T3-S2	5.00	-----	16.00	16.00	-----	37.00
T3-S3	5.00	-----	18.00	-----	18.00	41.00

Fuente: SIECA. 2000. Acuerdo Centroamericano sobre circulación en carreteras. Guatemala.

1.11.4 Estudio de tránsito.

Para conocer el número de vehículos que pasa por un punto dado, se hacen conteos de vehículos que pasan en un lugar específico, el fin es, determinar la composición y volumen de tránsito en donde se necesite el número de vehículos que viajan en cierta

zona o a través de ella, evaluar índices de accidentes; clasificar caminos; planear rutas y el proyecto geométrico; sistemas de control del tránsito; elaborar programas de conservación; priorizar construcciones; tránsito futuro, y otras aplicaciones.

Para la proyección de cualquier obra vial, el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Gerencia de inventarios viales, realiza el estudio de tránsito en el punto de interés, encuestando a los usuarios de los vehículos que se conducen en las carreteras, estudios de origen y destino. Se recopilan datos sobre el número y tipo de viaje, incluyendo movimiento de vehículos y pasajeros desde varias zonas de origen hacia varias zonas de destino. El método a utilizar para hacer este estudio, es preguntando a los usuarios ¿cuál es el origen?, ¿cuál es su destino?, ¿si están interesados en hacer uso del puente o no, y porqué?. Terminado el periodo de encuesta, se ordena la información obtenida, clasificándola según el vehículo (pesado o liviano) según el interés o motivo por hacer uso del puente, etc. Haciendo uso de una distribución porcentual se obtendrá las proyecciones futuras del volumen de tráfico para luego poder ser usadas en el análisis de capacidad de diseño del puente. Los datos sobre cada viaje son: ubicación del origen, destino, tiempo de viaje, uso de las obras, uso de la tierra e índices socioeconómicos del viajero y su familia. Se separa el número de vehículos por categoría, clasificándolo en: tráfico liviano con pasajero (LP), liviano con carga (LC), pesado con pasajero (PP), pesado con carga (PC), según el capítulo II artículo 12 de la Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial de El Salvador. El método se complementa mediante conteos históricos, conteos recientes y encuestas de tráfico, factores de expansión, volúmenes de tráfico normal, atraído y desviado, proyecciones del TPDA (Tráfico Promedio Diario

Anual). El cálculo del TPDA, se realiza en una estación de aforo, analizando a través un modelo de progresión lineal para poder deducir la tendencia en el tráfico futuro. Así, con una tasa de crecimiento anual histórico, al comparar su valor con el crecimiento económico del lugar, si el valor está acorde al crecimiento, económico, entonces se deja esta tasa, pero, si es más alta entonces se ajusta para compensar²².

1.11.5 Ancho de rodadura.

.El carril de carga o el camión tipo, se supondrán que ocupan un ancho de 10 piés (3.05m), el ancho de carril deseable será entonces 3.6 metros para el carril de circulación, y de 3 metros mínimo en carreteras con baja velocidad. Ver figura 1.16²³. Considerar la construcción de puentes con extra ancho o la existencia en dos puentes para la circulación de dos sentidos de la carretera.

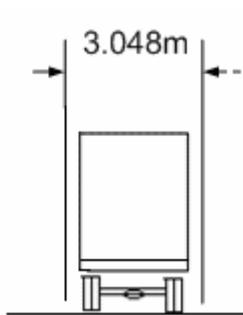


Figura 1.16 Ancho mínimo de circulación.

²² Fuente: Parada, Carlos Eduardo y otros. 2001. Diseño de puente entre Guarnecía y Potrero Sula sobre le río Lempa, Texistepeue, Santa Ana. Trabajo de Graduación. Escuela de Ingeniería Civil UES. S.S.

²³ Leclair Raúl. 2004. Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. Manual centroamericano. SIECA. Guatemala.

CAPÍTULO II

PUENTES METÁLICOS MODULARES

CAPÍTULO II

PUENTES METÁLICOS MODULARES.

2.1 Piezas componentes de los puentes metálicos modulares.

Este tipo de puente tiene su estructura conformada por paneles, los cuales se unen con otros por medio de bulones, constituyendo las vigas longitudinales principales. En los puentes metálicos modulares, utilizados en El Salvador, el criterio para seleccionar el tipo que mejor cumple la solución del caso, se basa en el diseño propio de cada pieza o módulo de acero de alta resistencia, montaje o ensamblaje, durabilidad, soporte de la carga de imposición y costos, de acuerdo con los fabricantes.

2.1.1 Panel modular.

Panel Bailey BB.1, ver figura 2.1, es una armazón soldada que comprende dos cordones unidos por montantes verticales y diagonales. Estos elementos se fabrican con acero especial de alta resistencia. En un extremo del panel, ambos cordones terminan en un muñón perforado y en el otro extremo en dos cartelas perforadas. Los paneles se ensamblan unos con otros por los extremos, mediante el acoplamiento de los muñones con las cartelas, insertando los bulones de panel a través de los agujeros correspondientes. A los dos cordones de los paneles se les denomina "Cordón Superior" y "Cordón Inferior", siendo éste último fácilmente identificable por las

cuatro placas de apoyo de los traveseros, adyacentes a los montantes. Cada una de estas placas tiene una espiga cónica vertical que se conecta al agujero del travesero; los agujeros rectangulares en los montantes de los paneles, encima de las placas, reciben el apéndice de la abrazadera del torniquete de travesero, el talón del cual se acomoda dentro de la ranura de la placa de apoyo.

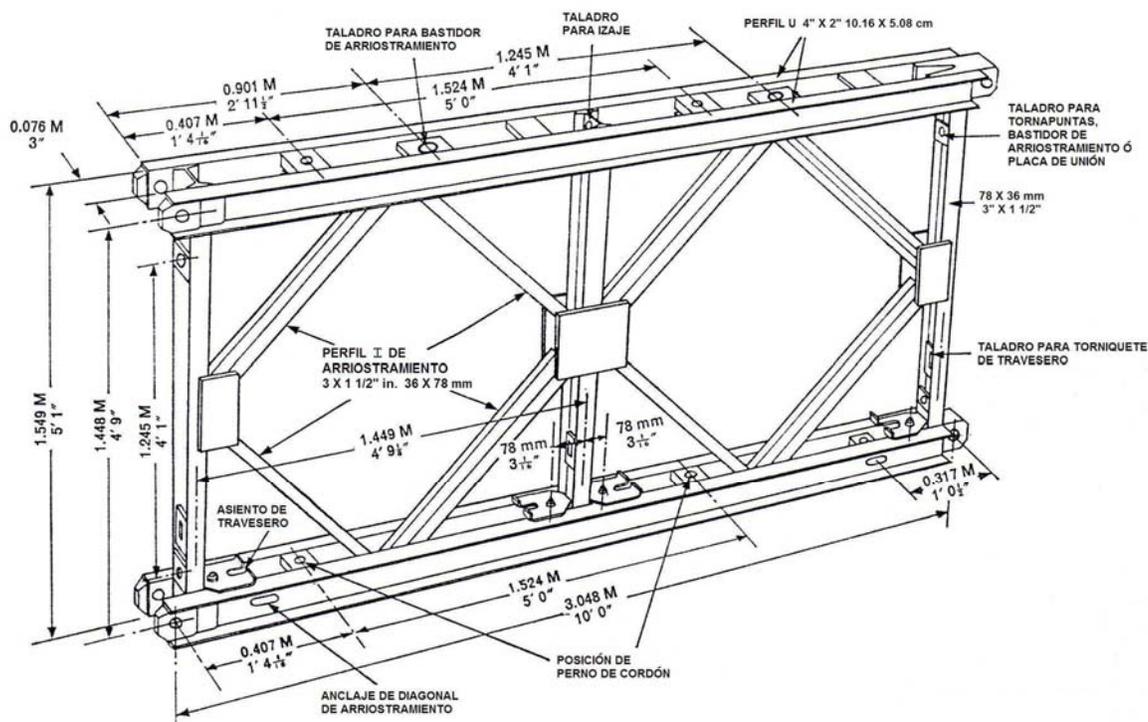


Figura 2.1 Panel de Puente Bailey (BB.1).

En el cordón inferior, cerca de cada extremo, hay un agujero ovalado, horizontal, que recibe las diagonales de arriostramiento. Tanto el cordón superior como el inferior, tienen cada uno un par de palastros taladrados para alojamiento de pernos de cordón;

los paneles se ensamblan unos encima de otros por medio de estos pernos de cordón. Los cordones de refuerzo, también se fijan en estos puntos, en ambos cordones hay un par de agujeros en los que se coloca el bastidor de arriostramiento horizontal, cada uno de los dos montantes extremos tiene un par de agujeros para bastidor de arriostramiento vertical; el agujero más cercano al cordón superior se emplea también para fijar el tornapuntas y la placa de unión. Un agujero ovalado, en la parte superior del montante central, facilita el izado por grúa.

2.1.2 Traveseros.

Travesero BB.5, ver figura 2.2, es un tramo de viga de acero especial de alta resistencia, que forma la viga transversal del puente, extendiéndose entre las vigas maestras para soporte del tablero.

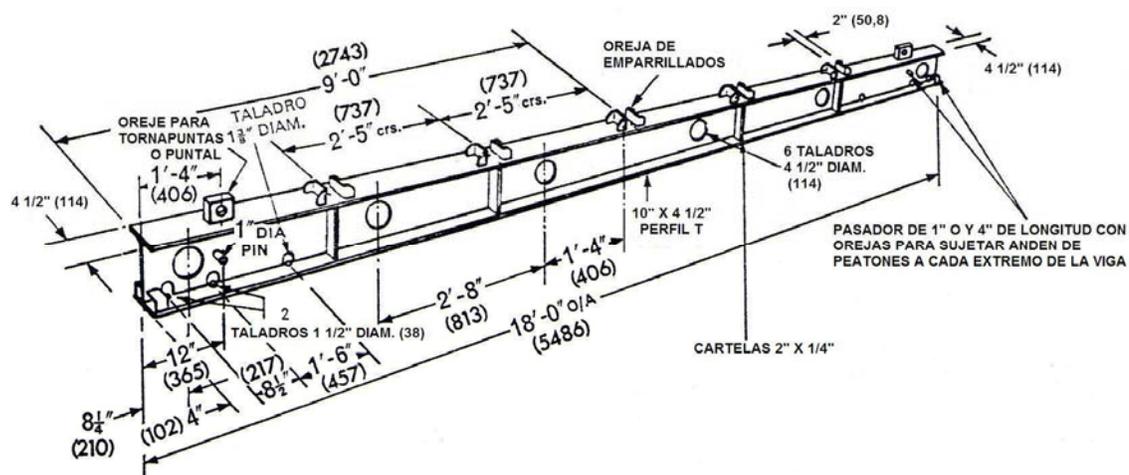


Figura 2.2 Travesero (BB.5).

En el ala inferior, cerca de cada extremo, tiene tres agujeros que se acoplan sobre las espigas de las placas de asiento en los paneles que forman las vigas maestras. Sobre el patín superior, espaciados proporcionalmente desde el centro, para un ancho estándar hay cinco grapas que sirven para fijar los apoyos del tablero o emparrillados.

También, en el patín superior, cerca de cada extremo, hay una cartela perforada a la que se asegura las tornapuntas. Ángulos soldados dentro de las alas inferiores en los extremos y barras redondas en el alma cerca de los extremos, constituyen los apoyos para las ménsulas de andén de la vía para peatones (pasarela).

2.1.3 Elementos de unión.

Los puentes metálicos modulares están diseñados para un ensamblaje manual por medio de herramientas prácticas y elementos de unión modulados de manera simétrica a la modulación del puente.

Bastidor de Arriostramiento BB.2, ver figura 2.3, es una armazón, soldada, hecha de perfiles y barras de acero dulce, con una espiga cónica en cada una de sus cuatro esquinas. Se emplea para arriostrear los paneles entre sí, como sigue:

- a) En los puentes con dos paneles por viga, horizontalmente, sobre los cordones superiores de los paneles de cada módulo, y verticalmente, en los montantes.
- b) En los puentes de dos o tres módulos de altura de vigas, horizontalmente, en los cordones superiores del nivel más alto, y verticalmente, en los montantes exteriores a un extremo de todos los paneles del segundo y tercer alzado en

cada módulo. El bastidor de arriostamiento se ensambla con cuatro pernos de arriostamiento BB. 11.

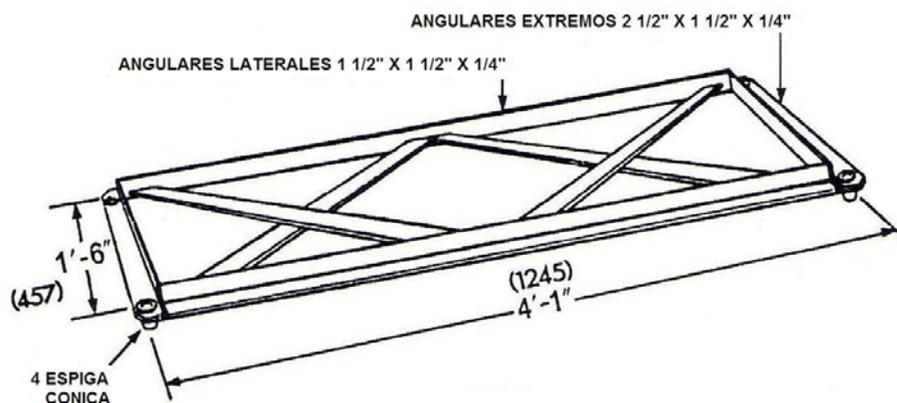


Figura 2.3 Bastidor de Arriostamiento (BB.2).

Tornapuntas BB.3, ver figura 2.4, es un perfil de acero especial de alta resistencia con una espiga cónica en cada extremo. Se conecta entre una cartela situada en la parte superior del travesero y el agujero de la parte superior interna del montante de panel, representa el principal elemento de estabilización del puente manteniendo a plomo y escuadra las vigas maestras. Se asegura con dos Pernos de Arriostamiento BB.11.

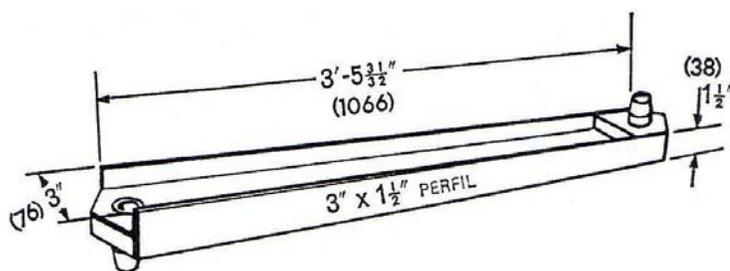


Figura 2.4 Tornapuntas o Puntal (BB.3).

Bulón de Panel BB.4, ver figura 2.5, está hecho de una aleación especial de acero, tratado en caliente; se puede utilizar fiablemente un martillo de 14 lb (7 kg) para insertar estos bulones en su lugar. El extremo del bulón está ligeramente conificado para facilitar esta operación y cerca de su extremo, lleva un agujero para colocar el pasador de bulón.

Pasador de Bulón BB.4A, ver figura 2.5, en la cabeza del bulón de panel hay una ranura paralela al agujero para el pasador del bulón, para que al insertar este, se tome la precaución de que esta ranura se mantenga paralela al cordón del panel. De otra manera, se tendría dificultad para introducir el pasador del bulón.



Figura 2.5 Bulón (BB.4) y Pasador (BB.4.A).

Torniquete de Travesero BB.6, ver figura 2.6, comprende una parte soldada con un apéndice en un extremo, un tornillo con manivela en el centro y una pieza móvil en el talón. Cuando se opera el apéndice, se inserta dentro del agujero rectangular del montante vertical del panel. La pieza móvil tiene una cabeza, la cual se coloca bajo la ranura de la placa de asiento del travesero y ajustando hacia abajo el perno asegura el

travesero en posición respecto al cordón inferior y montante del panel. No está proyectado como elemento resistente, pero tiene la resistencia como cualquier otro elemento, para que en una emergencia pueda absorber un esfuerzo hacia arriba, procedente del travesero, de 2 toneladas (4,480 lb).

Torniquete de Travesero TSBB.573, ver figura 2.6, puede ser usado en lugar del torniquete de travesero (BB.6) o (BB.143). Se diferencia de estos dos tipos solamente en lo que se refiere al tornillo. En el TSBB.573, el tornillo es con cabeza hexagonal, y solamente puede ser atornillada o desatornillado con una llave hexagonal (Allen) o usando la llave de cremallera TSBB.574.

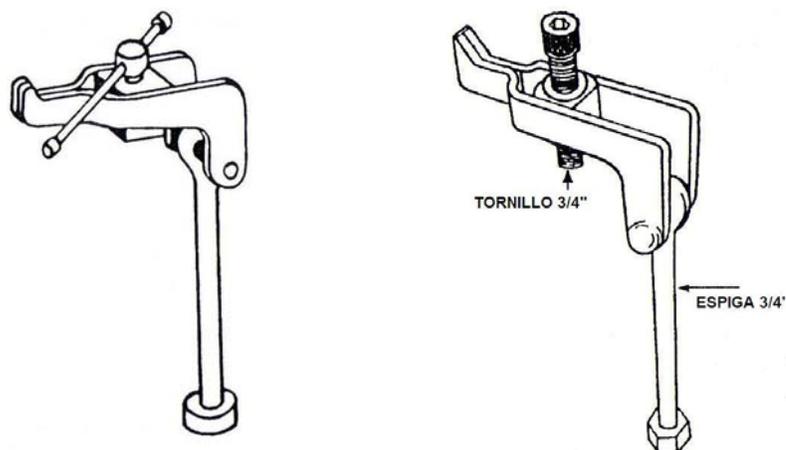


Figura 2.6 Torniquete de Travesero (BB.6) y Torniquete de Travesero (BB.573).

Perno de Cordón BB.9, ver figura 2.7, es de acero dulce, el cuerpo principal, el cual ha sido trabajado a máquina para que encaje en los palastros de los cordones del panel.

Para facilitar este encaje, el cuerpo tiene una pequeña conicidad que empieza en su mitad inferior y termina en una cabeza roscada que va prevista de tuerca y anillo. Conecta los paneles y los cordones de refuerzo a través de los cordones de los paneles.

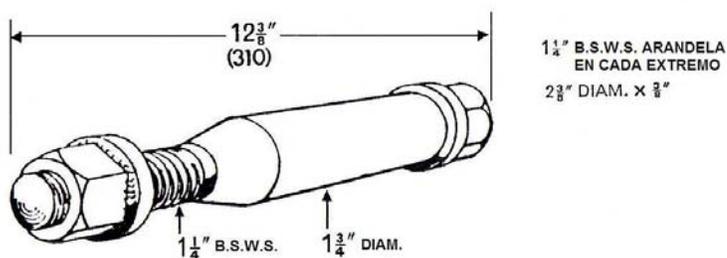


Figura 2.7 Perno de Cordón (BB.9).

Perno de Trinca BB.10, ver figura 2.8, hecho de acero dulce, se suministra completo con tuerca y anillo que no necesitan sacarse durante el montaje, puesto que su cabeza T pasa hacia abajo a través de un agujero rectangular en la trinca guardalado y se asegura en el botón especial del emparrillado.

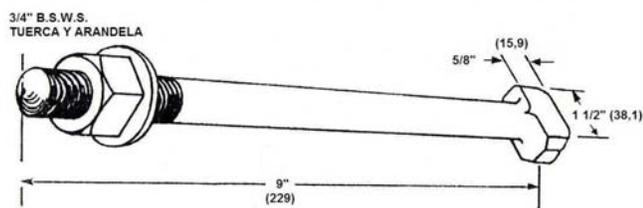


Figura 2.8 Perno de Trinca No.1 (BB.10).

Perno de Arriostamiento BB.11, ver figura 2.9, es de acero dulce, y se suministra con tuerca y arandela. Otra arandela, de forma especial, acoplada debajo de la cabeza, impide que el perno gire mientras se está ajustando la tuerca.

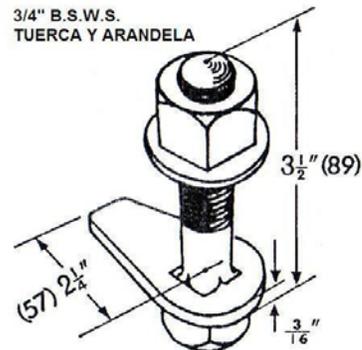


Figura 2.9 Perno de Arriostamiento (BB.11).

Se emplea para los propósitos de asegurar las piezas siguientes:

- El tornapuntas al panel y al travesero;
- El bastidor de arriostamiento al panel;
- La placa de unión al panel.

Placa de Unión BB.29, ver figura 2.10, es una placa de dos espigas huecas separadas 8 1/2 pulgadas (0.22 m) entre centros. Se emplea para conectar la segunda y tercera vigas en los puentes de viga triple.

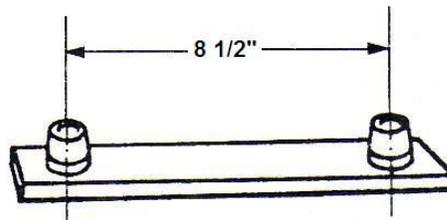


Figura 2.10 Placa de unión (BB.29).

Diagonal de Arriostramiento BB.15, ver figura 2.11, es una varilla de acero dulce con un ojal en cada extremo que se inserta dentro del agujero ovalado en el cordón inferior del panel del panel. Dos bulones encadenados, uno a cada extremo, la fijan al panel.

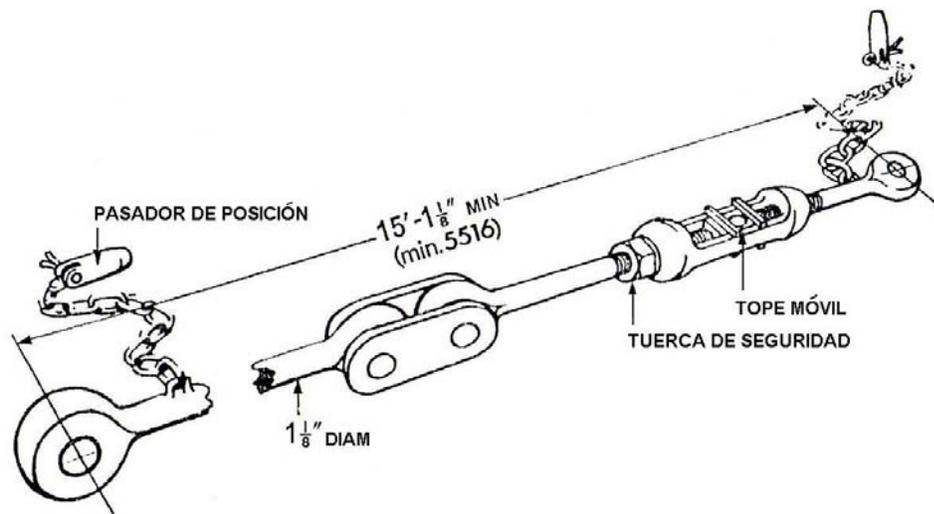


Figura 2.11 Diagonal de Arriostramiento (BB.15).

Una articulación permite que la diagonal de arriostramiento se pueda doblar para el transporte y en el más corto de los brazos hay un torniquete, este puede hacerse girar con el mango de una llave de boca de $1\frac{1}{4}$ " , la cual, también se usa para la contratuerca. El torniquete tiene un bloque calibrador y cuando se ajusta, los extremos de ambas varillas roscadas hacen tope dentro de este bloque; esto quiere decir, que la diagonal de arriostramiento está correctamente templada. Un par de diagonales de arriostramiento así templadas automáticamente "escuadran" cada módulo del puente.

2.1.4 Elementos de Calzada.

2.1.4.1 Rampa de Acceso.

La vía del puente queda a 2 pies 4 pulgadas (0.71 m) sobre el nivel de las placas de asiento. A menos que estas últimas se coloquen en excavaciones bajo el nivel general del terreno, se instalarán rampas inclinadas para llegar al nivel del tablero del puente. Tales rampas se componen de tablonces normales y trincas guardalados, pero la armazón de acero, a pesar de ser similar a los emparrillados empleados en el puente, es de una estructura más resistente. Estos componentes se designan como rampas planas (BB.24) y rampas de botones (BB.25) y corresponden en número y posición a los emparrillados planos y de botones. Los tablonces y trincas guardalados se acoplan a ellos en la misma forma, empleando pernos de trinca (BB.10).

La estructura más pesada de las rampas planas y de botones, les permite recibir cargas no mayores que 15 toneladas (33,500 lb), cuando están apoyados en sus extremos solamente; esto es, sobre luces de 10 pies (3.05 m). Para cargas axiales más pesadas, las rampas deben estar soportadas en su parte central.

La mayoría de vehículos no pueden transitar con facilidad sobre pendiente mayores que 1: 10, de manera que para elevarse 2 pies 4 pulgadas para llegar al nivel del tablero, se necesita una rampa de 20 pies de largo. Puesto que las rampas planas y las de botones tienen 10 pies de largo, se necesita un soporte intermedio, empleando un travesero estándar para este propósito, soportado en cuatro pedestales de rampa # 1 (BB.23). El área de base de cada pedestal de rampa es de $3 \frac{3}{8}$ pies cuadrados (0.31 m²) y debe tenerse cuidado de asegurar la colocación de un cimiento adecuado para soportar la

misma carga que la proyectada para el puente. Normalmente, se puede considerar que la carga no excederá 40 toneladas (89,600 lb) y que será distribuida uniformemente entre los cuatro pedestales. Los pedestales se espacian a lo largo del travesero a cada lado de la línea central, como sigue: uno entre la rampa de botones y la rampa plana adyacente, uno al lado exterior de las rampas de botones.

El extremo inferior de la rampa puede ser soportado adecuadamente sobre una pieza de madera de 9 pulgadas x 3 pulgadas (0.23 m x 0.076 m) que cubra todo el ancho de la rampa, siempre que la carga máxima axial no exceda de 12 ½ toneladas. Para cargas axiales mayores, proveer tres piezas similares de madera, bajo el extremo de la rampa, una al lado de la otra.

El extremo superior de la rampa se apoya sobre el último travesero del puente. A un extremo del puente, este travesero se situará en los postes finales y al otro extremo en los asientos del último panel. La distancia de centro a centro entre los pedestales de rampa y las placas de asiento del puente, tendrán una medida diferente en los dos extremos. Cuando las placas de asiento del puente se colocan en excavaciones, de manera que el tablero del puente forma una continuación del nivel general del terreno, el puente puede terminarse con rampas a nivel de 10 piés, construyendo un muro a través de cada extremo del puente para llenar la doble función de servir de retención a la excavación y de servir de apoyo al extremo exterior de la rampa. Para este propósito, el muro se sitúa a no más que 6 piés 6 pulgadas (1.98 m) del último travesero del puente. La rampa de 10 piés, cuando se soporta en esta forma, puede recibir una carga axial máxima, de 20 toneladas (44,800 lb).

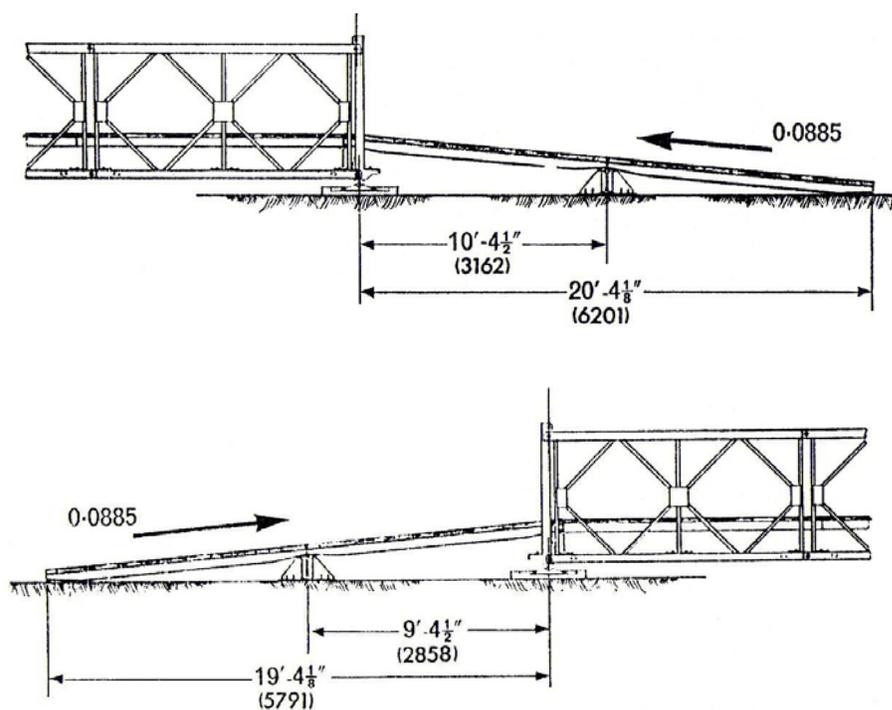


Figura 2.12 Rampas de Acceso.

Cuando la rampa tiene que acomodar cargas axiales simples mayores que $12 \frac{1}{2}$ toneladas, el último travesero del puente en cada extremo debe ser calzado 12 pulgadas (0.3 m) en el centro, esto se logra insertando alzas apropiadas.

Rampa Plana BB.24, ver figura 2.13, comprende tres perfiles de alta resistencia, construida en forma de marco, similar al emparrillado plano, pero de sección más pesada. Los extremos de los perfiles son chaflanados (varían de sección transversal en los extremos disminuyendo de 5" a 4"), y están provistos de apoyos semicirculares en la parte inferior. Los miembros transversales en cada extremo están conformados para encajar sobre las grapas del travesero.

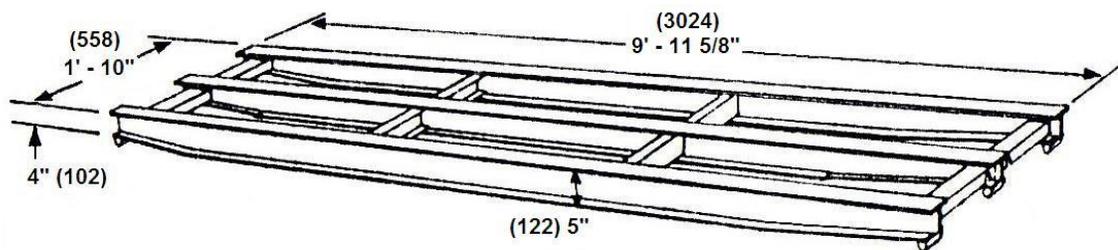


Figura 2.13 Rampa Plana (BB.24).

Rampa de Botones BB.25, ver figura 2.14, es similar a la rampa plana BB.24, pero tiene adicionalmente un juego de botones, exactamente igual que en el emparrillado de botones, para ubicar los tablonces y recibir las cabezas T de los pernos de trinca que presionan hacia abajo las trincas guardalados.

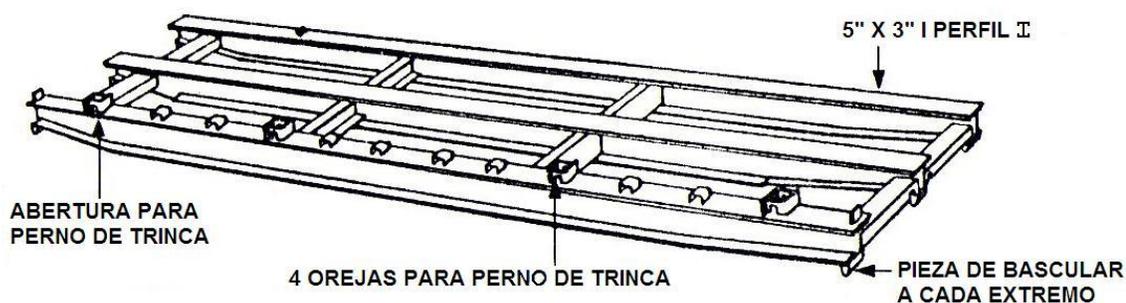


Figura 2.14 Rampa de botones (BB.25).

Cada módulo de rampa comprende tres rampas planas y dos de botones. Cada uno de tales módulos, ahoyado sólo en sus dos extremos, soportará cargas axiales de hasta 15 toneladas (33,600 lb). Para cargas axiales que sobrepasen este peso, cada módulo de rampa debe ser soportado adicionalmente por relleno sólido en el centro. El procedimiento para rampas en los puentes Bailey estándar, se aplica igualmente a los

estándar ensanchados y extra ancho, con la excepción, que a mayor ancho de la vía, se requiere que cada módulo de rampa se componga de dos rampas de botones y cuatro (o cinco) rampas planas.

Pedestal de Rampa # 1 BB.23, ver figura 2.15, es una pieza de acero, soldada, que consiste en un plato de base, sobre la cual, van dos contrafuertes verticales separados convenientemente para que el travesero se sitúe entre ellos. Cuando se usa el travesero largo, como soporte intermedio en el centro de una rampa larga de 20 piés, se usan los pedestales de rampa # 1 (BB.23); pueden emplearse solamente en las dos posiciones exteriores, donde la sección del travesero se reduce a 10 pulgadas x 4 ½ pulgadas y los centros de estos dos pedestales deberán estar 7 piés 9 pulgadas (2.36 m) a cada lado de la línea central del puente. Se emplean dos *Pedestales de Rampa # 2 BB.108*, ver figura 2.15, para soportar el travesero donde éste conserva su sección de 12 pulgadas x 5 pulgadas.

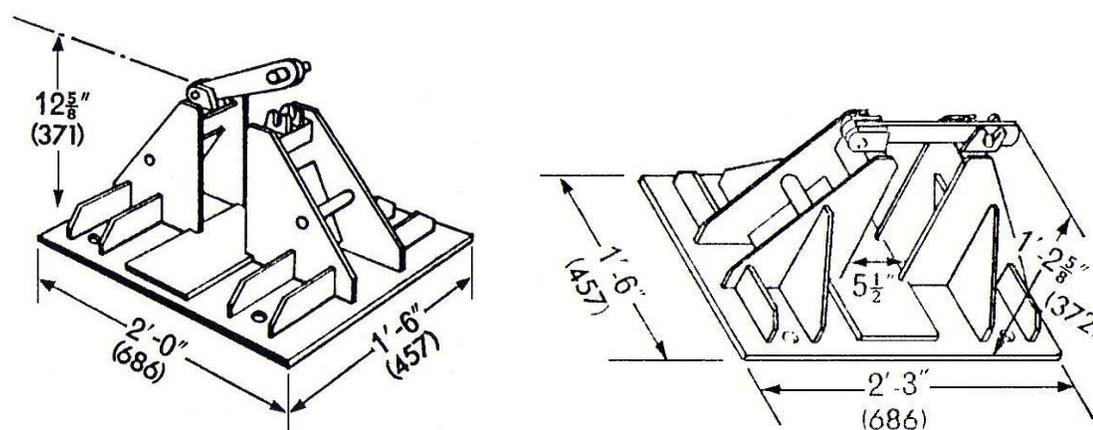


Figura 2.15 Pedestal de Rampa #1 (BB.23) y Pedestal de Rampa #2 (BB.108).

Los centros de estos dos pedestales se colocan a 2 pies 3 ¼ pulgadas (0.69 m) a cada lado de la línea central del puente. Esto situará al pedestal de rampa entre dos rampas planas. Nótese que los pedestales de rampa No.1 sus bases tienen 2 pulgadas (0.05 m) sobre los pedestales de rampa #.2 y se tienen que tomar las precauciones necesarias para poder colocar calzadas adecuadas bajo los dos pedestales exteriores.

2.1.4.2 Calzada vehicular.

Trinca Guardalado BB.13, (durmientes transversales) ver figura 2.16, es un tramo de madera tratada (o muy dura como la de madre cacao) con los cantos inclinados. Los cuatro huecos verticales rectangulares para los pernos de trinca tienen pletinas de refuerzo en sus bocas, sobre las que se ajusta la tuerca del perno de trinca. Tiene el doble objeto de formar las carriladas del tablero y actuar como una abrazadera longitudinal que asegura los tablones en su posición.

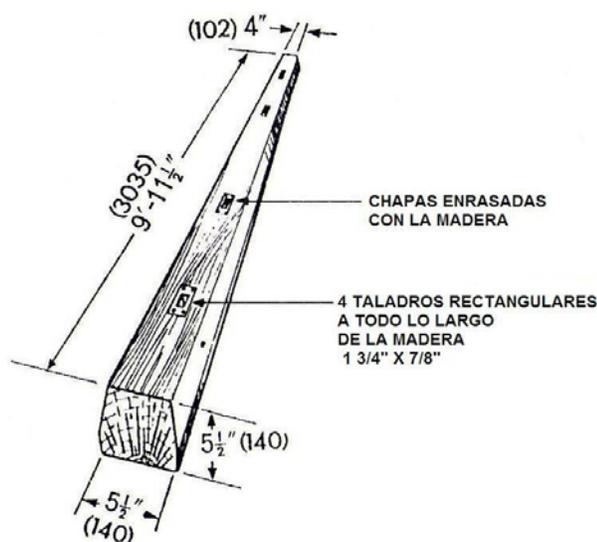


Figura 2.16 Trinca guardalado (BB.13).

Tablón BB.14, ver figura 2.17, es la pieza de madera tratada o muy fuerte, que forma el tablero del puente. Los extremos se estrechan para acoplarse entre los botones del emparrillado de botones, impidiéndose así su desplazamiento longitudinal o lateral.

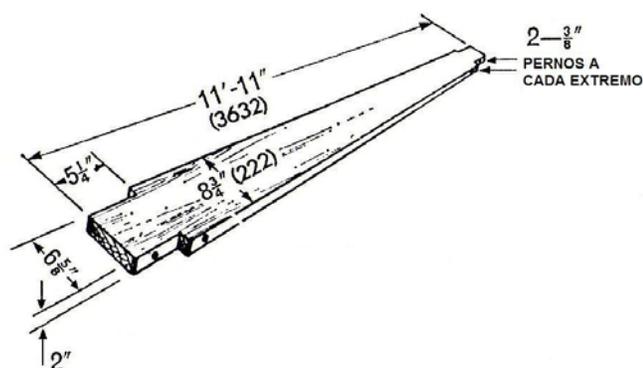


Figura 2.17 Tablón estándar (BB.14).

Emparrillados Planos BB.7, ver figura 2.18, constituyen los soportes longitudinales del tablero del puente, consisten en tres perfiles soldados entre sí para formar un marco, los elementos transversales tienen la función dar rigidez a las viguetas principales. Unas mordazas que llevan en ambos extremos, se acoplan con las grapas de la parte superior de los traveseros para impedir el juego lateral o longitudinal del emparrillado.

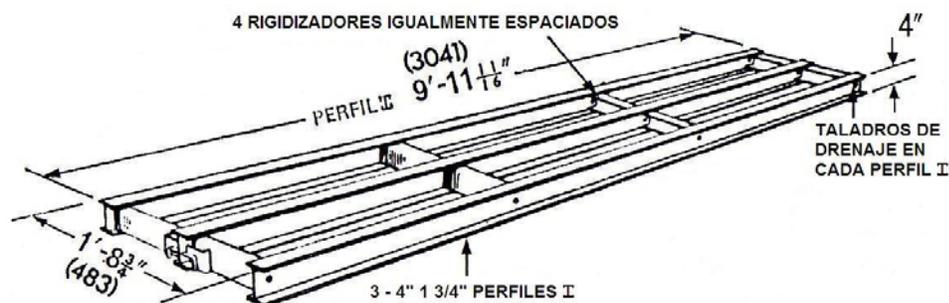


Figura 2.18 Emparrillados planos (BB.7).

Emparrillado de Botones BB.8, ver figura 2.19, su construcción es similar al emparrillado plano, pero tiene adicionalmente una serie de botones equidistantes a lo largo del ala superior de uno de los perfiles exteriores, que sirven para fijar y retener la posición de los tablonos del tablero, cuatro de ellos son huecos para permitir la inserción y ajuste de la cabeza T del perno de trinca. Los emparrillados de botones se colocan en el puente con los botones en las posiciones extremas bajo las carriladas del tablero o trincas guardalados.

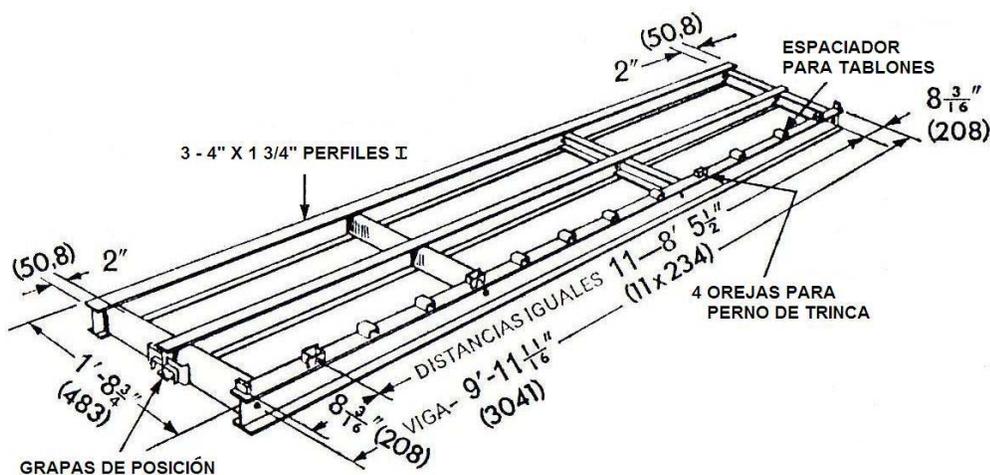


Figura 2.19 Emparrillados de botones (BB.8).

2.1.4.3 Calzada peatonal.

Las vías para peatones, en los puentes metálico modulares, se montan al exterior de las vigas maestras, están completamente separadas de la vía principal del puente. Ellas pueden colocarse en uno o ambos lados del puente. Los puentes metálicos modulares Bailey presentan dos tipos de vías para peatones, una con tablero de acero y otra con tablero de madera y pueden ser de dos anchos: 3 pies 0 pulgadas (0.91 m) y 4 pies 6

pulgadas (1.37 m). Estas vías para peatones están diseñadas para una carga de 100 lb/pié² (488 kg/m²).

Las vías para peatones, sostenidas por viguetas voladizas unidas a los extremos de los traveseros del puente, estos pueden ser estándar, ensanchados y extra anchos, tipo de tablero de madera o de acero. Estas viguetas se llaman “ménsulas de andén” y consisten de dos perfiles en U, soldadas espalda a espalda, con una separación, en un extremo, permiten que la ménsula sea acoplada en el alma del travesero del puente, engancho las orejas tipo gancho en que termina la ménsula en las orejas respectivas del travesero, para asegurarse en su lugar.

Ménsula de Andén para Peatones TSBB.615, ver figura 2.20, corresponde a un ancho peatonal de 3 piés 0 pulgadas. Y puede aumentar a un ancho de 4 piés 6 pulgadas, utilizando la ménsula de andén para peatones TSBB.612.

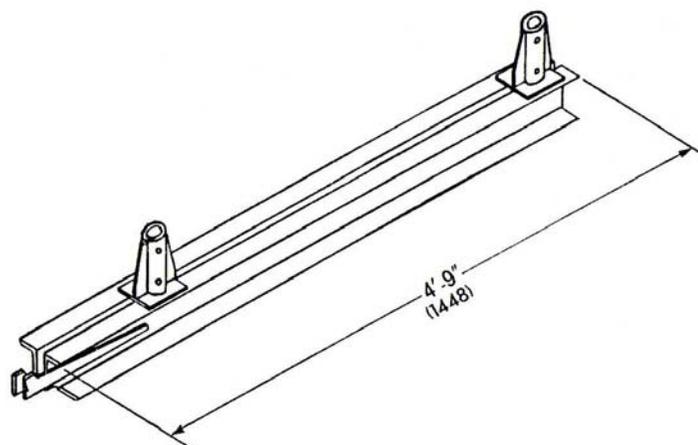


Figura 2.20 Ménsula de Andén para Peatones (TSBB.615).

Estas ménsulas se colocan dos por módulo de puente, cuando la construcción del puente es de dos traveseros por módulo; los soportes se colocan en los extremos de cada travesero; así mismo, cuando la construcción es de cuatro traveseros por módulo en los extremos de los traveseros alternados.

Vía para Peatones con Tablero de Acero, ver figura 2.21, consiste en una plancha de acero del tipo “cuadriculado” con un diseño de nervadura en alto relieve para constituir una superficie antideslizante. Las planchas terminan en sus costados en un ribete. Estas planchas se suministran en dos largos nominales de 4 pies 9 pulgadas y 5 pies 3 pulgadas para colocarlas sobre las ménsulas de vía para peatones. Así, se requiere una plancha de cada longitud en cada módulo del puente. Para cubrir el rango de dos anchos estándar de vía para peatones, se necesitan las siguientes planchas: de 3 pies 0 pulgadas de ancho, para vía de peatones; de 5 pies 3 pulgadas de largo TSBB.639, para plancha cuadriculada; de 4 pies 9 pulgadas de largo TSBB.640, para plancha cuadriculada; de 4 pies 6 pulgadas de ancho, para vía de peatones; de 5 pies 3 pulgadas de largo TSBB.605, para plancha cuadriculada; de 4 pies 9 pulgadas de largo TSBB.606, para plancha cuadriculada.

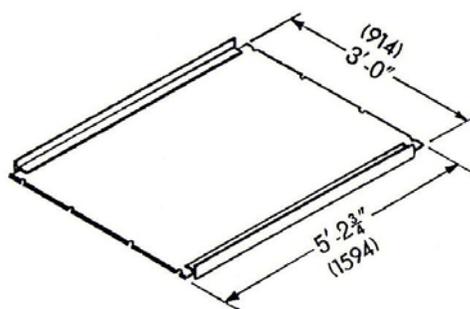


Figura 2.21 Plancha Cuadriculada de Acero (TSBB.639).

En estas se pueden suministrar anchos especiales para adaptar a requerimientos especiales.

Vía para Peatones con Tablero de Madera, ver figura 2.22, en las vías para peatones de tablero de madera, los tableros se hacen en paneles de 10 piés de largo y por lo tanto se necesita un solo tablero en cada módulo de puente. Están disponibles dos tamaños estándar, como sigue: *módulo de madera*, de 3 piés 0 pulgadas ancho, TSBB.631, *módulo de madera*, de 4 piés 6 pulgadas ancho, TSBB.628.

Se pueden suministrar ménsulas de andén de peatones para adaptar a anchos especiales de vías.

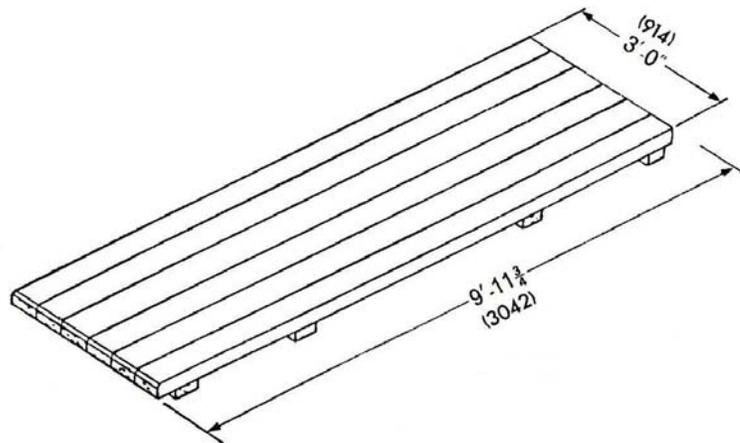


Figura 2.22 Módulo de Madera (TSBB.631).

Los tableros para las vías de peatones, ya sean de acero o madera, se sujetan firmemente por medio de “pletinas de sujeción” que cubren completamente las juntas. Cuatro prisioneros soldados en la parte inferior de las pletinas de sujeción pasan a través de la

garganta central en la ménsula de andén de peatones y se asegura todo el conjunto por medio de tuercas situadas en la parte inferior. Dos de estas pletinas de sujeción se suministran para cubrir todos los tipos de anchos de vías para peatones como sigue: de 3 piés 0 pulgadas de ancho TSBB.641, para pletina de sujeción para vía de peatones; de 4 piés 6 pulgadas de ancho TSBB.644, para pletina de sujeción para vía de peatones.

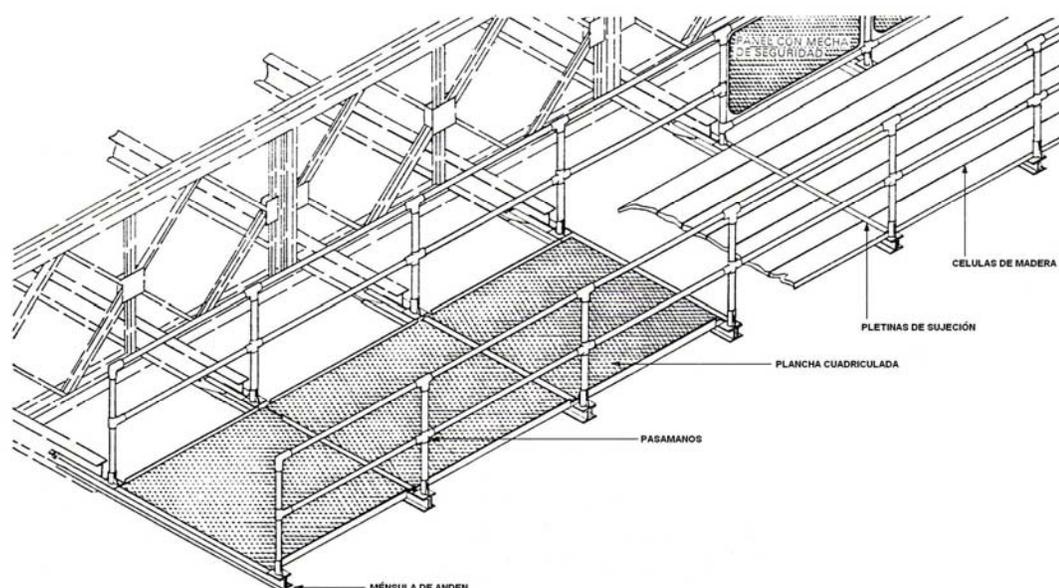


Figura 2.23 Pasamanos para Vías de Peatones.

Los pasamanos son de diseño tubular, basados en tubos de diámetro nominal de 1 pulgada, y pueden ser colocados en ambos lados de cada vía de peatones. Los tubos verticales acoplados a los enchufes en las ménsulas de andén, tienen abrazaderas que permiten que el tubo horizontal superior sea colocado a 3 piés 6 pulgadas (1.06 m) sobre el nivel del tablero. Un segundo tubo horizontal puede ser instalado en una de las siguientes dos posiciones: ya sea a media altura o cerca de la parte inferior, en este

último caso, se pueden colocar paneles de malla para conseguir una vía de peatones totalmente cubierta.

Accesorios

Codo de 90° TSBB.633

Cruz de dos enchufes..... TSBB.634

T Larga TSBB.635

T Corta TSBB.636

Tubos

Poste Vertical..... TSBB.646

Riel Superior..... TSBB.647

Riel Intermedio, Largo..... TSBB.648

Riel Intermedio, Corto..... TSBB.649

Paneles de Malla

Largo.....TSBB.650

Corto..... TSBB.651

2.1.5 Elementos de apoyo.

Apoyo de cojinete BB.19, ver figura 2.24, es una placa plana sobre la cual va una barra redonda soportada por cuatro montantes que la dividen en tres secciones. Recibe la carga de los postes finales del puente y las transfiere a las placas de asiento o a las fundaciones de hormigón. Cuatro agujeros ovalados en la placa permiten su fijación al hormigón mediante pernos empotrados en éste.

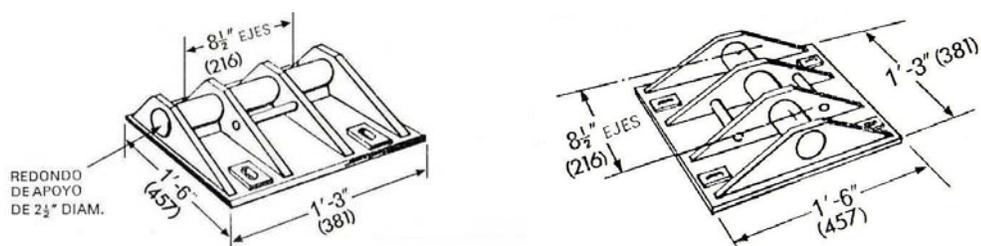


Figura 2.24 Apoyo de Cojinete (BB.19).

Placa de Asiento BB.31, ver figura 2.25, está diseñada para distribuir la carga, uniformemente, de los apoyos de cojinete sobre un área de terreno. Cualquiera que sea la construcción del puente, se necesitan solamente cuatro placas de asiento, una en cada extremo de cada viga maestra, la parte central forma una bandeja en bajo relieve en la que descansan los apoyos de cojinete. Alrededor de los bordes, se han marcado los números 1, 2 y 3 repujados sobre flechas. Estas marcas indican dónde deben colocarse los apoyos de cojinete para los postes finales que soportan las diferentes modulaciones de puentes metálicos modulares. El apoyo de cojinete puede desplazarse un total de 9 pulgadas (0.23 m) sobre la placa de asiento a lo largo de la línea del puente. El área bajo la placa de asiento es 13 piés cuadrados (1.2 m²).

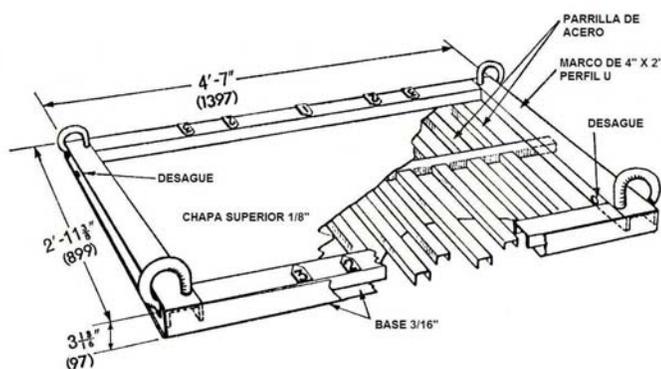


Figura 2.25 Placa de Asiento (BB.31).

En los puentes de vigas simples, el poste final se apoya en la sección central de la barra del apoyo de cojinete. En los puentes de viga doble, cada poste final se apoya en la sección central de su propio apoyo de cojinete. En los puentes de viga triple, dos postes finales comparten un apoyo de cojinete común. Para con un panel por viga, se necesitan dos apoyos de cojinete para cada extremo del puente. Para las demás modulaciones, se necesitan cuatro apoyos de cojinete para cada extremo del puente. El área de la base del apoyo de cojinete es $1 \frac{7}{8}$ piés² (0.175 m²).

Postes Finales, Hembra BB.62 y Macho BB.63, ver figura 2.26, son postes verticales que se unen por medio de bulones a cada extremo del puente y trasladan las cargas de las vigas maestras laterales a los estribos del puente. Un agujero de bulón ovalado adicional en la cabeza del poste sirve para acoplar a un panel de segundo piso o a un cordón de refuerzo superior. En su base, el poste final termina en un bloque de apoyo semicilíndrico que se asienta en el apoyo de cojinete (BB.19).

También, en la base se dispone un braquete con un asiento para travesero final de puente. El travesero se mantiene en posición por medio de un aldabón engoznado del tipo de compuerta que lleva un bulón encadenado. Mientras que el travesero es colocado en su posición, esta compuerta se gira hacia arriba y el bulón se inserta en el agujero superior para mantenerla abierta. Luego, se hace girar hacia abajo y el bulón se inserta en el agujero inferior, sujetando el travesero en su lugar.

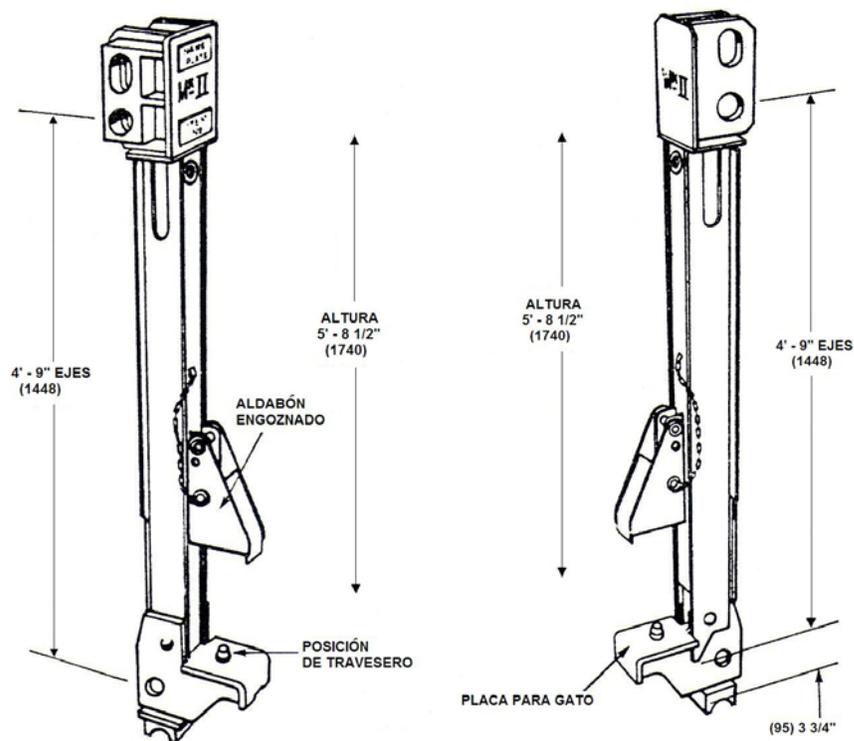


Figura 2.26 Poste Final Hembra (BB.62) y Poste Final Macho (BB.63).

Al operar el gato bajo este travesero, debe tenerse cuidado que los tornapuntas no estén colocados. La compuerta de cada poste final está diseñada para soportar una carga hacia arriba de 15 toneladas (33,600 lb) bajo estas circunstancias.

El braquete que tiene el asiento de travesero, también está diseñado para recibir el talón del gato por su parte inferior y ésta es la posición normal de los gatos cuando bajan el puente sobre sus apoyos. El braquete en el poste final macho puede soportar 15 toneladas (33,600 lb) el braquete del poste final hembra puede soportar 12 toneladas (26,880 lb).

2.1.6 Elementos de refuerzo.

Cordón de Refuerzo BB.150, ver figura 2.27, este se acopla con el cordón inferior u superior del panel Bailey, con extremos machos y hembras para acoplamiento con bulones de panel, palastros de cordón, por medio de los cuales se emperna al panel que se va a reforzar y puntos de acoplamiento del bastidor de arriostramiento y la diagonal de arriostramiento. Los palastros del perno de cordón van en la cara opuesta a los agujeros del bastidor de arriostramiento, así, cuando se acopla al panel, las cabezas de los pernos de cordón quedan alojados entre los perfiles en U que forman el refuerzo, presentando un cordón inferior ininterrumpido para el lanzamiento, y permitiendo que los bastidores de arriostramiento se acoplen al cordón superior sin ninguna interferencia.

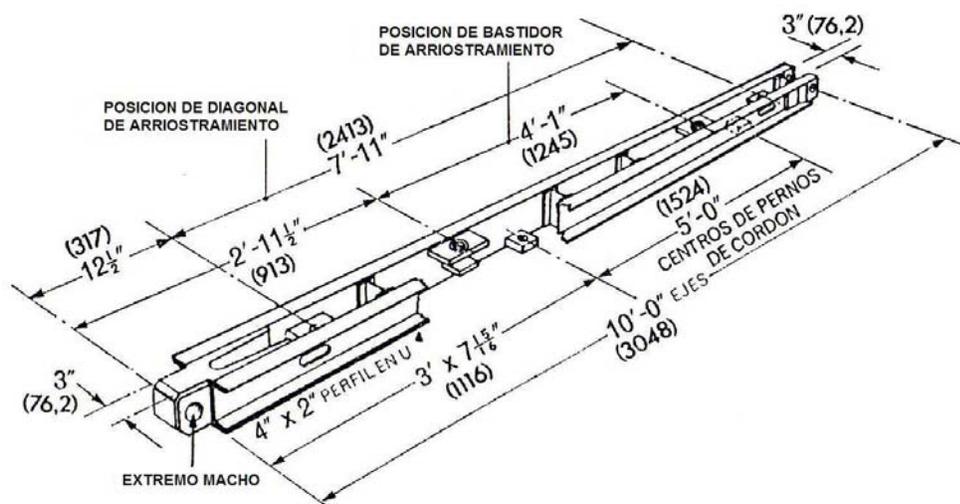
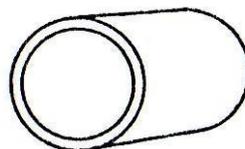


Figura 2.27 Cordón de Refuerzo (BB.150).

Collarín del Perno de Cordón BB.151, ver figura 2.28, es una porción de tubo espaciador en la cola del pasador de perno de cordón. Se emplea cuando se ensamblan

cordones de refuerzo, a los paneles, por medio de pernos, para colocarse en el espacio de perno sobresaliente que se proyecta dentro del panel, apretando la tuerca del perno sobre este collarín.



DIAM EXT. 2 1/4" X No. 4 S.W.G.
LONGITUD: 2 1/2"

Figura 2.28 Collarín de Perno de Cordón (BB.151).

El cordón de refuerzo no se coloca en los morros de lanzamiento de los puentes y presenta un desnivel de cuatro pulgadas (0.1 m) en el cordón inferior en cada extremo del puente donde ya no se coloca refuerzo. En estos lugares, se colocan *Cordones de Refuerzo Extremos, Machos TSBB.616 y Hembras TSBB.617*, ver figura 2.29, que tienen forma de rampa para permitir que los rodillos de construcción y de lanzamiento salven este desnivel, sin necesidad de usar gatos. Los cordones de refuerzo extremos, se conectan con un tornillo sujetado entre los nervios del panel, con una arandela. Un bulón de panel insertado en este punto asegura el cordón de refuerzo extremo en su lugar.

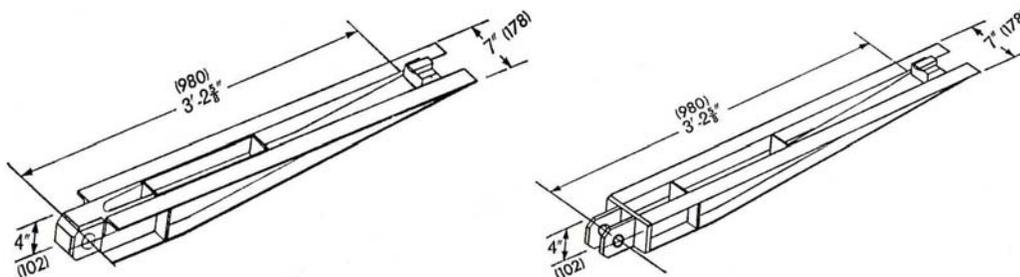


Figura 2.29 Cordones de Refuerzo Extremo (TSBB.616 y TSBB.617).

Soporte para el Arriostamiento Superior BB.73, ver figura 2.30, es un pedestal de acero, que tiene en su base dos palastros para los pernos de cordón, por medio de los cuales se emperna a través de la parte superior de los paneles, en dos vigas, a una distancia de 18 pulgadas (0.46 m) entre centros. La placa superior tiene dos espigas para el asiento de travesero y cuatro mordazas, por medio de las cuales se fija en su posición el travesero. Uno de los extremos de la placa superior se ha alargado para formar una mordaza con dos agujeros verticales que se emplea para sujetar las diagonales de arriostamiento.

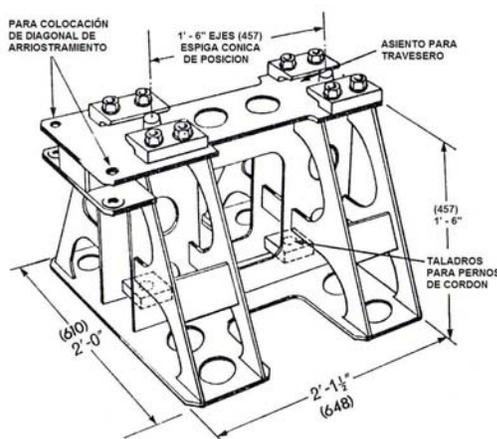


Figura 2.30 Soporte para el Arriostamiento Superior (BB.73).

2.1.7 Modulación típica de puentes metálicos modulares.

Puentes Bailey (de Tablero Inferior).

El puente Bailey más simple, es aquel en que una sola fila (o viga) de paneles a lo largo de cada lado de la estructura forman la viga maestra. A este tipo de puente Bailey se le llama Simple Simple. Una fila adicional de paneles a cada lado convierte este puente en

Doble Simple. Si en este puente Doble Simple se empernan dos filas adicionales de paneles sobre los paneles existentes, el puente de doble piso se llama Doble Doble. Así, es posible definir cualquier tipo de puente de viga compuesta por medio de dos palabras, la primera palabra que indica el número de paneles situados uno al lado del otro, que forman las vigas del puente y la segunda palabra que indica el número de paneles que van uno encima de otro. Por tanto, un puente Triple Doble, tiene sus vigas maestras compuestas de paneles dispuestos en tres vigas colocadas una al lado de la otra y de dos pisos de alto. Normalmente, se emplean siete tipos de modulaciones para armar la gama completa de puentes de tablero inferior y ellos son los siguientes, junto con las abreviaturas por las que se les reconoce:

Simple Simple..... (SS)

Doble Simple..... (DS)

Triple Simple..... (TS)

Doble Doble..... (DD)

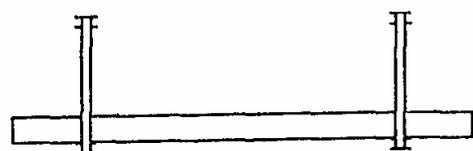
Triple Doble..... (TD)

Doble Triple..... (DT)

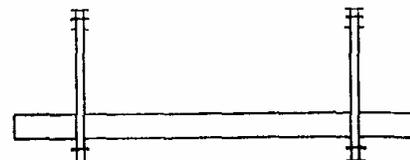
Triple Triple..... (TT)

Con excepción de la Doble Triple y Triple Triple, las diversas modulaciones que se indican anteriormente pueden ser reforzadas acoplando cordones de refuerzo (BB.150) en la parte superior e inferior de cada viga. La modulación reforzada se identifica por la adición de la letra “R”, por ejemplo, Doble Simple Reforzada (DSR). La modulación

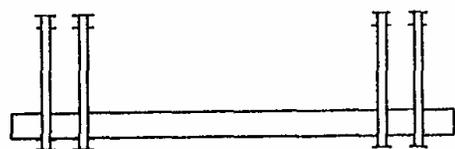
Simple Doble (una viga de dos pisos de altura) no se emplea, ya que este tipo de modulación no es estable cuando se usa en puentes de tablero inferior.



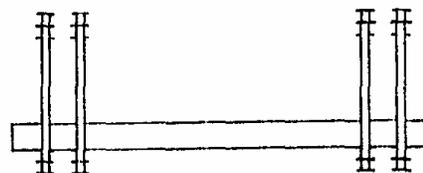
Simple Simple



Simple Simple Reforzado



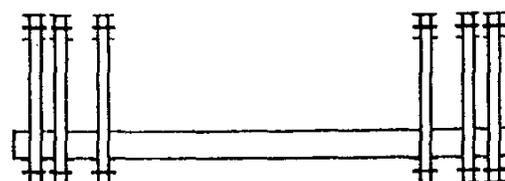
Doble Simple



Doble Simple Reforzado

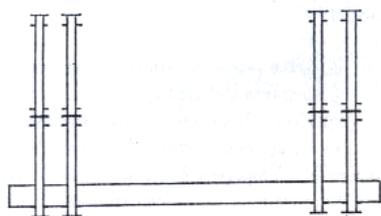


Triple Simple

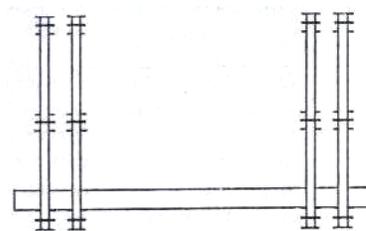


Triple Simple Reforzado

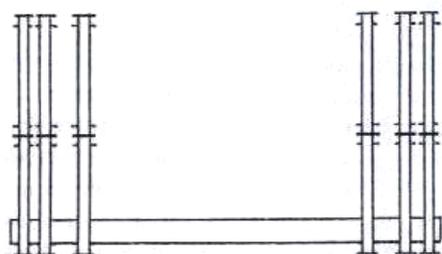
Figura 2.31 Tipos de modulaciones de un panel de altura.



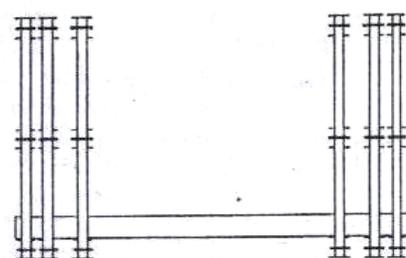
Doble Doble



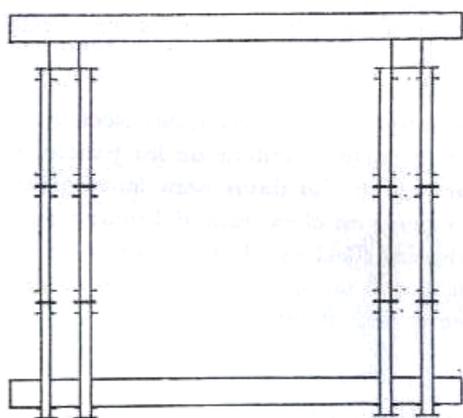
Doble Doble Reforzado



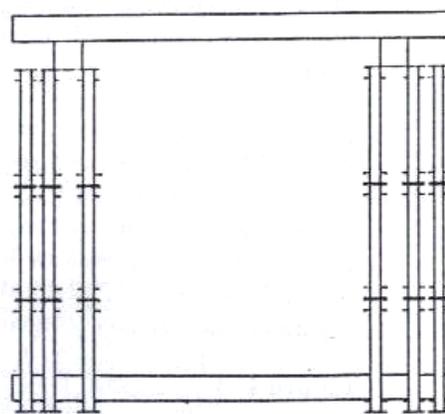
Triple Doble



Triple Doble Reforzado



Triple Triple



Triple Triple Reforzado

Figura 2.32 Tipos de modulaciones de dos o tres paneles de altura.

2.2 Dimensiones de los puentes metálicos modulares.

2.2.1 Dimensiones de puentes Bailey Thos Storey.

Tabla 2.1 Anchos de puentes Bailey de tablero inferior.

ANCHOS DE PUENTES DE TABLERO INFERIOR								
Puente Tipo Tablero Inferior	a		b		C		d	
	F	M	F	M	F	M	F	M
Standard Bailey	18' 0"	5.49	12' 11"	3.94	12' 4"	3.76	10' 9"	3.28
Bailey Standard Ensanchado	20' 0"	6.10	14' 10"	4.52	14' 30"	4.34	12' 6"	3.81
Bailey Standard Ancho	20' 0"	6.10	16' 30"	4.95	15' 80"	4.77	13' 9"	4.19

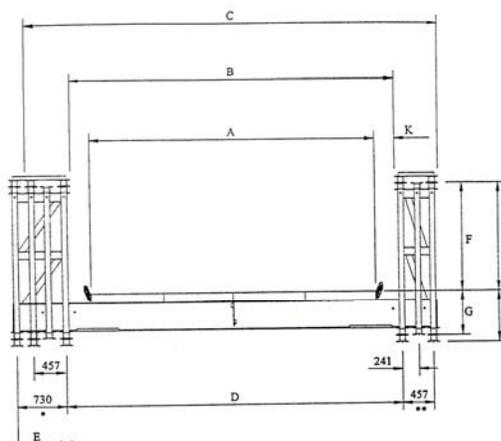
a) Ancho total sin vías para peatones.

c) Espacio libre entre la viga interior.

b) Centros de las Vigas Interiores.

d) Ancho de rodadura.

2.2.2 Dimensiones de puentes Mabey Compact 200.



* CARRIL UNICO = Modulaci3n QS.

DOBLES CARRILES = Modulaci3n SS, DS, TS, QS.

** CARRIL UNICO = Modulaci3n DS, TS.

Tabla 2.2 Dimensiones de puentes Mabey Compact 200.

Dimensiones	Carril Sencillo HS20. HA/MS250				Doble Carril	
	Ancho Estándar (mm)		Extra Ancho (mm)		HS20 (mm)	HA/MS250 (mm)
	Acero	Madera	Acero	Madera	Acero	Madera
A	3150	3320	4200	4120	7350	7350
B	3757	3757	4773	4773	8050	8050
C	3031	5031	6047	6047	-	-
D	3937	3937	4953	4953	8230	8230
E	5577	5577	6593	6593	9870	9870
F	1593	1477	1589	1473	1393	1383
G	643	759	647	763	843	853
H	1695	1579	1691	1575	1495	1485
K	304	219	287	327	350	350
L	802	918	806	922	1001	1011

2.2.3 Dimensiones de Puentes Acrow Panel.

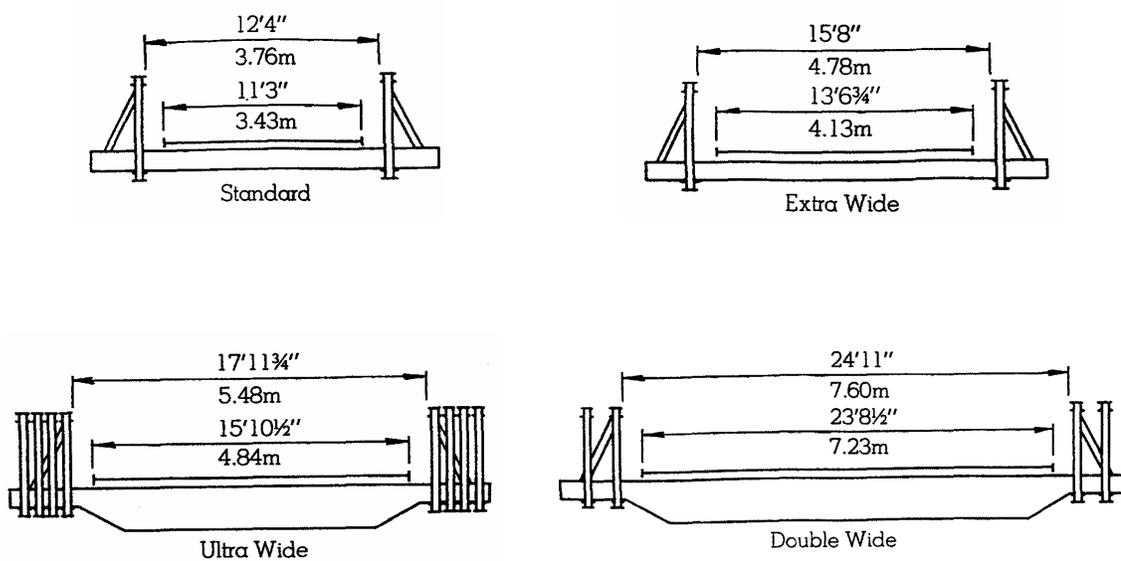


Figura 2.33 Ancho de puentes Acrow panel.

Tabla 2.3 Dimensiones de puentes Acrow Panel.

Width	Roadway Width		Deck Strengths			Deck Materials
Standard (Std)	3.43 m	11' 3"	Light	Heavy	-	Steel or Timber
Extra Wide (EW)	4.13 m	13' 6 3/4"	Light	Heavy	Super Heavy	Steel or Timber
Ultra Wide (UW)	4.84 m	15' 10 1/2"	-	(Heavy)	Super Heavy	Steel
Double Wide (DW)	7.23 m	23' 8 1/2"	Light	Heavy	-	Steel or Timber

2.3.1 Puentes Bailey Thos Storey.

2.3.1 Puente Bailey estándar ensanchado.

Este tipo de puente de tablero inferior tiene un ancho de vía de 12 pies 6 pulgadas (3.80 m), en lugar del ancho de vía de 10 pies 9 pulgadas (3.28 m) del Bailey estándar. El ancho libre entre las vigas maestras es 14 pies 3 pulgadas (4.34 m). Para conseguir este ancho de vía mayor, es necesario reemplazar los siguientes componentes Bailey estándar por otros adicionales como sigue: Travesero (BB.105), en lugar de travesero (BB.5); diagonal de arriostamiento largo (BB. 107), en lugar de diagonal de arriostamiento (BB.15); y tablón largo (BB.106), en lugar de tablón (BB.14). Además, el número de emparrillados planos que se necesitan en cada módulo de 10 pies se aumenta de tres (que se emplean en el Bailey estándar) a cuatro, para soportar la vía más ancha.

Travesero Largo BB.105, ver figura 2.34, es una vigueta de acero laminado de 19 pies 11 pulgadas (6.1 m) de longitud de 12 pulgadas x 5 pulgadas (0.305 m x 0.127 m) los

extremos del cual se han reducido a una sección de 10 pulgadas x 4 ½ pulgadas (0.25 m x 0.12 m) de manera que puedan acomodarse en los paneles de las vigas laterales y se aseguren en su lugar con las diagonales de arriostramiento estándar. El ala inferior a cada lado está perforada para insertar en esos agujeros las espigas de los asientos de travesero del panel. Se proveen cuatro agujeros para permitir una construcción de viga cuádruple. Cerca de cada extremo, en el ala superior, hay una oreja perforada a la cual se acopla la tornapuntas. También, espaciados a lo largo del ala superior hay grapas para acomodar cuatro emparrillados planos y dos emparrillados de botones.

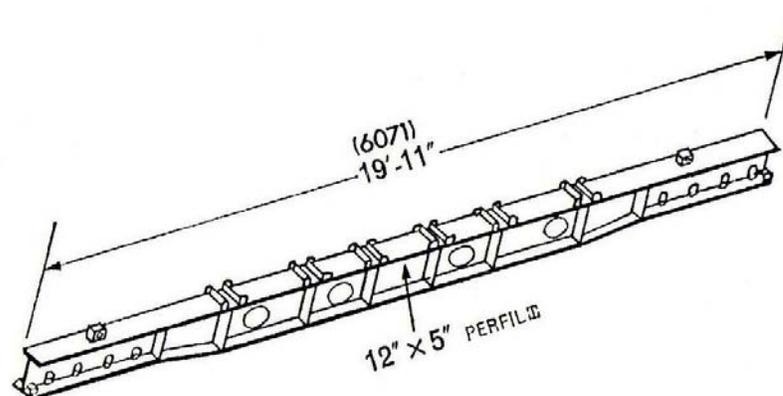


Figura 2.34 Travesero Largo (BB.105).

La Diagonal de Arriostramiento Larga BB.107, ver figura 2.35, es similar a la diagonal de arriostramiento estándar, pero de mayor longitud, siendo la separación entre los centros de los agujeros de los extremos, 16 pies 9 pulgadas (5.1 m). Para hacerla fácilmente distinguible de la diagonal de arriostramiento estándar, se han soldado dos collarines con una franja de pintura amarilla entre ellos.

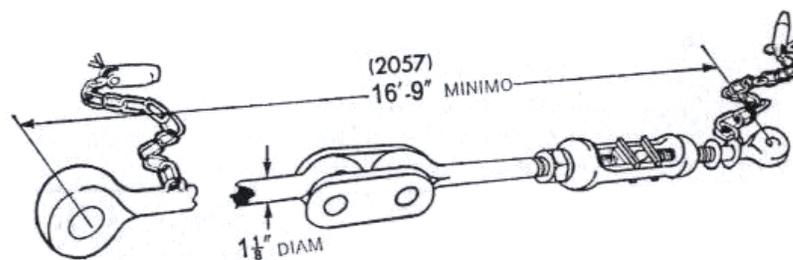


Figura 2.35 Diagonal de Arriostramiento Larga (BB.107).

Tablón Largo BB.106, ver figura 2.36, es similar al tablón estándar, pero tiene 13 pies 8 pulgadas (4.17 m) de longitud. No se debe usar sin agregar una superficie de rodadura.

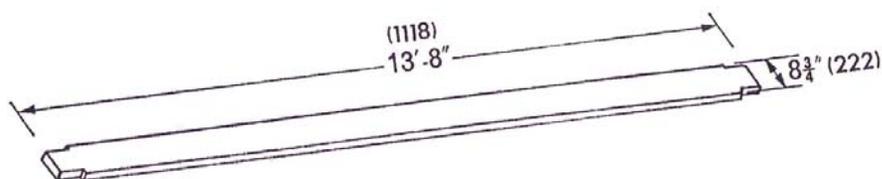


Figura 2.36 Tablón Largo (BB.106).

Puentes de Viga Cuádruple. En los puentes estándar ensanchados puede ser incluida una cuarta viga; que se sitúa entre la primera y segunda viga de los puentes estándar ensanchados. Numerando estas vigas, de dentro hacia fuera, del 1 al 4, sus centros están como sigue: de 1 a 2 pulgadas — 8 ½ pulgadas (0.22 m), de 2 a 3 pulgadas — 9 ½ pulgadas (0.24 m), de 3 a 4 pulgadas — 8 ½ pulgadas (0.22 m).

Con este tipo de modulación, no es posible acomodar tornapuntas, excepto a los traveseros en los postes finales. Por lo tanto, deben colocarse bastidores de arriostramiento en los montantes de panel en todos los pisos. En las vigas cuádruples de

4 traveseros, por módulo, siempre deben emplearse torniquetes de travesero Mk. II (BB.143).

Bastidor de Arriostamiento Ancho especial TSBB.501, ver figura 2.37, se emplea para este propósito, que abarca las cuatro vigas. Este bastidor de arriostamiento ancho, también se emplea horizontalmente sobre los cordones superiores.

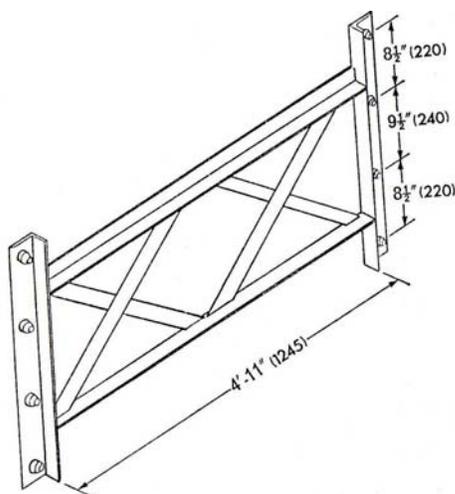


Figura 2.37 Bastidor de Arriostamiento Ancho Especial (TSBB.501).

Bulón de Panel sin Cabeza Especial BB.130, ver figura 2.38, es el bulón normal, BB.4, con la cabeza eliminada, se requiere para unir extremo a extremo los paneles en las vigas 2 y 3.

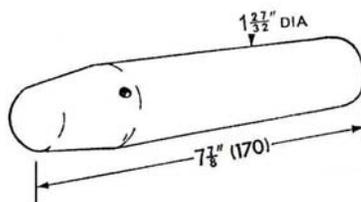


Figura 2.38 Bulón de Panel sin Cabeza Especial (BB.130).

En los extremos del puente, tienen que ser colocados postes finales especiales en la viga No. 2; estos postes finales no tienen compuerta giratoria y permiten que las tornapuntas se acoplen entre el travesero y los postes finales en la viga No.1. El Poste Final Macho es BB.146 y el Poste Final Hembra es BB.147, ver figura 2.39. Estos dos postes finales también se emplean para los Bailey extra anchos.

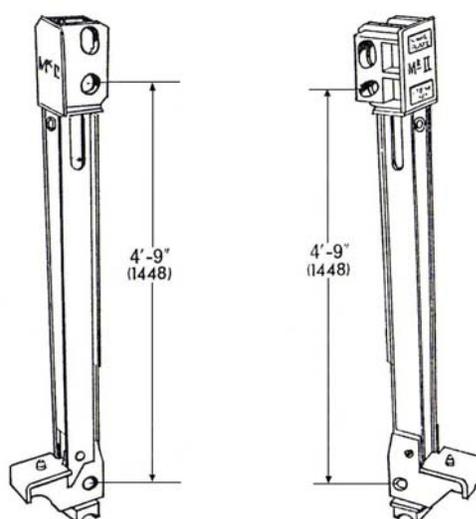


Figura 2.39 Poste Final Macho (BB. 146) y Poste Final Hembra (BB.147).

Puentes Standard Ensanchados con Cordón Reforzado.

Los puentes estándar ensanchados pueden ser con cordón reforzado, exactamente de la misma manera que los Bailey estándar, para obtener modulaciones desde Simple Simple Reforzado a Triple Doble Reforzado. Además, es posible obtener dos tipos extra en estándar ensanchados, esto es, Cuádruple Simple Reforzado y Cuádruple Doble Reforzado. Los cordones de refuerzo en las vigas 2 y 3 se conectan por medio de bulones por sus extremos con bulones de panel sin cabeza.

En los puentes de tres pisos, se empernan soportes de arriostramiento superior BB.73 a los cordones superiores con las orejas para acoplar las diagonales de arriostramiento dirigidas hacia el exterior del puente. Cada diagonal de arriostramiento BB.107, empleada para el arriostramiento superior tiene que tener una Extensión de Diagonal de Arriostramiento BB.51, ver figura 2.40, acoplada en uno de sus extremos para alcanzar los centros de los agujeros de acople en los soportes de arriostramiento superior.

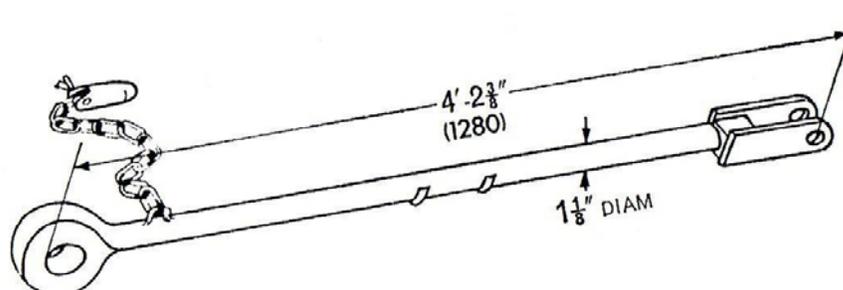


Figura 2.40 Extensión de Diagonal de Arriostramiento (BB.51).

Esta extensión de diagonal de arriostramiento BB.51, es un tramo de varilla de acero que tiene un agujero en un extremo, con un bulón sujeto con cadena. Este es el extremo que se acopla al soporte de arriostramiento superior. El otro extremo de la varilla termina en una horquilla perforada, por la cual, se acopla a la diagonal de arriostramiento empleando el bulón encadenado a la diagonal de arriostramiento. La distancia entre los centros de los agujeros para bulón, es de 4 pies 2 1/8 pulgadas (1.27 m).

Los módulos de los puentes de tres pisos tienen peso de lanzamiento que sobrepasa la capacidad de los rodillos basculantes normales, y en estos casos, debe emplearse la viga de balanceo.

Viga de Balanceo BB.128, ver figura 2.41, comprende dos tramos de vigueta colocados uno al lado del otro a 18 pulgadas entre centros (0.46 m), interconectados por diafragmas. Los diafragmas, pueden ser desempernados y vueltos a situar en posición en las almas de las vigas para casos de embarque. Cada viga tiene en el centro de su ala inferior un apoyo semicircular, por medio del cual se asienta sobre el apoyo de cojinete, BB.19. A cada lado del ala superior de cada tramo de viga, hay un soporte redondo para llevar un rodillo basculante. En esta forma, una viga de balanceo soporta cuatro rodillos, dos de los cuales soportan la viga interior del puente y los otros dos la viga exterior a 18 pulgadas de la primera. Las vigas de balanceo deben estar a 5 pies (1.5 m) enfrente de las posiciones de las placas asiento del puente. Dos juegos de vigas de balanceo (una bajo cada lado del puente) podrán soportar con seguridad una carga de 168 toneladas (358,400 lb).

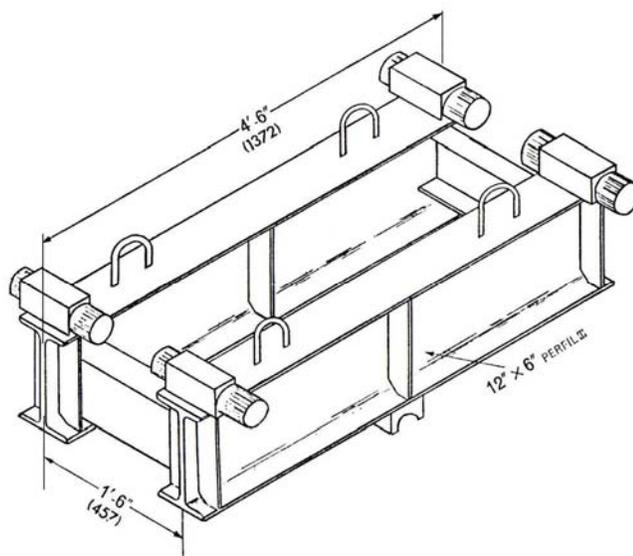


Figura 2.41 Viga de Balanceo (BB.128).

2.3.2 Puente Bailey extra ancho.

Es el más ancho de los puentes de tablero inferior, con ancho de vía de 13 piés 9 pulgadas (4.19m) y ancho libre entre las vigas maestras laterales de 15 piés 8 pulgadas (4.77m). Al igual que con los puentes estándar ensanchados, este ancho mayor de vía se consigue sustituyendo algunos componentes de los puentes Bailey estándar, como los siguientes: travesero E.A. (BB.133) en lugar del travesero estándar (BB.5); diagonal de arriostamiento E.A. (BB.134) en lugar de la diagonal de arriostamiento estándar (BB.15); tablón E.A. (BB.144) en lugar del tablón estándar (BB.14).

La calzada está soportada por cinco emparrillados planos (BB.7) y dos emparrillados de botones (BB.8) en cada módulo de 10 piés del puente. Para distribuir las cargas de las ruedas entre estos emparrillados, el tablón E.A. se hace de 4 pulgadas (0.102 m) de espesor.

Los puentes de vigas dobles y simples, se ensamblan de la misma manera que los Bailey estándar, pero en las vigas triple, la tercera viga se interpone entre la primera y la segunda vigas. Por lo cual, no es posible convertir un puente existente de doble viga a triple viga. Con la tercera viga en su lugar, no es posible acomodar tornapuntas entre el travesero, y en la viga interior, en cambio, se debe colocar bastidores de arriostamiento E.A., BB.140, sobre los extremos de los montantes de panel; también, debido a la proximidad de las vigas, los paneles en la viga central son conectados extremo a extremo con bulones de panel sin cabeza, BB.130, que pueden ser insertados a través del agujero de la viga adyacente, interior o exterior para hacer la conexión de la viga central. Los bulones de panel sin cabeza se mantienen en su lugar por los bulones normales de panel

de las vigas interiores y exteriores y no necesitan estar provistos de pasadores. Cuando se colocan bastidores de arriostramiento E.A. en los montantes de panel en el piso inferior, no se pueden colocar torniquetes de travesero normales; en su lugar usar torniquetes de travesero E.A., BB. 143.

Travesero Extra Ancho (E.A.) BB.133, ver figura 2.42, es un tramo de viga de acero laminado de 19 piés 11 pulgadas (6.1 m) de longitud, 12 pulgadas x 5 pulgadas (0.305 m x 0.127 m), los extremos del cual, se han reducido a una sección de 10 pulgadas x 4 ½ pulgadas (0.25 m x 0.12 m). El patín inferior en cada extremo, tiene tres agujeros, por medio de los cuales el travesero encaja sobre espigas en los asientos de travesero del panel. Cerca de cada extremo del patín superior, hay una oreja perforada a la que se acoplan los tornapuntas. Dispone de accesorios para acoplamiento de la vía para peatones en cada extremo del travesero, igual que en el travesero estándar.

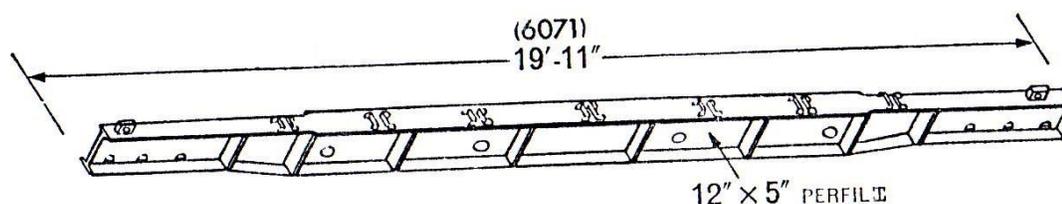


Figura 2.42 Travesero Extra Ancho (BB.133).

Diagonal de Arriostramiento E.A. BB.134, ver figura 2.43, es similar a la diagonal de arriostramiento estándar, pero de mayor longitud, siendo la distancia entre centro de los agujeros de 18 piés 3/36 pulgadas (5.49 m). Para hacerla fácilmente distinguible de la

estándar y de estándar ensanchada, tiene dos collarines soldados, con una franja de pintura roja entre ellos.

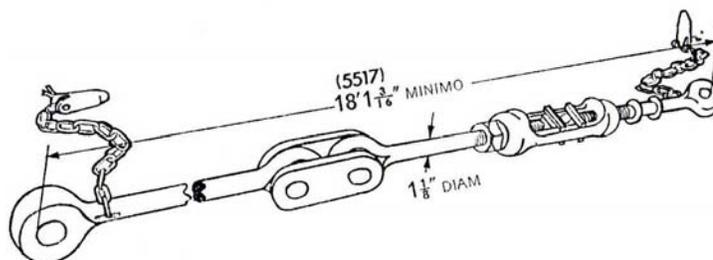


Figura 2.43 Diagonal de Arriostramiento E.A. (BB.134).

Bastidor de Arriostramiento E.A. BB.140, ver figura 2.44, es similar al bastidor de arriostramiento estándar, (BB.2), pero tiene una espiga cónica adicional para adaptarse a la tercera viga. Puesto que esta tercera viga está a una distancia equidistante entre las vigas interior y exterior, el bastidor de arriostramiento E.A. no es reversible. Una letra “T” en alto relieve soldada al marco indica el lado que debe estar dirigido hacia la línea central del puente. En los puentes de doble viga, se sujeta con cuatro pernos de arriostramiento, BB.11; en los puentes de triple viga, se requieren seis pernos de arriostramiento BB.11.

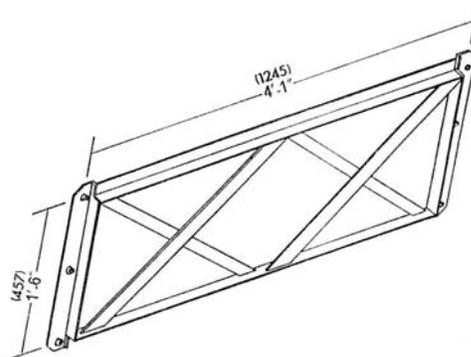


Figura 2.44 Bastidor de Arriostramiento E.A. (BB.140).

Torniquete de Travesero E.A. BB.143, ver figura 2.45, es exactamente similar al torniquete de arriostamiento estándar (BB.6), excepto que la nariz del torniquete pasa a través del montante del panel, está recortada para no interferir con los bastidores de arriostamiento montados verticalmente.

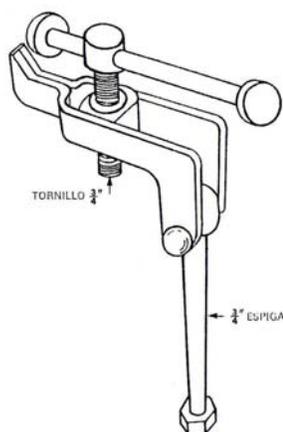


Figura 2.45 Torniquete de Travesero E.A. (BB.143).

Tablón E.A. BB.144, ver figura 2.46, es una pieza de madera tratada o muy dura, de 14 pies 11 pulgadas (4.54m) de largo, generalmente de 4 pulgadas (0.102m) de espesor, pero recortado en sus extremos a 2 pulgadas (0.051m) de espesor donde las trincas guardalados descansan en ellas, de manera que estas últimas puedan sujetarse a los largueros con los pernos de trinca estándar BB.10.

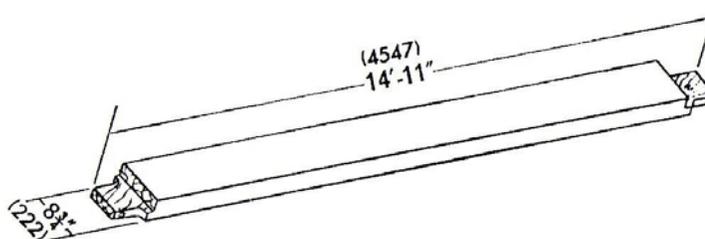


Figura 2.46 Tablón E.A. (BB.144).

Postes Finales E.A. Macho BB.146 y Hembra BB.147, son similares a los postes finales estándar (BB.62 y 63), excepto que les han suprimido la compuerta giratoria normalmente suministrada, para sujetar el travesero en su lugar. Esta supresión permite colocar un tornapunta entre un travesero en los postes finales y el poste final de la viga interior.

2.3.3 Puentes Bailey con tablero de acero.

El sistema Bailey Storey de unidades de tablero de acero, prefabricadas, fue desarrollado originalmente para permitir que los puentes Bailey soporten el total de la carga establecida por el ministerio de transporte británico para puentes estándar. Los puentes Bailey así contruidos, forman una estructura permanente como cualquier otro tipo de puente de acero. Esta carga está basada en un tren de ejes de cargas de rueda 11 ¼ toneladas (25,000 lb), por eso, los emparrillados y el tablero de madera normales (proyectados para cargas de rueda de seis toneladas) no se pueden usar. Los traveseros de puentes Bailey estándar, estándar ensanchado y extra ancho, tienen que ser suministrados con ligeras modificaciones; se omiten los descansos para los emparrillados y se colocan topes de tipo ajustable, cerca de cada extremo de los patines superiores. Estos sujetan fuertemente las unidades de tablero de acero, manteniéndolas juntas.

Las diversas unidades de tablero de acero, se acoplan a los traveseros por medio de una serie de monturas, equipadas con abrazaderas que aseguran que el tablero y los traveseros trabajen como una sola unidad. Con estas abrazaderas, los traveseros tienen la

suficiente rigidez para permitir soportar las pesadas cargas axiales. Normalmente, los extremos de las unidades de tablero, están provistas de dientes para proporcionar una mejor distribución de la carga sobre los traveseros.

El tablero proyectado, ha sido diseñado para recibir una capa de asfalto o material similar para caminos. Esta debe aplicarse, para desaguar el agua, de 1 ½ pulgadas (0.038 m) de espesor al centro del camino, rebajándola a 1 pulgada (0.025 m) de espesor en cada lateral.

El tablero de acero puede tenderse en tres formas, según el número de traveseros colocados en cada módulo del puente, como sigue:

Cuando tiene que ser soportada la carga máxima total, el puente debe ser construido con cuatro traveseros por módulo, esto es, uno en cada posición de asiento disponible de cada panel y uno en los postes finales de un extremo. A lo ancho de la vía, las unidades de tablero terminan alternadamente sobre los dos traveseros colocados en los montantes finales de dos módulos adyacentes (esto es, en cada lado de la junta de bulones de panel), quedando los extremos provistos de dientes a cada 12 pulgadas (0.305 m). A un extremo del puente se presenta un solo travesero. Este debe ser sólidamente calzado en su parte media para soportar la carga pesada.

Cuando las cargas axiales están limitadas al máximo de 12 ½ toneladas (28,000 lb) pero todavía es recomendable disponer dientes en los extremos de las unidades de tablero, los puentes se construyen con tres traveseros, uno en cada montante final del panel, uno en el montante central y uno en los postes finales de un extremo.

En instalaciones semipermanentes, para sólo cargas livianas y no se considere necesario endentar las unidades, los puentes pueden construirse con solo dos traveseros por modulo, uno en el montante extremo, uno en el montante central de cada panel y uno en los postes finales de un extremo.

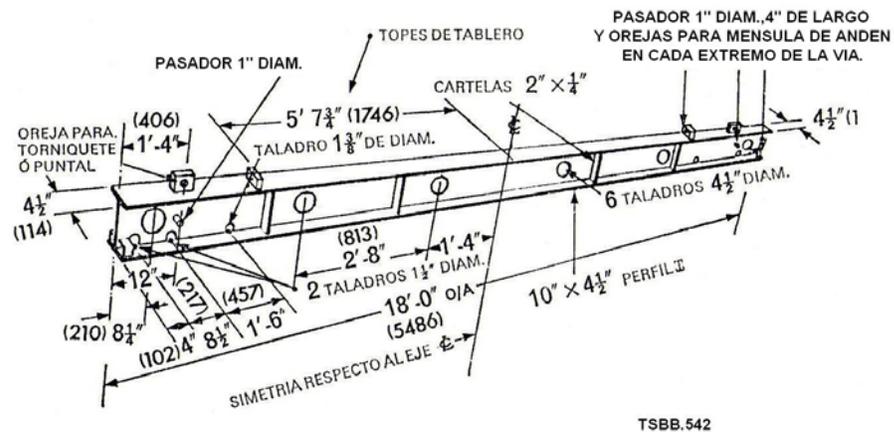
Con cuatro traveseros por módulo, es posible tener un travesero en los postes finales a ambos extremos del puente y disponer el tablero de acero de forma que comience y termine sobre dos traveseros. Esto acarreará dificultades en la construcción y se tratará como un caso especial.

Componentes necesarios para construir Puentes Bailey con Tablero de Acero.

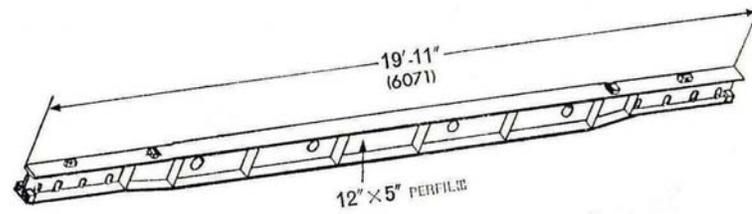
Traveseros, ver figura 2.47.

Travesero para Tablero de Acero Standard	TSBB.542
Travesero para Tablero de Acero Standard Ensanchado.....	TSBB.543
Travesero para Tablero de Acero Extra Ancho.....	TSBB.544

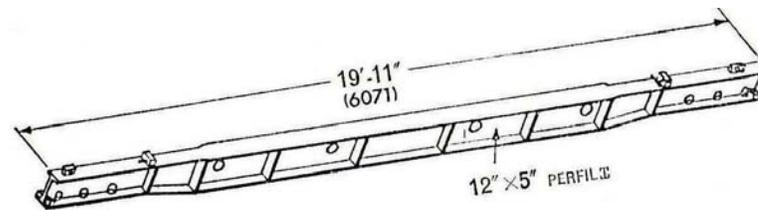
Estos traveseros reemplazan a los traveseros correspondientes empleados con tablero de madera, BB.5, BB.105 y BB.133. Son similares a los traveseros para tablero de madera, pero se han omitido las grapas para los emparrillados y se han colocado abrazaderas de tipo ajustable.



TSBB.542



TSBB.543



TSBB.544

Figura 2.47 Traveseros (TSBB.542), (TSBB.543) y (TSBB.544).

Monturas. Hay dos juegos de monturas disponibles. Un juego (del número 6 al No. 10) que está diseñado para fijarse en el patín ancho, de 4 ½ pulgadas, del travesero estándar. El otro juego (del No. 1 al No. 5) está diseñado para fijarse en el patín ancho, de 5 pulgadas, de los traveseros estándar ensanchados y extra anchos.

Empleando cuatro traveseros por módulo, ver tabla 2.4, se necesitan las siguientes monturas:

Tabla 2.4 Juegos de monturas utilizando cuatro traveseros por modulo.

Monturas	Estándard Bailey No.	Estándard Ensanchado y Extra Ancho No.
Para los Traveseros Dobles (uno en los postes finales) al extremo del puente	9	4
Para un travesero Simple al extremo del puente	10	5
Para cada par de traveseros alrededor de cada montante central de panel	6	1
Para cada par de traveseros en la unión de bulón de panel	7	2

Empleando tres traveseros por módulo, se utilizan las mismas monturas que para cuatro traveseros por módulo, excepto, que el travesero simple en el montante central, requiera lo siguiente:

Para Bailey estándar.....Monturas No. 8

Para Bailey estándar ensanchados y extra anchosMonturas No. 3

No se necesitan las monturas No. 1 y No. 6.

Empleando dos traveseros por módulo, ver tabla 2.5, se necesitan las siguientes monturas:

Tabla 2.5 Juegos de monturas utilizando dos traveseros por modulo.

Monturas	Estándard Bailey No.	Estándard Ensanchado y Extra Ancho No.
Para el travesero a cada extremo del puente	10	5
Para todos los otros traveseros en el resto del puente	8	3

Las monturas No. 4, 5, 9 y 10 que se emplean solamente en cada extremo del puente pueden ser fácilmente identificables del resto de las monturas, ya que llevan incorporados un apoyo semicircular.

Los números de piezas de las distintas monturas son:

Montura No.1 TSBB.589.	Montura No.6 TSBB.596 .
Montura No.2 TSBB.590.	Montura No.7 TSBB.597.
Montura No.3 TSBB.591.	Montura No.8 TSBB.598.
Montura No.4 TSBB.592.	Montura No.9 TSBB.599.
Montura No.5 TSBB.595.	Montura No.10 TSBB.600.

Unidades de Tablero. La unidad básica de tablero, es una sección fabricada de 1 pié 2 pulgadas de ancho (0.356 m), 6 pulgadas (0.152 m) de altura y 10 piés (3.05 m) de largo. Cada unidad tiene un sistema de muescas distribuidas a lo largo de cada lado, “Macho” a un lado y “Hembra” en el otro, de manera que cuando se acoplan lado a lado, las unidades se intercalan. En un extremo una lengüeta saliente cubre las uniones de extremo a extremo.

Unidad de Tablero de 10 piés TSBB.533, se emplea en todo el tablero del puente, excepto cuando se presenta alguna de las siguientes unidades:

Unidad de Tablero de 11 piés TSBB.536, se emplea solamente en el primer módulo del puente, alternando con las unidades de tablero de 10 piés a través del ancho, de modo que todas las uniones internas estén endentadas.

Unidad de Tablero de 9 piés TSBB.618, se emplea en el último módulo del tablero, para compensar las unidades de 11 piés, usadas en el primer módulo.

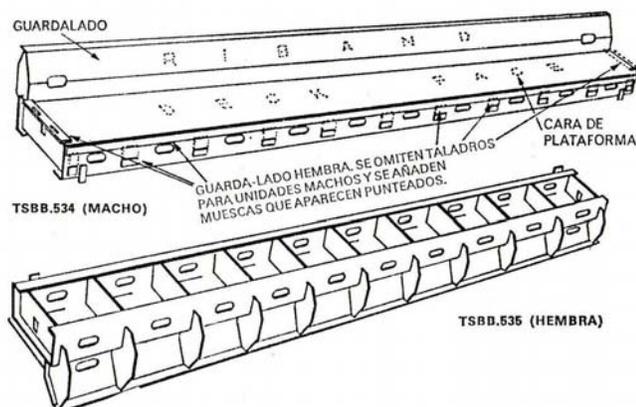


Figura 2.48 Unidades de Tablero (TSBB.534) y (TSBB.535).

La unidad de guardalado, normalmente de 10 piés de largo, es similar a la unidad de tablero de 10 piés, pero tiene soldada un borde de plancha. Se necesita una unidad de guardalado a cada lado del puente en cada módulo. Puesto que todas las unidades de tablero tienen muescas macho y hembras a lo largo de sus lados, una unidad de guardalado tiene que tener muesca macho a lo largo del lado que se acopla a las unidades de tablero interno; la otra unidad de guardalado tiene que tener muescas hembra. Se necesitan dos tipos en cada módulo de puente:

Unidad de Guardalado, MachoTSBB.534

Unidad de Guardalado, Hembra..... TSBB.535

En el caso especial en que el tablero se extiende sobre el travesero en los postes finales de ambos extremos, no se emplean unidades de 9 piés de largo, siendo reemplazadas por unidades de 11 piés de largo, en el último módulo. Las unidades de guardalado macho y

hembra, en este último módulo, también tienen que ser de 11 pies para este caso, se necesitan 2 unidades de guardalado: *Unidad de Guardalado Macho, TSBB.537* de 11 pies y *Unidad de Guardalado Hembra, TSBB.538* de 11 pies.

En cada extremo del puente, se acoplan componentes especiales para retener el asfalto. Estos componentes se llaman “Topes de Asfalto”. Se dispone de dos tipos: el *Tope de Asfalto Largo, TSBB.593* y el *Tope de Asfalto Corto, TSBB.594*, ver figura 2.49. El tope de asfalto largo se extiende a través del ancho de cuatro unidades de tablero; el tope de asfalto corto se extiende a través del ancho de tres unidades de tablero.

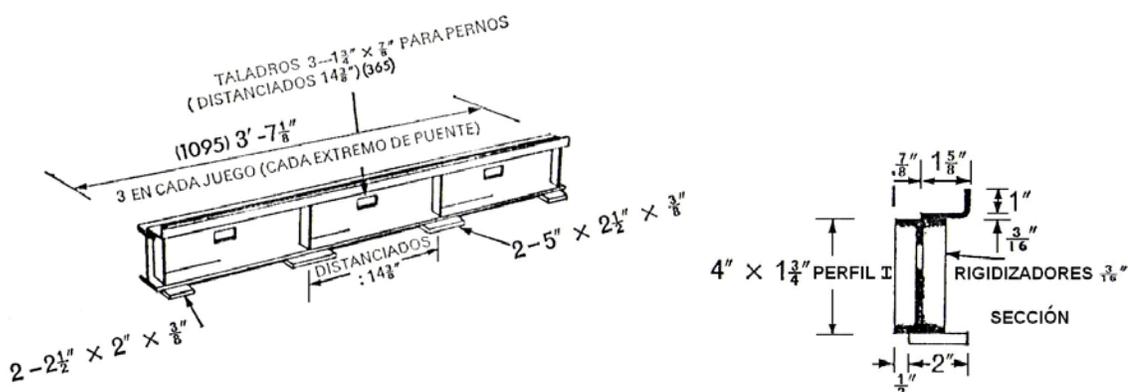


Figura 2.49 Tope de Asfalto Corto (TSBB.594).

Cada tope de asfalto comprende un tramo de vigueta; en el patín inferior, hay acoplada una serie de placas de apoyo, estas se asientan sobre los apoyos semiredondos de las monturas finales (No. 4, 5, 9 y 10). Una plancha con pestañas acoplada en el patín superior de la viga, constituye el tope de asfalto. Una serie de agujeros rectangulares se presentan en el alma de la vigueta, correspondiéndose cada uno de ellos con un agujero similar en el diafragma final de una unidad de tablero. Los *Pernos de Guardalado No. 2*,

TSBB.504, ver figura 2.50, insertados a través de estos agujeros dentro de las unidades de tablero, aseguran los topes de asfalto en su lugar.

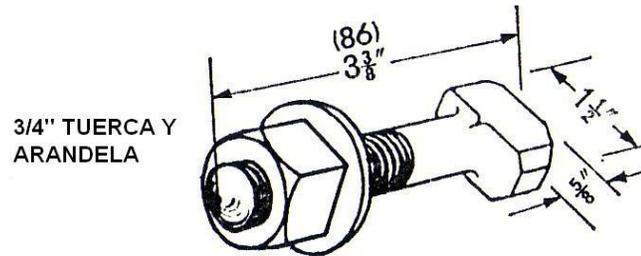


Figura 2.50 Perno de Guardalado No. 2 (TSBB.504).

En los puentes de tablero “estándar”, cada módulo de puente necesita siete unidades de tablero y dos unidades de guardalado. El ancho de la vía entre guardalados es de 10 pies 5 pulgadas (3.175 m). El aumento en el peso muerto por paño de tablero de acero y asfalto sobre el tablero normal de madera es de 0.9 toneladas (2,016 lb) por módulo. (Espesor promedio de asfalto 1 ¼ pulgadas (32 mm)).

2.3.4. Puentes Bailey de tablero superior.

Cuando se requiere un ancho de rodadura mayor que 13 pies 9 pulgadas (4.2 m), no es posible acomodar éste entre las vigas maestras de un puente Bailey de tablero inferior, excepto empleando traveseros especialmente diseñados para este fin. La alternativa es, construir un puente de tablero superior, donde los traveseros normales y los componentes de la plataforma sean colocados encima de varias vigas Bailey que forman las vigas principales. El ancho de la plataforma está determinado entonces por la longitud del travesero. Así, el ancho máximo de la plataforma usando el travesero,

estándar Bailey BB.5, o TSBB.542, es 18 piés (5.48 m). Usando traveseros estándar ensanchados, BB.105 o TSBB.543, el ancho máximo es de 20 piés (6.10 m). Los traveseros extra anchos son rara vez usados, ya que ellos no muestran ventaja sobre el tipo estándar ensanchado.

Es posible construir varios de tales puentes, uno al lado del otro, de manera que el ancho que puede lograrse es virtualmente ilimitado. Tales puentes pueden construirse con plataforma de madera o acero.

En puentes de tablero superior de un solo piso, la plataforma está a 7 piés 3 pulgadas (2.2 m) de la parte inferior de sus apoyos; en puentes de doble piso, esta dimensión se incrementa a 12 piés 4 pulgadas (3.76 m). Este tipo de puentes debe limitarse, siempre que sea posible, a un solo piso, no sólo por el problema de la altura libre bajo el puente, sino, debido al problema de bajarlo con gatos. En el caso de un puente de doble piso, la altura que ha de ser bajada con gatos es 10 piés (3.05 m).

Las diferentes armaduras de las vigas principales son normalmente espaciadas hacia fuera, en la misma forma que los puentes estándar y estándar ensanchados del tipo de tablero inferior. Usando traveseros estándar, es posible colocar armaduras adicionales espaciadas, a través del ancho completo del puente; en muchos casos, adoptando esta disposición, será posible que el puente sea mantenido en construcción de un solo piso. Es más difícil adoptar este sistema con traveseros estándar ensanchados, puesto que éstos no son de altura constante.

Puentes de Tablero Superior de Ancho de Simple Unidad. Estos puentes tienen un juego de traveseros, a través de su ancho, y para construirlos, se requieren los siguientes componentes adicionales:

Cordón de Refuerzo Superior de Plataforma Lisa TSBB.527, ver figura 2.51, este es similar al cordón de refuerzo normal, BB.150, además, tiene cuatro asientos de traveseros en su cara superior, espaciados a la misma distancia entre centros, que los asientos de traveseros del panel. Por lo tanto, es muy similar, en apariencia, al cordón inferior del panel. Es empernado con pernos de cordón, en el cordón superior de cada panel soportando los traveseros de la plataforma.

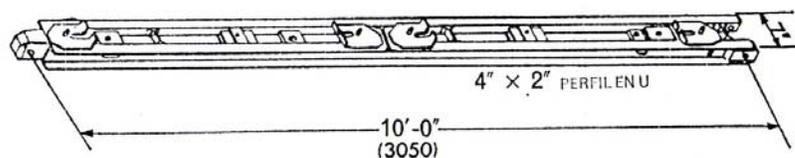


Figura 2.51 Cordón de Refuerzo Superior de Plataforma Lisa (TSBB.527)

Emparrillado Central de Plataforma Lisa TSBB.566, ver figura 2.52, se usa en puentes de tablero superior de madera. Es más ancho que el emparrillado normal, estando compuesto de cuatro viguetas, en vez de tres. Una vigueta exterior lleva una serie de botones, similar a aquellos en el emparrillado de botones, BB.8. Desde la parte inferior de este emparrillado, se proyecta una armazón que termina en cuatro espigas cónicas, los cuales se sitúan en los cordones superiores de dos paneles a 2 pies 2 ½ pulgadas (0.67 m) entre centros de los orificios, normalmente ocupados por el bastidor de arriostamiento. Estos son acoplados por pernos de arriostamiento, BB.11. Este

componente, hace tres funciones simultáneamente: soporta la plataforma de madera, impide el vuelco de los traveseros y por medio de los pernos de arriostamiento, engrapa los traveseros a los cordones superiores de las armaduras.

Puesto que la plataforma de los puentes de tablero inferior, normalmente se extienden a un travesero en los postes finales de cada extremo, es necesario disponer, en un extremo, un tramo de plataforma de 11 piés (3.35 m). Un *Emparrillado Central de Plataforma Lisa de 11 piés TSBB.567*, es suministrado con este fin.

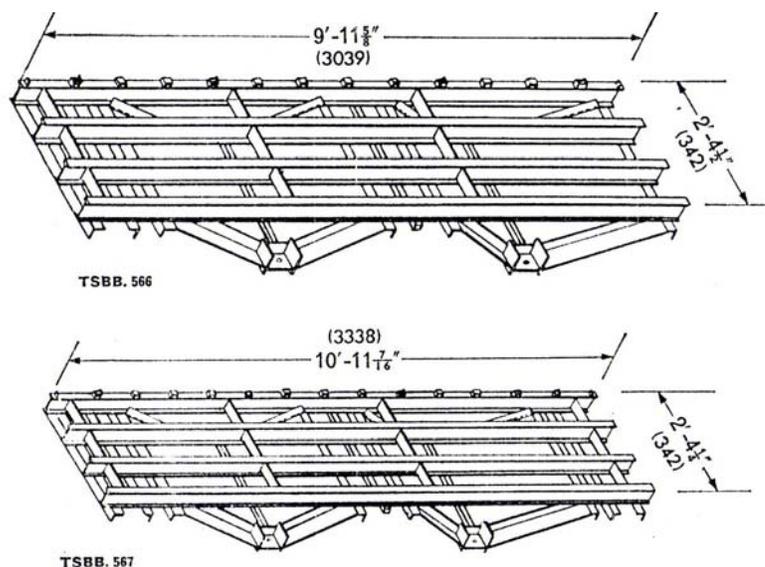


Figura 2.52 Emparrillado Central de Plataforma Lisa (TSBB.566 y TSBB.567).

Poste Final de Plataforma Lisa, Macho TSBB.568 y hembra TSBB.569, ver figura 2.53, toman el sitio de los postes finales normales de los extremos de los puentes de tablero superior. Estos postes finales son unos marcos de acero que tienen en un lado dos huecos para bulón en la parte superior e inferior, para acoplar al panel y sus cordones de refuerzo superior e inferior. El otro lado, es similar al extremo vertical del panel y tiene

agujeros para aceptar bastidores de arriostramiento y tornapuntas. Un asiento de travesero se coloca en el cordón inferior y otro asiento de travesero en la parte superior de la cabeza del poste soporta el travesero final de la plataforma del puente. Este último está provisto de grapas de ala, empernadas, que anclan al travesero en posición. Un apoyo semiredondo en la parte inferior del poste, permite a éste sentarse en el apoyo de cojinete de Puente Bailey, BB.19. Para puentes de dos pisos, *Extensiones de Poste Final, Macho TSBB.580 y Hembra TSBB.581*, también deben fijarse. Cuando el puente de tablero superior es de construcción Simple Simple, se requiere un *Braquete Tornapuntas de Plataforma Lisa, especial, TSBB.625*. Este se emperna al patín inferior del travesero de la plataforma a cada extremo y permite que el tornapuntas normal, BB.3, sea acoplado entre el travesero de la plataforma y el hueco inferior en el montante del panel.

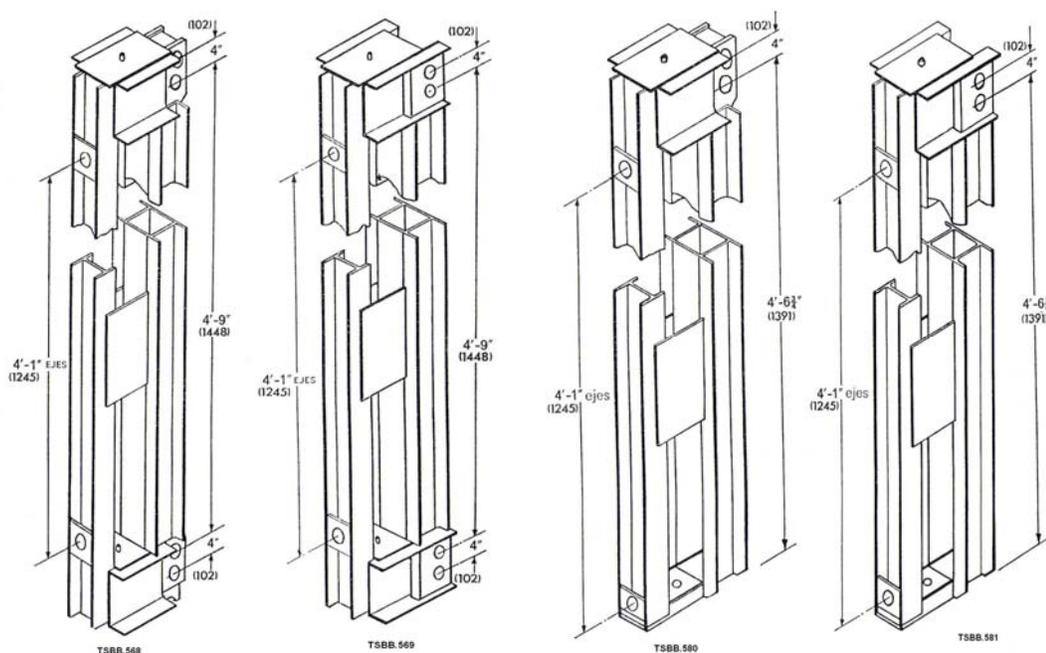


Figura 2.53 Poste Final de Plataforma Lisa, Macho y hembra (TSBB.568 y 569) y Extensiones de Poste Final, Macho y Hembra (TSBB.580 y 581).

Travesero-Marco de la Plataforma de Acero TSBB.560, ver figura 2.54, tiene como misión impedir el vuelco de los traveseros y engraparlos a los cordones superiores de las armaduras. Este comprende un tramo de angular, en cuya cara vertical, le soldan muescas para permitirle encajar con las unidades de tablero de acero de cada lado. Un marco pendiente termina en dos espigas cónicas, por medio de las cuales se acopla al cordón superior de una armadura con pernos de arriostramiento. En un extremo del puente, conteniendo un tramo de 11 piés de plataforma, se dispone un *Travesero-Marco del Tablero de Acero, TSBB.561* de 11 piés (3.35 m).

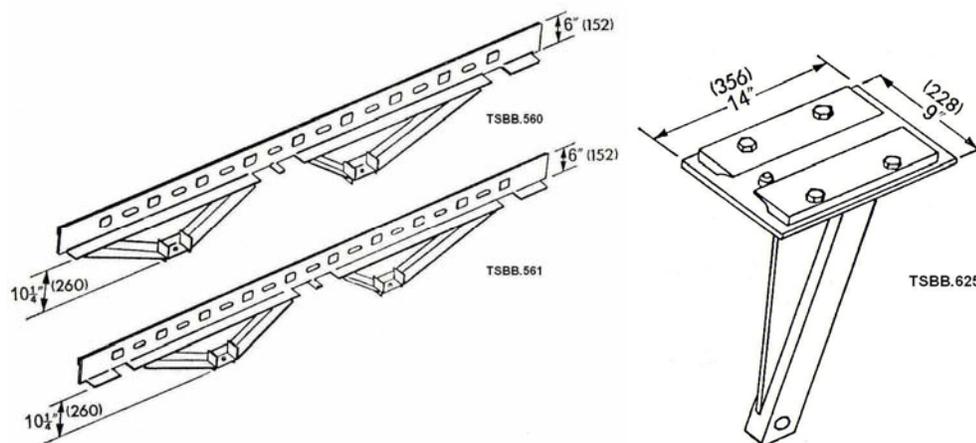


Figura 2.54 El Travesero-Marco de la Plataforma de Acero (TSBB.560 y TSBB.561).

Los anteriores, son los únicos componentes adicionales requeridos para construir este tipo de puente de tablero superior, excepto, que se requieren tableros de madera, especiales para los tipos de plataforma de madera. Adicionalmente, en todas las construcciones que no sean Simple Simple, usar el bastidor de arriostramiento ancho,

TSBB.501. Así, para Doble Simple, las dos armaduras deben espaciarse a 2 pies 2 ½ pulgadas (0.67 m) entre centros, para obtener mejores características de estabilidad.

Puentes de Tablero Superior de Ancho de Múltiples Unidades. En su forma más común, este tipo consta de dos unidades de puente, una al lado de la otra. Con esta disposición, se pueden obtener anchos de rodadura hasta de 33 pies (10 m). Las armaduras de vigas maestras laterales adyacentes son enlazadas para formar una viga maestra central común y, frecuentemente se emplea un panel de segundo piso sobre las vigas maestras exteriores para formar un parapeto. Los traveseros de la plataforma, también son conectados, extremo a extremo, donde ellos topan sobre la línea central.

Cuando este tipo de puente va a tener plataforma de madera, los tablones no se extienden a todo el ancho, ya que esto no sería práctico, pero son unidos y engrapadas a lo largo del centro. Cuando se usa plataforma de acero, se requieren unidades especiales en la línea central. Para este tipo de puente, se requieren los siguientes componentes adicionales:

Travesero de 18 pies (5.49 m) para Plataforma Lisa, Tablero de Madera, TSBB.621.

Travesero de 18 plés (5.49 m) para Plataforma Lisa, Tablero de Acero, TSBB.622. (ver figura 2.55).

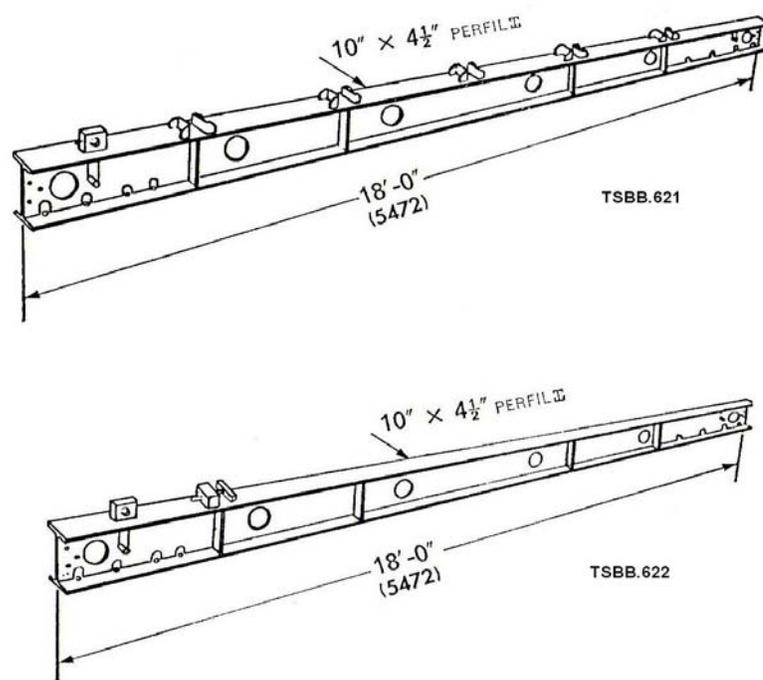


Figura 2.55 Travesero de 18 piés (5.49 m) para Plataforma Lisa, tablero de madera TSBB.621 y tablero de acero TSBB.622.

Estos dos traveseros son similares a los traveseros estándar BB.5 y TSBB.542, pero tiene además un grupo de tres huecos en el alma de cada extremo, por los cuales ellos pueden ser conectados extremo a extremo.

Travesero de 20 piés (6.10 m) para Plataforma Lisa, Tablero de Madera, TSBB.623.

Travesero de 20 piés (6.10 m) para Plataforma Lisa, Tablero de Acero, TSBB.624. (ver figura 2.56).

Estos dos traveseros son similares a los traveseros estándar ensanchados, BB.105 y TSBB.543, pero adicionalmente tienen un grupo de tres huecos en cada extremo, por los cuales pueden ser conectados extremo a extremo.

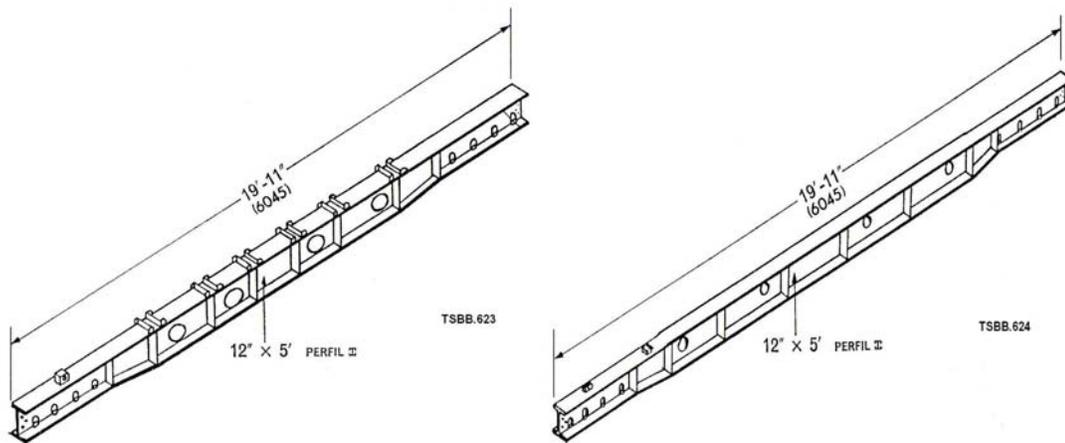


Figura 2.56 Travesero de 20 pies (6.10 m) para Plataforma Lisa, tablero de madera TSBB.623 y tablero de acero TSBB.624.

Platabanda de Travesero TSBB.575, ver figura 2.57, es una plancha que tiene un grupo de tres huecos y un grupo de tres espigas cónicas ahuecadas. Estas planchas se usan siempre en pares, para conectar traveseros extremo a extremo. Son ensambladas una a cada lado del alma de los traveseros, de tal manera, que las espigas de una, encajen en los huecos de la otra. Así, los traveseros son contenidos completamente entre seis espigas. Cada par de platabandas requiere seis pernos de Arriostramiento, BB. 11.

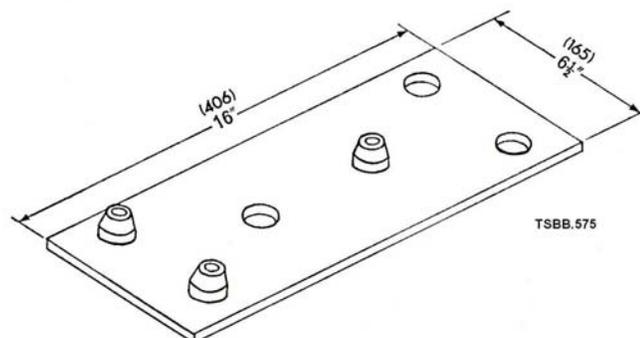


Figura 2.57 Platabanda de Travesero (TSBB.575).

Bastidor de Arriostamiento de Viga Maestra Central TSBB.576, ver figura 2.58, este es un marco de acero, de fabricación muy robusta, que tiene ocho espigas huecas cónicas, dispuestas a lo largo de su miembro superior y un juego correspondiente de espigas a lo largo del miembro inferior. Así, éste puede ser usado para conectar entre ellos hasta ocho paneles. Se usa para enlazar las armaduras que forman la viga maestra central común y se acopla verticalmente a los paneles, requiriendo dos pernos de arriostamiento, BB.11, para cada armadura, a la que también se acopla.

Para puentes de plataforma de madera, los tablones deben ser similares al tablón E.A., es decir, de cuatro pulgadas (0.10 m) de espesor, reducidas a cada extremo a 2 pulgadas (0.05 m). A lo largo del centro del puente, se usan dos emparrillados especiales de plataforma lisa (TSBB.566), empernados a la armadura, con sus botones al centro del puente para localizar los extremos de los tablones.

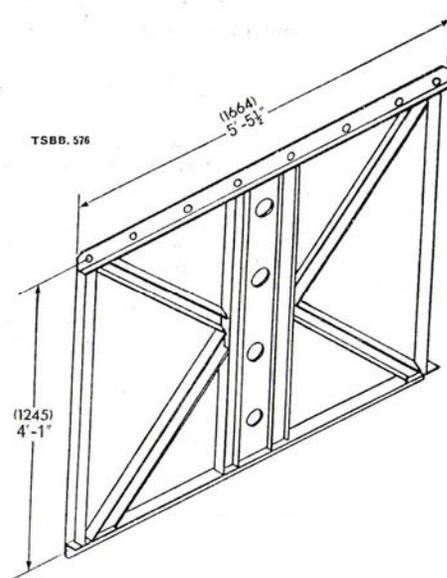


Figura 2.58 Bastidor de Arriostamiento de Viga Maestra Central (TSBB.576).

Los extremos de los tablonos están sujetos, y la luz entre ellos se cubre con unidades de *Tablero de Madera de Plataforma Lisa*, especial. Este componente, *TSBB.582*, es un perfil 1, de acero dulce, de 10 piés, acoplado a al patín superior. El canal se sitúa a través de los traveseros, y la madera se coloca sobre las dos pulgadas de espesor de los tablonos. Cuatro huecos avellanados en esta madera coinciden con los cuatro botones del emparrillado y la unidad se engrapa con cuatro pernos de trinca No. 2, *TSBB.504*. En un extremo del puente, donde hay un tramo de 11 piés, se usa una unidad de *Tablero de Plataforma Lisa*, *TSBB.583*. Hay que tener en cuenta, que se requieren estas unidades, a razón de dos por tramo de puente, estando colocadas espalda con espalda, bajo la línea central. Donde se requieran paneles para formar un parapeto, ellos deben ser fijados en la posición de la armadura interior de las vigas maestras exteriores, reemplazando los cordones de refuerzo superiores especiales, en esa posición. Los traveseros de plataforma, entonces, se asegura a ellos, con torniquetes de traveseros normales. Cuando se usa una construcción de cuatro traveseros por tramo, uno de los traveseros del par, en el montante central, no puede ser así engrapado. En este caso, un *Torniquete de Travesero Doble, especial*, *TSBB.626*, se usa a través de este par de traveseros, conectado a los asientos del travesero de los cordones de refuerzo superiores de las vigas exteriores. Con este tipo de construcción, por lo tanto, los emparrillados especiales de plataforma lisa se usan solamente a razón de dos por módulo, sobre la viga maestra central común.

Para puentes de plataforma de acero, a la viga maestra común, se fijan dos traveseros marco. A lo largo de la línea central del puente se requieren dos unidades especiales de

tablero en cada célula. Estas son *Unidad de Tablero de Plataforma de Acero, TSBB.558*, en el módulo de 10 piés y *Unidad de Tablero de Plataforma de Acero de 11 piés, TSBB.559*, en el módulo de 11 piés. Estas unidades tienen una pletina de acero, situada a lo largo de u borde y las unidades se colocan, de modo que estos bordes estén sobre la línea central del puente, donde ellas actúan como un calibrador, conteniendo el asfalto, que es colocado en dos fajas independientes, una en cada medio ancho del puente. En puentes con más de dos unidades de ancho, es esencial tener tales juntas de construcción en el asfalto, ya que no es posible colocar el asfalto continuamente en grandes áreas. La construcción de puentes de tipo de unidades múltiples, es raramente una operación de lanzamiento directo. Puesto que depende mucho de las condiciones actuales del lugar, equipo y mano de obra disponible, etc. Cada problema debe ser tratado particularmente.

2.3.5 Puentes de varios vanos.

Para tramos de grandes luces, la estructura que resulta es antieconómica, y es necesario incorporar pilas intermedias para instalar el puente de varias luces. La posición de cada pila intermedia queda, a menudo, en función de la geología, topografía del lugar, el costo de construcción del puente, así mismo, la cantidad de ellas.

Puentes de Vigas Continuas. En este tipo de puente, los paneles que forman las vigas maestras se unen uno a uno por sus extremos por medio de bulones de panel a todo lo largo del puente, que puede tener uno o más puntos de apoyo. Este sistema tiene la ventaja que cuando los claros son aproximadamente de igual longitud, los momentos de flexión que se presentan son menores que lo que si todos los tramos fueran simplemente

apoyados. Esto representa un considerable ahorro en el número de paneles (y cordones de refuerzo) requeridos. Requiere cuidado especial, que todos los soportes se construyan exactamente a la altura debida y que los cimientos de estos soportes se proyecten para resistir las cargas máximas absolutas posibles, sin lugar a que se hundan. Cuando esta condición no pueda garantizarse, se evitará la construcción de un puente de viga continua. El hundimiento de un soporte, es el peligro inherente en todas las estructuras de vigas continuas, ya que a menudo causa sobreesfuerzos en algunos de los miembros de la viga.

En un puente Bailey, los únicos componentes adicionales requeridos son las vigas de distribución y las placas de unión de viga de cumbrera. En este caso, el puente se proyecta de acuerdo con las especificaciones que siguen:

Puentes de Tramos Articulados. El término “tramo articulado” se emplea para describir un puente de luces múltiples, en el cual, aunque el tablero es virtualmente continuo de un extremo a otro, las vigas maestras son “articuladas” en cada soporte. Se introducen articulaciones en las vigas maestras, en cada soporte, de tal manera que las vigas que soportan cada tramo individual reaccionan independientemente una de otra, conforme las cargas se vayan moviendo sobre ellas, constituyendo una serie de tramos simples.

Con vigas maestras de paneles Bailey, las articulaciones se consiguen incorporando componentes de uniones de tramos en cada soporte. Puesto que el método normal del tendido de puentes Bailey es por lanzamiento de los tramos hacia adelante sobre rodillos, el equipo de unión de tramos, ha sido diseñado para permitir que las uniones flexibles permanezcan fijas durante esta operación. Cuando en el proyecto de un puente

haya que incorporar cambios de pendiente (quizá elevándose de un extremo para dar un gálibo particular bajo un tramo y luego descendiendo al otro extremo) la incorporación de uniones de tramos es esencial. Las diferentes alturas de los soportes no son, por lo tanto, de gran importancia, aunque, grandes diferencias de altura conducirán a complicaciones durante la construcción.

Cuando los soportes intermedios son Pilares Bailey el centro del pilar estará bajo el centro de la unión del tramo, puesto que las cargas aplicadas son usualmente de alta magnitud y al haber pequeñas excentricidades, estas pueden dar por consecuencia una desigual distribución de esfuerzos en los miembros del pilar lo cual constructivamente, reduciría la seguridad de la estructura.

Cuando un puente continuo existente está dañado, y se reemplaza con un puente metálico modular, si los pilares existentes permanecen en buen estado, estos pueden ser utilizados para soportar el nuevo puente. Si las diferencias de alturas y los espaciamentos no coinciden con los requerimientos de puentes articulados, se hace un proyecto compuesto de los dos sistemas, aprovechando al máximo sus ventajas y minimizando sus desventajas. Tal proyecto, emplearía un tramo continuo sobre dos soportes, a la vez que podría tener un corto cantilever proyectándose más allá de cada pilar. El mismo procedimiento sería adoptado sobre otros dos pilares y un tramo suspendido se insertaría entre los cantilevers, conectados a ellos por un equipo de unión de tramos para obtener dos puentes articulados. Así, la combinación de los dos sistemas podría emplearse para resolver. Los componentes adicionales requeridos para estas construcciones son los siguientes:

Viga de Distribución BB.154, ver figura 2.59, es una vigueta de acero de alta resistencia, que tiene en el centro del patín inferior un apoyo cóncavo circular con el que asienta en el apoyo de cojinete (BB.19), o en el cojinete superior de cumbrera (TSBB. 654).

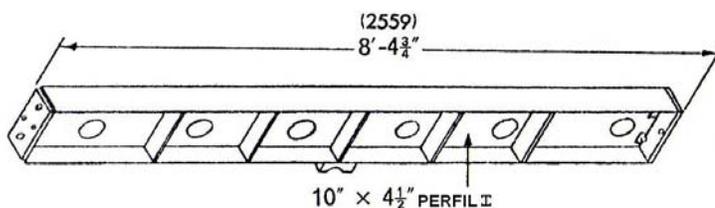


Figura 2.59 Viga de Distribución (BB.154).

Placa de Unión de Vigas de Cumbrera BB.155 y TSBB.517, ver figura 2.60, estos dos componentes son similares entre si, fabricados de una plancha, con un perfil como elemento de rigidez y tienen un cierto número de huecos de espiga y pernos por medio de los cuales se colocan y empernan a través de los extremos de las vigas de distribución. Se coloca por medio de pernos de arriostamiento normales, BB.11, de los cuales se necesitan dos por cada placa.

La placa de unión de vigas de cumbrera TSBB.517, tiene cuatro juegos de espigas, a 8 ½ pulgadas (0.22 m), 9 ½ pulgadas (0.24 m); 8 ½ pulgadas (0.22 m) entre centros. Se utiliza para separar las tres vigas de distribución requeridas, para soportar puentes de tres paneles estándar y estándar ensanchados y las cuatro vigas de distribución, en puentes de cuatro paneles.

La placa de unión de vigas de cumbrera BB.155, tiene tres juegos de espigas, a 8 ½ pulgadas (0.22 m) y 9 ½ pulgadas (0.24 m) entre centros y se usa para separar tres vigas

en puentes extra anchos de tres cerchas, o dos vigas (a 18 pulgadas entre centros) para todos los puentes de paneles simples o dobles.

Dos vigas de distribución, con placas de unión empernadas en sus extremos, como mínimo, se usaran siempre, aún en puentes Simple Simple, a fin de mantener la estabilidad.

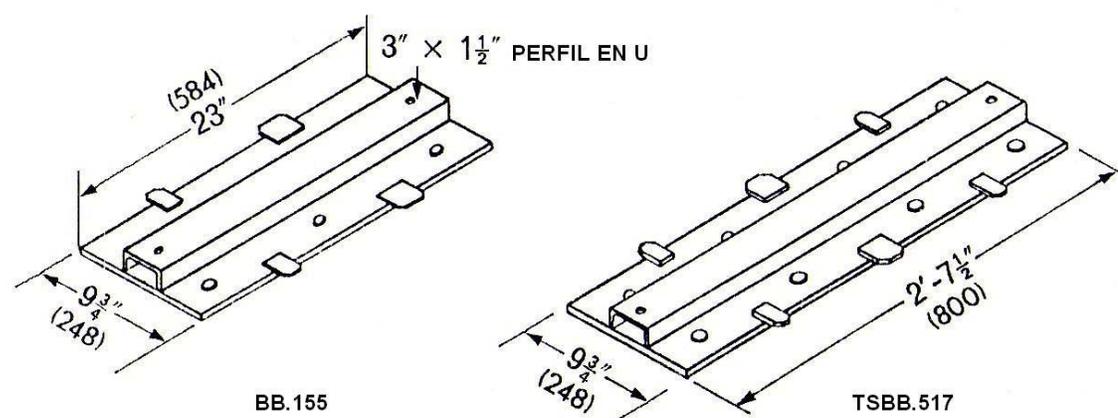


Figura 2.60 Placa de Unión de Vigas de Cumblera (BB.155 y TSBB.517).

Poste Intermedio de Tramos Macho BB.68 y Hembra BB.69, ver figura 2.61, estos postes son armazones de acero de plancha y barra, teniendo a cada lado un par de muñones (BB.68) o un par de orejas (BB.69), por medio de las cuales se ensamblan al panel Bailey. La parte superior tiene también, en su extremo, un muñón (BB.68) o un par de orejas (BB.69). Las partes inferiores (que son más largas que las superiores) tienen cada una en su extremo una oreja ensamblada especialmente separada, permitiendo que los postes intermedios se ensamblen en este punto. Normalmente, un poste macho y hembra se pueden unir por sus orejas superiores, colocando entre ellos un

eslabón de morro Mk. II, BB.65. De este modo, la articulación se inmoviliza durante las operaciones de lanzamiento.

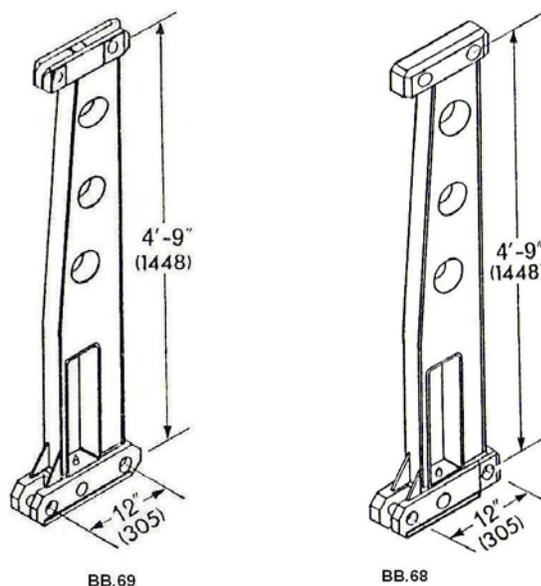


Figura 2.61 Poste intermedio de Tramos, Macho (BB.68) y Hembra (BB.69).

Cada poste intermedio de tramos, tiene, también, un asiento espigado para soportar el travesero extremo del tramo. En la parte inferior, tiene a su vez un tercer hueco para bulón, a la mitad de su longitud, servido por un anclaje en su cara inferior. El Eslabón de unión, se ensambla dentro de estos anclajes.

Eslabón de Unión BB.70 y BB.166, ver figura 2.62, son armazones de acero, de forma triangular, que tienen dos muñones en su parte superior, por medio de las cuales, se unen las partes inferiores de dos postes intermedios. Ellos forman la articulación, por medio de las cuales, las cargas se transfieren de los postes de unión a los apoyos del puente.

Tienen en su parte inferior, por lo tanto, un apoyo circular, ahuecado en el caso del BB.70 y macizo en el caso del BB.166. La última va a soportar, por lo tanto, cargas mayores. Este apoyo circular se sitúa en los apoyos cóncavos semicirculares del Cojinete Superior de Cumbre, TSBB.654 ó BB.165, ver figura 2.76.

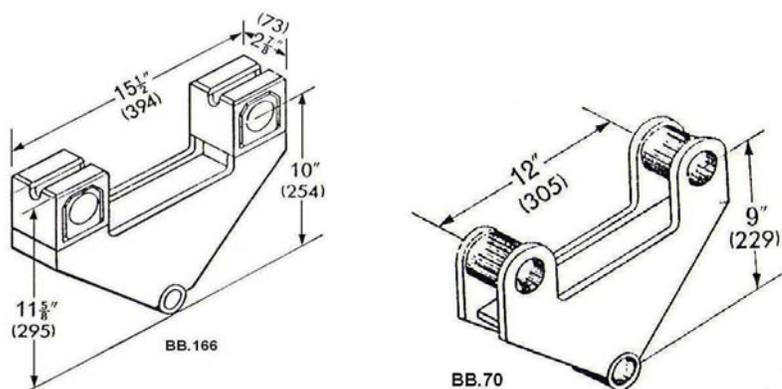


Figura 2.62 *Eslabón de Unión (BB.70) y (BB.166).*

La introducción de dos postes intermedios entre los paneles de tramos adyacentes Bailey, produce una separación de dos pies (0.61 m) en el tablero. Esta separación se llena con Tableros de unión BB.38 ó BB.141. Estas son de fabricación soldada con un número de viguetas cortas y dos cuarterones de madera acoplados a ellas.

Tres Tableros de Unión BB.38 son necesarios para los puentes estándar y estándar ensanchados y para los puentes Bailey extra ancho, se requieren dos tableros de unión BB.141, dos de tales juegos son necesarios en cada unión de tramos, a menos que una célula de cada tramo adyacente contenga un juego de Emparrillados de 11 pies 0 pulgadas de longitud (BB.136 y 137). En este caso, sólo se requiere un juego por unión,

donde los tramos tienen cordón de refuerzo, los postes intermedios también producen una separación de 2 pies (0.61 m) en el refuerzo.

Cordón de Refuerzo Corto BB.161, ver figura 2.63, se une provisionalmente con bulones dentro de esta separación de los cordones inferiores, a fin de lograr una cara continua inferior sobre los rodillos durante el lanzamiento. Este tiene que ser sacado antes que los accesorios de unión sean colocados. Son componentes adicionales, requeridos, para los puentes de tramos articulados.

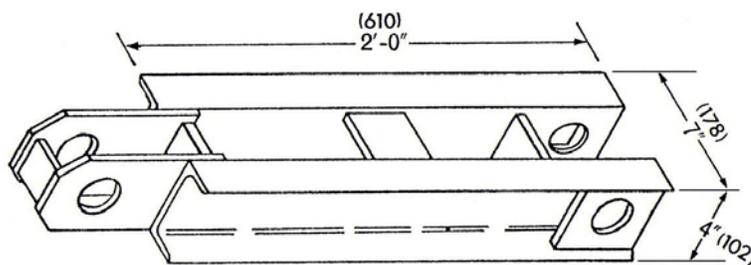


Figura 2.63 El Cordón de Refuerzo Corto (BB.161).

2.4 Puentes modulares Mabey Compact 200.

Los puentes Mabey Compact, están conformados por paneles de 10 pies de longitud por 7 pies de altura, para modulaciones de vigas Simple Simple, Doble Simple, Triple Simple y Cuádruple Simple.

Se pueden utilizar 4 tipos de paneles para la construcción de puentes Mabey compact 200, como sigue: dos paneles super, MC411 - PANEL - 700 - SUPER y MC412 - PANEL - 700 - SUPER H.S. y dos paneles estándar, MC200 - PANEL - 700 - ESTANDAR y MC201 - PANEL - 700 - H.S. Los paneles súper (MC411 y MC412)

llevan bloques soldados sobre el alma, en los extremos machos de los cordones. Además, tienen pequeñas piezas angulares soldadas al reverso del alma de los extremos machos de los cordones. Los paneles súper de alta resistencia al corte (MC412) llevan cartelas de unión rectangulares los cordones intersectan por las riostras, mientras que los paneles súper (MC411) no las llevan.

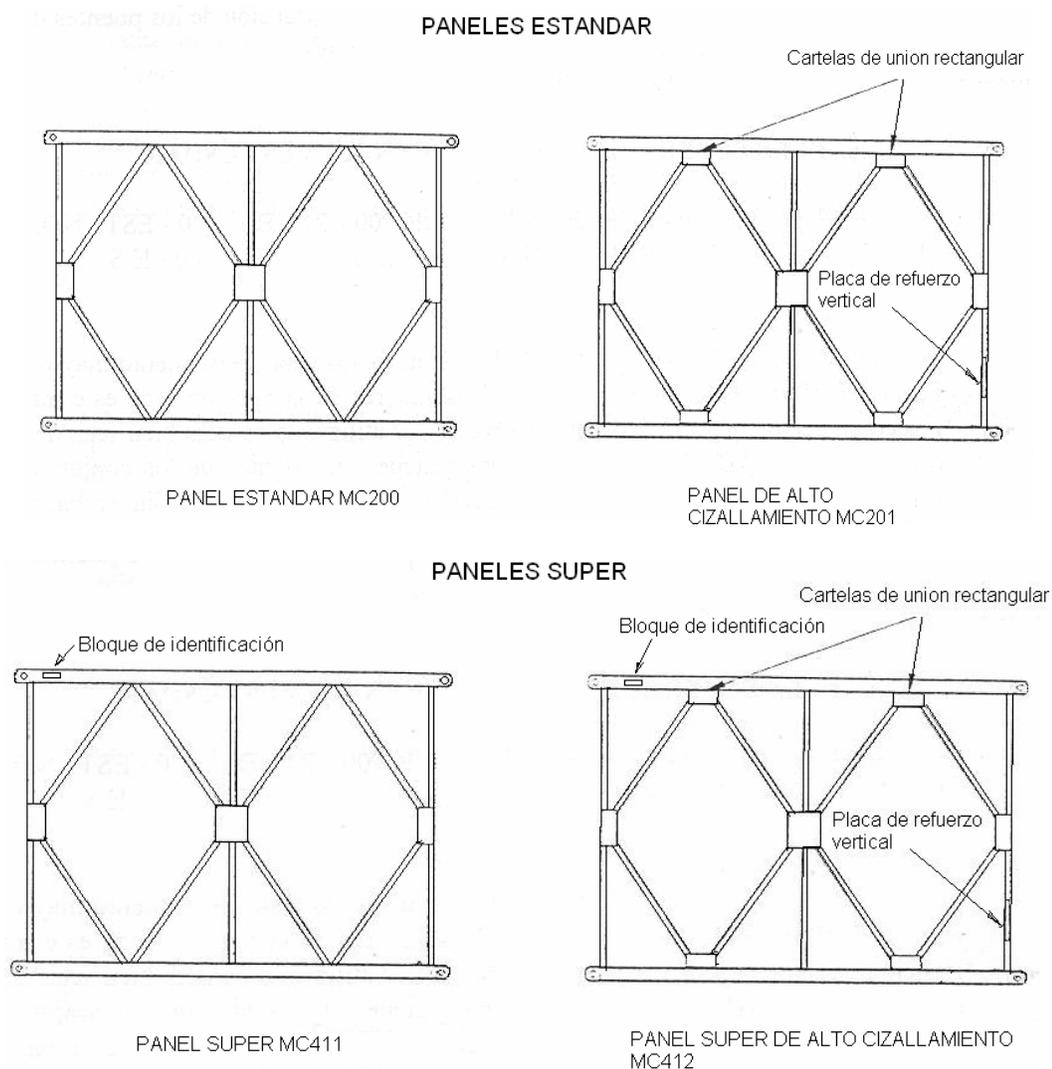


Figura 2.64 Paneles Mabey compact 200.

Los paneles estándar (MC200 y MC201) no llevan bloques o ángulos soldados al alma en los extremos machos de los cordones. Los paneles estándar de alta resistencia al corte (MC201) llevan cartelas de unión rectangulares, en los puntos en los que los cordones intersectan con las riostras, mientras que los paneles estándar (MC200) no las llevan. Los paneles super (MC411 y MC412) tienen más capacidad para absorber momentos, mayor que la de los paneles estándar (MC200 y MC201); es importante, que los conjuntos de paneles distintos no se utilicen para la construcción del mismo puente. Los traveseros de los puentes Mabey Compact pueden ser de tres diferentes longitudes para puentes de ancho estándar, extra ancho y doble carril.

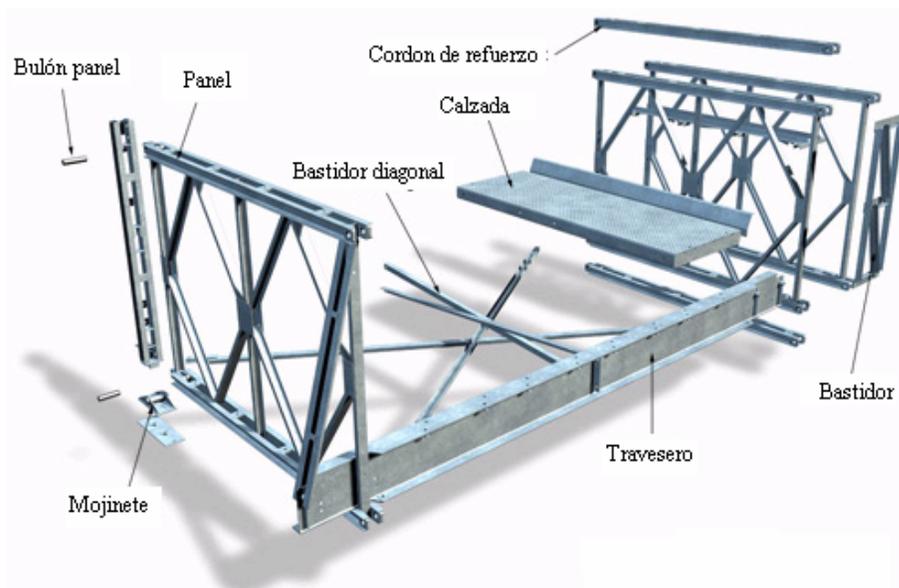


Figura 2.65 Piezas de Puentes Mabey Compact 200²⁴

Los arriostramientos de armaduras, para las construcciones sencillas, tienen un puntal inclinado que va conectado verticalmente al extremo posterior (hembra) del panel y al

²⁴ <http://Mabey Compact/Mabey and Johnson.Worldwide 2>

travesero. Para las construcciones doble, triple y cuádruple, se tiene dos tipos de unión de armadura, el bastidor vertical y el bastidor de unión horizontal. Los bastidores verticales van conectados al extremo posterior (hembra) del panel; y los bastidores de unión horizontal van conectados a los cordones superiores de las líneas del panel.



Figura 2.66 Bastidores de Arriostramiento Horizontal y Vertical en Puentes

Mabey Compact 200.

2.4.1 Componentes de construcciones de Puentes Mabey Compact.

Es la forma mas avanzada de puentes Bailey, diseñada y desarrollada por los ingenieros de Mabey.

Los factores que contribuyen al mejor funcionamiento del sistema Mabey de puentes Compact Bailey son: mayor capacidad soportadora de carga, incremento de resistencia a la fatiga, mayor estabilidad, aumento de la seguridad y bajo nivel de servicio requerido durante el uso.

Los puentes modulares Mabey Compact tienen menos componentes que otros sistemas similares, lo que facilita una instalación más rápida y más eficiente.

Tabla 2.6 Propiedades Puentes Compact 200 momento de flexión y capacidades de resistencia al corte.

PUENTES ESTÁNDAR		PIEZAS COMUNES		PUENTES DE PANEL SUPER	
CONSTRUCCIÓN	MOMENTO (toneladas-metros)	CAPACIDADES DE RESISTENCIA AL CORTE (toneladas)		MOMENTO (toneladas-metros)	CONSTRUCCIÓN
		STD	HS		
SS	255	46	71	323	SSH
SSR	511	46	71	578	SSHR
SSRH	584	46	71	649	SSHRH
DS	572	91	142	6,49	DSH
DSR1H	858	69	107	930	DSHR1
DSR1H	940	69	107	1004	DSHR1H
DSR2	1145	91	142	1211	DSHR2
DSR2H	1308	91	142	1360	DSHR2H
TS	766	137	213	969	TSH
TSR2	1277	115	178	1479	TSHR2
TSR2H	1423	115	178	1621	TSHR2H
TSR3	1533	137	213	1734	TSHR3
TSR3H	1752	137	213	1947	TSHR3H
QS	1022	183	284	1292	QSH
QSR3	1788	160	249	2057	QSHR3
QSR3H	2007	160	249	2270	QSHR3H
QSR4	2044	183	284	2312	QSHR4
QSR4H	2336	183	284	2596	QSHR4H

- Los valores indicados en el cuadro de arriba son capacidades del puente (dos armaduras) en los que 1 tonelada = 1.000 kilogramos = 9,81 kilonewtones.

- Las capacidades se basan en un factor de seguridad mínimo de 1,7.
- Los valores indicados en el cuadro de arriba para resistencia al corle tienen en cuenta la distribución incorrecta de la carga dentro de armaduras no uniformemente reforzadas (DSR2, TSR2, etc.).
- Las capacidades de resistencia al corte indicadas son comunes para ambos Puentes Estándar y Puentes de Panel Súper. Las dos columnas del cuadro se refieren a las versiones de paneles de resistencia al corte, disponibles para ambos puentes, donde:
STD = Resistencia al corte estándar 23 toneladas/panel.
H S = Alta resistencia al corte 35 toneladas/panel.

2.5 Puentes modulares Acrow Panel.

El puente Acrow Panel, es una moderna versión del puente Bailey, el cual es reconocido como un sistema de construcción de unidades muy complejo. Como Bailey, toda la estructura Acrow Panel está formada por un número de paneles unidos con pines, de principio a fin; con la construcción confiable se tiene la resistencia de carga viva necesaria, de manera que, a diferentes construcciones corresponderá cargas vivas mayores. Este equipo puede usarse en el campo y en la ciudad, es igualmente apropiado para diferentes construcciones de ingeniería, garantizando su soporte de trabajo. Thos Storey Ltd., promovió el sistema Acrow Panel en 1960, con creciente frecuencia para la construcción de puentes que soportan cargas pesadas, cargas extendidas sobre claros largos, con una larga vida.

Los componentes de Acrow panel son muy similares a los del Bailey. Hay diferencias en el ensamblaje, por ejemplo el panel sólo acepta dos traveseros, estos ubicados en el centro del diamante del panel, ver figura 2.67, atornillados con un pernos AB55 diámetro 5/8". Los tornapuntas, tienen un ensamble sin espiga cónica contrario a Bailey que si usa (ver figura 2.69) y es atornillado con un perno AB54. El bastidor de arriostamiento horizontal es el mismo vertical y tiene una longitud más pequeña de 1.067m (3'6") y es para 2 y 3 paneles con el bastidor AB3 (ver figura 2.69) para cuatro paneles utilizar el bastidor AB4 atornillados con pernos AB53 diámetro 3/4".

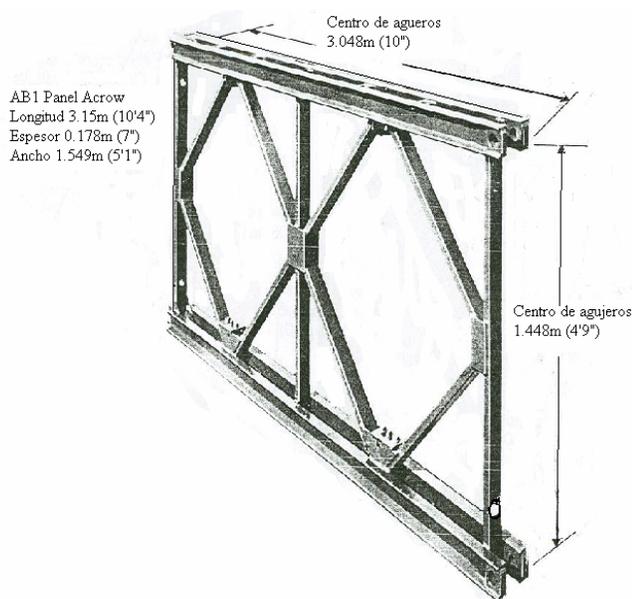


Figura 2.67 Panel Acrow (AB1).

Los elementos de apoyos extremos tienen estructuras similares con pequeñas variaciones en forma de los postes finales macho y hembra.

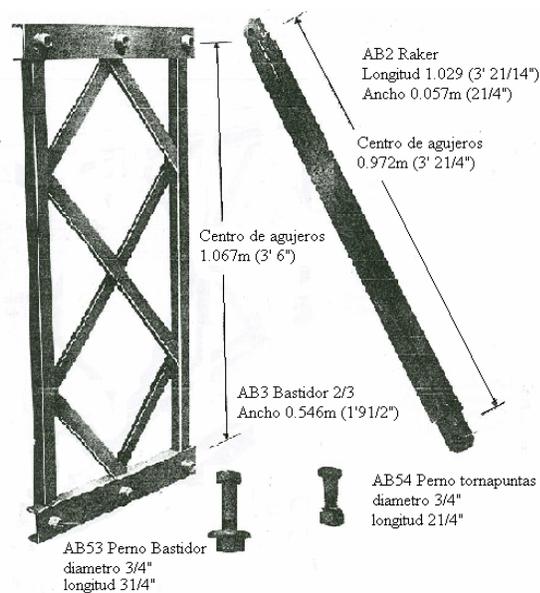


Figura 2.68 Elementos de Estabilización.

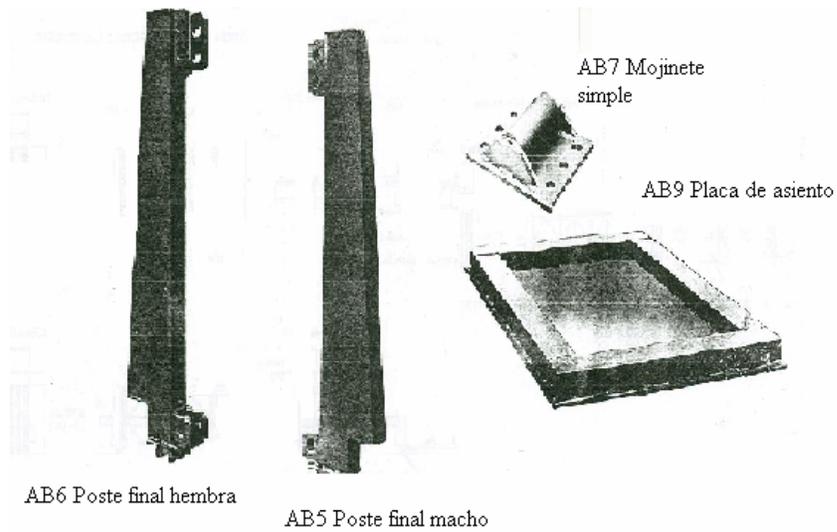


Figura 2.69 Miembros de Apoyo.

Los traveseros son de vigas de acero de diferentes características en peralte y longitud en su estructura de acuerdo al puente que se necesite, ver tabla 2.7.

Tabla 2.7 Dimensiones de Traveseros Acrow Panel.

Dimensiones de Traveseros Acrow Panel		
Traveseros	Sección	Longitud
AB301 Travesero estándar liviano	305x165mm (12"x61/2")	5486mm (18')
AB302 Travesero estándar pesado	406x178mm (16"x7")	5486mm (18')
AB303 Travesero extra ancho liviano	356x171mm (14"x63/4")	6477mm (21'3")
AB304 Travesero extra ancho pesado	457x191mm (18"x71/2"), 406x191mm (16"x71/2")	6477mm (21'3")
AB305 Travesero extra ancho super pesado	610x229mm (24"x9"), 356x229mm (14"x9")	6477mm (21'3")
AB306 Travesero doble carril liviano	610x229mm (24"x9"), 356x229mm (14"x9")	9296mm (23'63/4")
AB307 Travesero doble carril pesado	686x254mm (27"x10"), 356x254mm (14"x10")	9296mm (23'63/4")

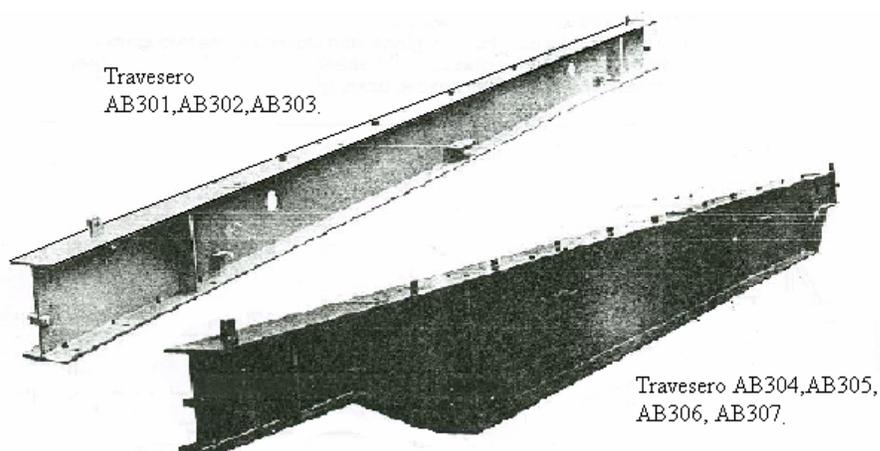


Figura 2.70 Traveseros Acrow panel.

Las diagonales de arriostamiento horizontales (Swaybrace) utilizados para puentes Acrow tienen una sección de 46.00 mm, son de diferentes tamaños y dependen de la anchura del puente, las Swaybrace estándar proporcionan estabilidad lateral al puente,

manteniendo a escuadra, la estructura mediante una formación de diamante, uniendo los traveseros de los extremos laterales superiores, a interiores inferiores, ver figura 2.71.

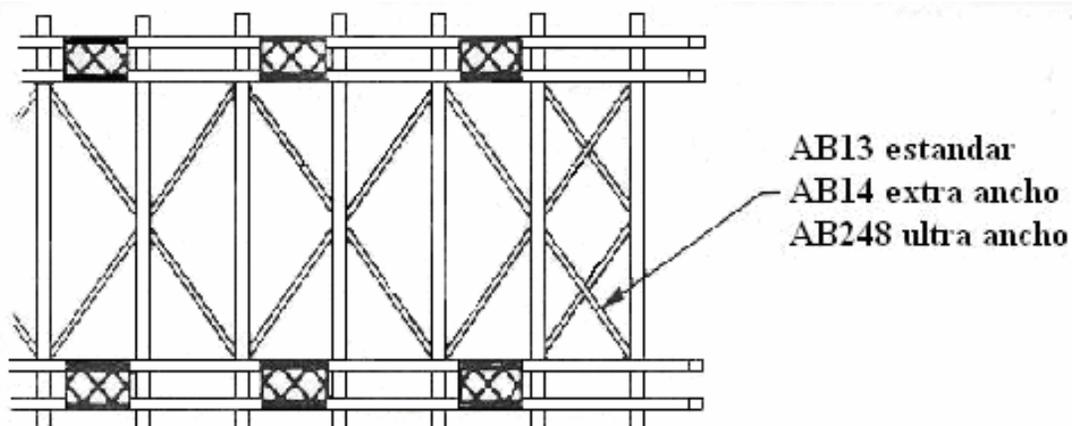


Figura 2.71 Traveseros de los Extremos Laterales.

2.6 Torres y Pilas.

La construcción de pilas con piezas Bailey, es una operación similar a la construcción de puentes y se hace como sigue:

1. Los paneles se colocan con un progreso vertical en modulaciones de 10 piés de forma longitudinal al puente. Estos son llamados “Doble Simple Vertical”, “Doble Doble Vertical”, etc.
2. Formando vigas transversales a la dirección del puente, estas pueden ser vigas Simple, Doble Doble, Dobles Triple, etc. (ver figura 2.72).



Figura 2.72 Pila Bailey Quintuple Triple bajo el puente Bailey TS-110' en el Km 177, San Sebastián, Ruta Militar, Santa Rosa de Lima, Depto. de La Unión.

En el progreso vertical los paneles, estos se arriostrados de manera normal con travesero, tornapuntas, bastidores de arriostamiento y diagonales de arriostamiento. Los paneles, por lo tanto, ocupan las mismas posiciones como en construcción normal, ver figura 2.73.

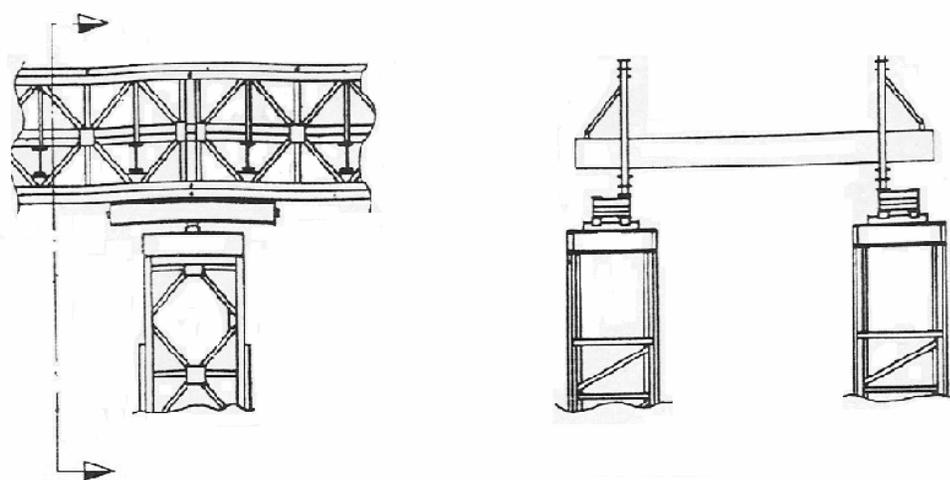


Figura 2.73 Pilas Bailey con Paneles en Progreso Vertical.

Además se necesitan en la base, placas de asiento en la parte inferior del cordón de cada panel formando una zapata por medio de la cual las cargas se transmiten a la fundación. Las placas de asiento pueden ser de tipo “Simple” o “Doble” y en el pilar.

Zapata de Pila Sencilla TSBB.564, ver figura 2.74a, tiene una pletina de base con dos orejas, por medio de las cuales los muñones del panel Bailey pueden ser acoplados usando un bulón de panel normal. La pletina de base tiene huecos para los pernos de que la unen a la cimentación.

Zapata de Pila Doble TSBB.655, ver figura 2.75b, es similar a la zapata de pila simple, y se usa cuando dos paneles se unen por medio de pernos a la misma placa, teniendo dos huecos de bulones para el acoplamiento de los muñones de cada panel. Así mismo, la pletina de base tiene huecos para los pernos de la cimentación.

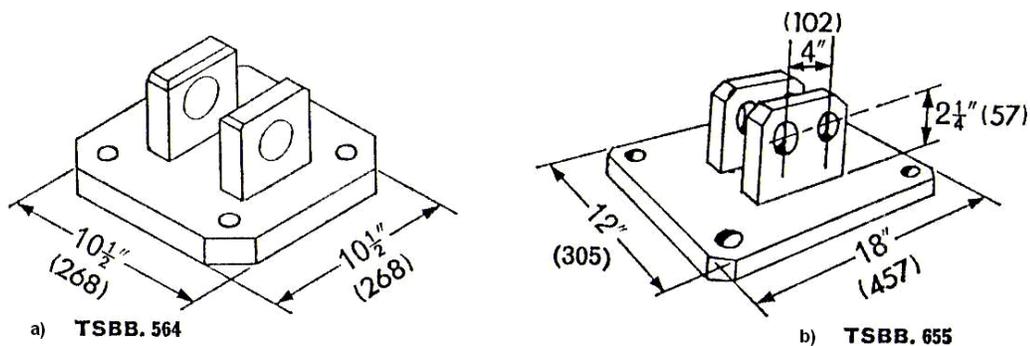


Figura 2.74 Zapatas de Pilas Bailey (TSBB.564 y TSBB.655).

Viga de Cumbreira de 5 pies TSBB.652 y de 10 pies TSBB.653, ver figura 2.75, se utiliza en la parte superior del pilar de panel vertical, es una vigueta de acero de alta resistencia,

a cuyo patín inferior están soldados dos muñones ahuecados por medio de los cuales es empernada al panel Bailey. La viga de cumbrera de 10 piés es similar a la de 5 piés pero además de muñones ahuecados en cada extremo de su patín inferior, tiene adicionalmente en el centro un muñón macho alargado que dispone de dos agujero para bulones. Este puede, por lo tanto, unirse con bulones a través de los topes de dos paneles.

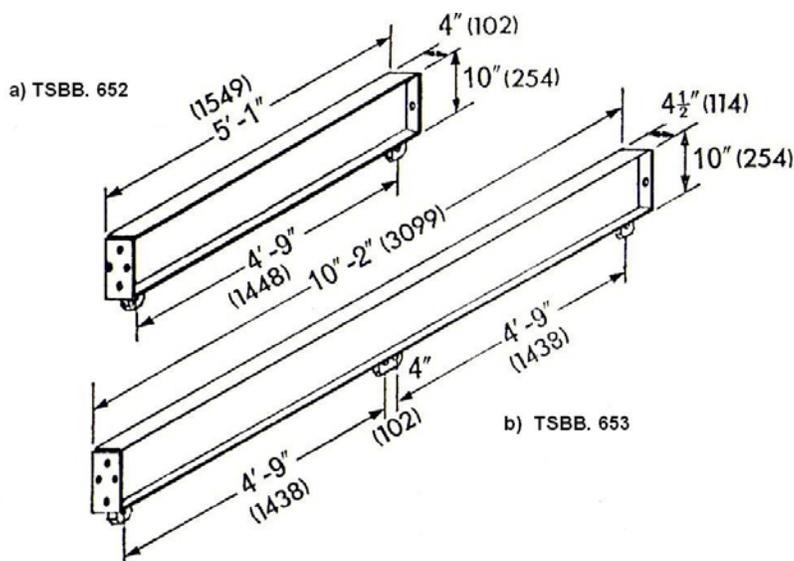


Figura 2.75 Viga de cumbrera de pilas Bailey (TSBB.652 y TSBB.653).

Para separar dos, tres, o cuatro vigas de cumbrera mediante una distancia específica y unidas con pernos de arriostamiento normales, se usan pletinas ahuecadas que se soldan en ambos extremos de las vigas de cumbrera y unidas empleando placas de unión de viga de cumbrera, ver figura 2.75.

Cuando los pilas Bailey están siendo usados como soportes intermedios, bajo puentes Bailey continuos se necesita un componente adicional en las pilas de paneles verticales,

longitudinales al puente este es el *Cojinete Superior de Cumbreira TSBB.654*, ver figura 2.76, este miembro es unido a través de la parte superior de las vigas de cumbreira y va a soportar todas las vigas en un lado del puente mediante eslabones de unión (BB.70 y BB.166) o vigas de distribución, es usado también para soportar rodillos basculantes (BB.59) o vigas de balanceo (BB.128) sustituyendo al apoyo de cojinete (BB.19), durante el lanzamiento de los tramos del puente. Se fabrican de acero dulce, compuestas de perfiles en U, colocados espalda con espalda, teniendo entre ellos, en una cara apoyos circulares y en la otra cara una serie de cuatro apoyos cóncavos semicirculares con un espaciamiento conveniente para cualquier configuración de paneles de puentes.

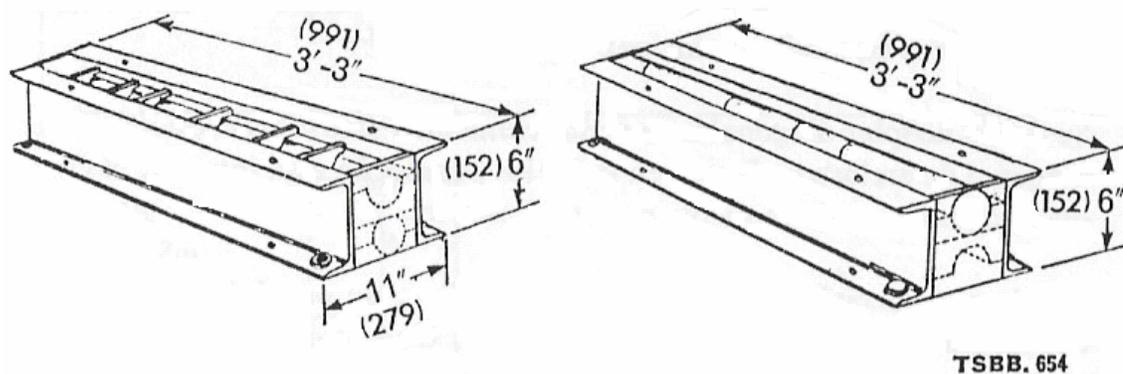


Figura 2.76 Cojinete superior de cumbreira (TSBB.654).

Así, cuando el cojinete superior de cumbreira tiene que soportar vigas de distribución o rodillos basculantes, se coloca con el apoyo sólido redondo hacia arriba, así se utiliza para soportar eslabones de unión, la serie de apoyos cóncavos semicirculares deben estar colocados hacia arriba. Se disponen cuatro grapas en las alas; así, cualquiera que sea la

forma del apoyo, pueden ser atornillados a las alas superiores de las dos vigas de cumbrera.

Cuando el cojinete superior de cumbrera carga sobre vigas de cumbrera en las dos posiciones extremas (es decir, 2 piés 2 ½ pulgadas entre centros) soportará con seguridad una carga de 20 toneladas en el centro.

Las viga de distribución, ver figura 2.77, es una vigueta de acero de alta resistencia que se colocan bajo los paneles situados en el punto de apoyo del puente sobre la pila, tiene en el centro del ala inferior una apoyo cóncavo circular con el que asienta en un apoyo de cojinete BB19, o en el cojinete superior de cumbrera produciendo libertad en el movimiento rotacional entre la pila y el puente.

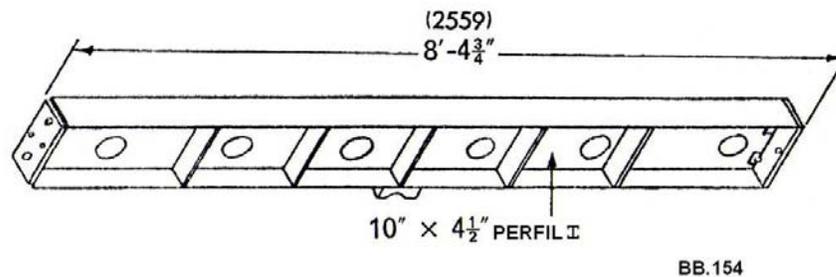


Figura 2.77 Viga de Distribución (BB.154).

En la construcción de pilas se hacen necesarios elementos de arriostamiento de paneles como los *Bastidores de Arriostamiento Pesados TSBB.657*, ver figura 2.78, y placas de unión para la rigidez de la estructura.

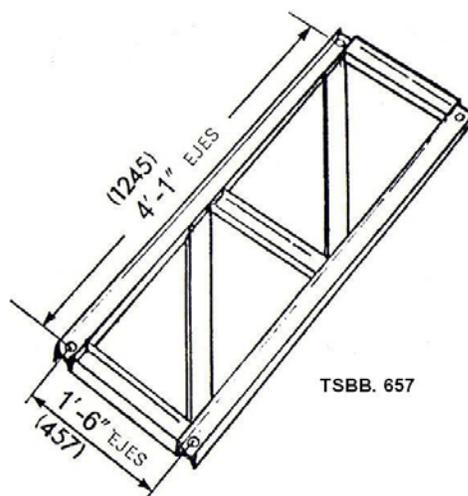


Figura 2.78 Bastidor de Arriostramiento Pesado (TSBB.657).

La construcción de pilares Bailey es fácilmente disponible cuando hay poco tiempo para la preparación de la obra debido a emergencias. Otro tipo de pilar desarrollado por Thos Storey (Engineers) es la *Torre Cuadrada Bailey*, ver figura 2.79a, consiste en cuatro Paneles bailey conectados en ángulo recto, uno con otro, estando los cuatro colocados verticalmente. Cada panel forma el lado de un cuadrado de 6 pies 5 pulgadas (1.956m) entre centros. El *Soporte Angular TSBB.565*, ver figura 2.79b, es usado para conectar los cuatro paneles a través de la posición del perno de cordón. Se requieren cuatro de estos Soportes angulares, uno en cada esquina por cada cinco pies (1.52m) de altura. Este se fija al panel Bailey con un perno de cordón estándar. Las secciones de cajón de cuatro paneles se conectan unas a otras con bulones standard de panel. Se utilizan zapatas de pilas sencilla, conectadas a la base de la torre, que se mantienen en posición, por medio de pernos de anclaje dentro de la zapata de la pila. La torre Bailey es particularmente rígida y es idealmente apropiada para soportar cargas de torsión y hasta 400 toneladas de

carga axial sujeto a condiciones de extremo empotrado. Cuando se diseñan pilares de este tipo, deben tomarse tolerancias adecuadas en el proyecto para esfuerzos adicionales.

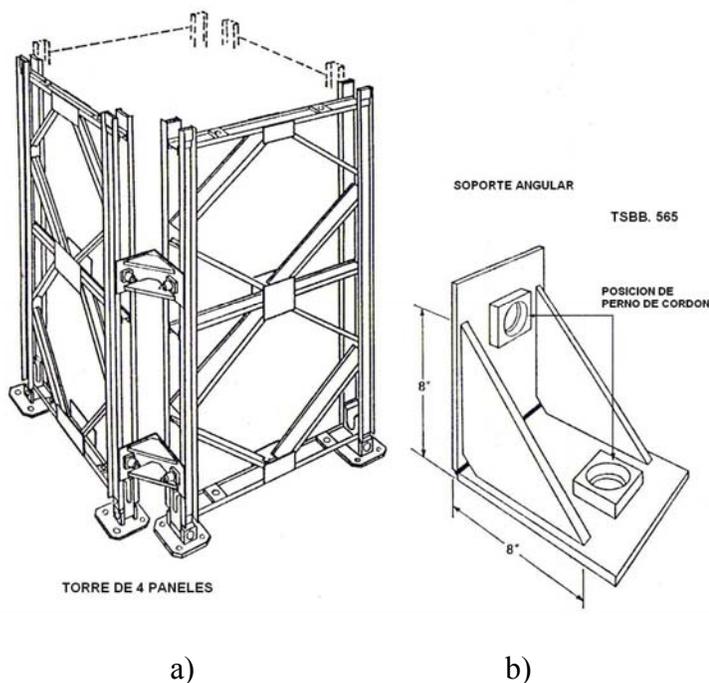


Figura 2.79 Torre de 4 Paneles y Soporte Angular (TSBB. 565).

2.7 Puentes Bailey Flotantes.

El uniflote fue creado como un sistema de flotación basado en principios de “construcción unitaria”, por lo cual un número de unidades de flotación²⁵ idénticas pueden ser unidas para formar balsas de diferentes tamaños de acuerdo con la capacidad portante de carga y el uso requerido. Es igualmente aplicable tanto en el campo de Ingeniería Civil como militar. Primitivamente fue concebida para soportar los diferentes equipos de puentes de ejércitos de todo el mundo, para permitirles ser usados como

²⁵ Utilizadas usando barcasas o lanchas pequeñas unidas entre sí, en la segunda guerra mundial. Manual de Puentes. Cuerpo de Ingenieros de los E. U. 1949.

puentes flotantes de una orilla a otra, como pequeño muelle de un barco y ferry que puedan transportar normalmente, máquinas, tales como grúas, excavadoras y equipos de pilotaje para uso en trabajos marinos. Muchas de estas aplicaciones, sobrepasan los requerimientos para campo civil. Por todo ello, cuando se estudió el diseño del uniflote, fueron establecidos los siguientes criterios:

- i) Debe ser capaz de soportar, por fácil acoplamiento los tres tipos corrientes de puentes Bailey, “estándar”, “ensanchado”, y “extra ancho” y sus equivalentes americanos, M I, II y III, las superestructuras de balsa 50/60 y 55/65 y el puente de vigas maestras pesadas tanto en su forma estándar como estrecha. También debe ser capaz de soportar ruedas u oruga, en cualquier parte de su plataforma.
- ii) Las diferentes unidades de flotación deben ser capaces de unirse en el agua desde el nivel de la plataforma; tales conexiones no deben perjudicar la estanqueidad de las unidades.
- iii) Cada unidad debe ser capaz de soportar una carga de 10 toneladas mientras mantiene un franco bordo razonable, en la región de 9 pulgadas (0.23 m). Debe aún ser capaz de soportar esta carga cuando una marea que se aleja deja la unidad encallada.
- iv) Las unidades deben ser transportadas sobre un vehículo, el cual es común en todo el mundo, un camión de tres toneladas.

Las dimensiones más apropiadas, de acuerdo con cada criterio, son los siguientes:

- (i) La longitud más apropiada era 17 piés 9 pulgadas (5.41 m) (esto cumple también con los requerimientos del criterio (iv)).

(iv) La unidad no excederá de 8 piés 9 pulgadas (2.67 m) en ancho y tres toneladas en peso. Estas dimensiones tomadas en conjunto con el criterio (iii) establecieron la altura en 4 piés (1.219 m).

Todos los acoplamientos fueron diseñados para trabajar fuera del cuerpo estanco principal de la unidad. Los acoplamientos superiores tornaron la misma forma que aquellos de los paneles Bailey y vigas maestras pesadas, una oreja macho y una oreja hembra aseguradas entre sí por un bulón horizontal. Los acoplamientos inferiores fueron diseñados como ganchos volteados hacia arriba y hacia abajo. El personal de ensamblaje usando sólo su propio peso puede inclinar las unidades en el agua lo suficiente para permitir que los apéndices de cada uno de los ganchos sobrepasen unos a otros. Tan pronto como las unidades recuperan su equilibrio normal horizontal los ganchos encajan completamente y las orejas superiores entran en sus lugares permitiendo que el bulón de seguridad sea insertado. Una vez que los acopladores superiores se unen, los ganchos inferiores no pueden salirse del enlazamiento. Estos acoplamientos requieren un espacio de 5 pulgadas entre las unidades y así las dimensiones finales del uniflote llegan a ser: 17 piés 4 pulgadas (5.83 m) de largo (17 piés 9 pulgadas (5.41 m) entre ejes de acoplamientos); 8 piés (2.438 m) de ancho (8 piés 5 pulgadas (2.565 m) entre ejes de acoplamientos); 4 piés (1.219 m) de altura. También, se desarrolló un uniflote de 6 piés (1.829 m) de profundidad (altura), principalmente para el mercado civil.

A lo largo de la plataforma y en cada lado se fijan bordas, con una serie de ‘agujeros a las cuales se podían acoplar monturas por medio de balones. Mediante ésto, todos los equipos de puente mencionados en el criterio (i) pueden ser simple y efectivamente

acoplados. Para mayor seguridad se decidió hacer el uniflote con tres compartimientos estancos incorporando dos tabiques divisorios aproximadamente a las terceras partes de su longitud. Estos tabiques divisorios también sirven para aumentar considerablemente la rigidez del uniflote. Cada compartimiento está provisto de una compuerta estanca en la plataforma. Mediante ésto, cada compartimiento puede ser individualmente inundado, e inversamente, el agua puede ser arrojada por la aplicación de aire comprimido.

Para completar el equipo del uniflote, se acoplaron correderas en la parte inferior para ayudar en las operaciones de arrastre en la orilla, y a la plataforma se fijaron cuatro argollas de izaje, para propósitos del manipuleo con grúa.

El uniflote como se describe anteriormente, está disponible en dos tipos. El tipo I tiene la plataforma colocada aproximadamente a 3 pulgadas (0.076 m) bajo el nivel de la borda de manera que se puede fijar, si es necesario una plataforma de madera reemplazable. El tipo II (una versión militar especial) tiene un conjunto de plataforma de acero integral a nivel con la parte superior de las bordas sobre las cuales el tráfico puede pasar directamente. Se fijan doce conjuntos de acopladores a cada uniflote. Un “conjunto” comprende ya sea (a) un acoplador superior macho y un gancho inferior volteado hacia arriba, o (b) un acoplador superior hembra y un gancho inferior volteado hacia abajo. Cada acoplador superior hembra tiene un bulón de seguridad encadenado a él. Se colocan cuatro conjuntos de acopladores a lo largo de cada lado y dos conjuntos en cada extremo; en un lado y extremo son “macho” y en el otro lado y extremo “hembra”. Por este medio los uniflotes pueden ser unidos no sólo lado a lado y extremo a extremo, sino cada lado de un uniflote puede acoplarse a los extremos de otros dos uniflotes. Cuando

se aplican los puentes flotantes del Bailey o del tipo de viga maestra pesada, la facilidad en el acoplamiento lateral de los uniflotes supone un gran ahorro en stock de piezas tales como el pilar de desembarque, ya que el travesaño de desembarque y el sistema de viga maestra de distribución no se necesitan.

La selección del material más adecuado se decidió por dos factores principales, resistencia y economía. Ambos factores son de igual interés vital para el comprador potencial, ya sea militar o civil. Los uniflotes fueron altamente resistentes cuando se usaron como pontones bajo puentes flotantes; la carga se concentró en los dos puntos de aplicación de las vigas maestras laterales del puente. Diferentes plásticos, incluyendo fibra de vidrio se consideraron, pero fueron rechazados por las siguientes razones:

1. Por ellos mismos (solos) su resistencia era insuficiente.
2. No podían usarse para los acoplamientos.
3. La inclusión de un marco rígido aumentó el precio por encima del límite económico.
4. En caso de daño (tal como podría incurrir bajo condiciones de guerra) la reparación de las unidades regresando al depósito base (donde equipo especial estaba disponible) probó ser impracticable.

Se examinaron dos metales, acero y aluminio. El último tiene muchas de las desventajas de los plásticos, aún usando una aleación de alta eficacia. No hay gran ahorro en peso sobre una estructura de acero; las placas que se requieren son más caras que las equivalentes secciones y placas de acero laminado. Puesto que las unidades no pueden ser satisfactoriamente fabricadas remachándolas, se necesitarían plantas de soldadura especializada. También, las unidades dañadas en acción tendrían que ser sacadas de

servicio y regresadas a un depósito base donde tal planta (y trabajadores expertos) estén disponibles. La unidad de prueba quedó muy dañada cuando encalló llevando carga completa (como se requiere en el criterio (iii)). Por otro lado, una unidad de acero cumplió con todos los requerimientos originales establecidos.

2.7.1 Descripción de Componentes.

El uniflote se ha tratado en detalle en la Introducción. Los dos uniflotes presentados como standard son los siguientes:

Uniflote de 4 pies de altura TSU.37/1A (ver figura 2.80).

Uniflote de 6 pies de altura TSU.41/1^a

El planchado exterior (piso) de estos uniflotes es de 3/16 pulgadas (4.76 mm). Los uniflotes pueden estar provistos con otro espesor de plancha según orden especial.

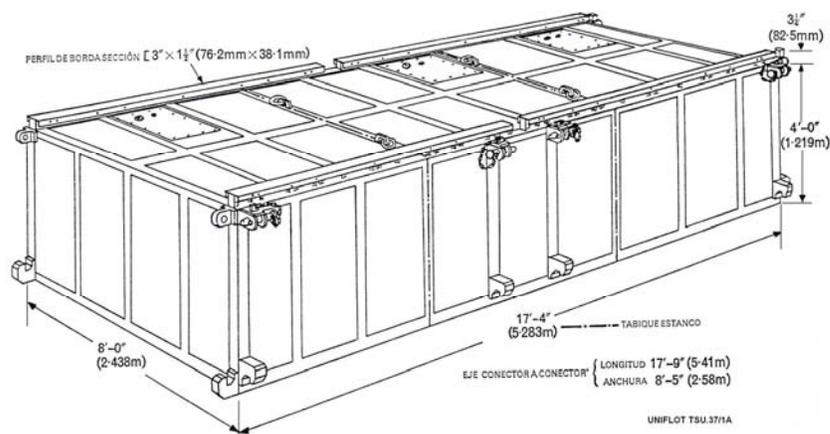


Figura 2.80 Uniflote (TSU.37/1A).

Las unidades de Proa y Popa, Piezas No. TSU.37/2A y TSU.37/3A respectivamente, ver figura 2.81, cada una se diseña para acoplarse en cada extremo del uniflote. Su sección final (8 piés x 4 piés), por lo tanto es igual que la sección final del uniflote y esta cara vertical se fija con acoplamientos. Lateralmente estas unidades son, triangulares con la plancha inferior inclinada hacia arriba un ángulo de 30°. No hay compartimientos internos; el conjunto está servido por una compuerta estanca en la plataforma. Esta compuerta tiene los mismos acoplamientos de tubería que la compuerta del uniflote.

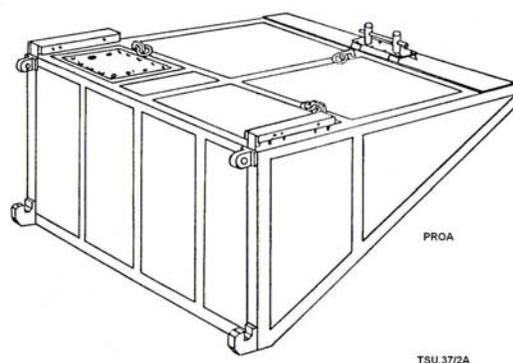


Figura 2.81 Proa (TSU.37/2A).

Un poste de muelle se monta sobre la plataforma en la chapa reforzada de la arista exterior. Puede ser desempernado y alojado en el interior de la unidad durante el transporte, para ahorrar espacio, en el embarque. Se corresponden con las bordas del uniflote, tramos cortos de borda. Para el izaje, se fijan tres argollas a la plataforma. Las unidades de proa y popa también se presentan como estándar para el uso con uniflotes de 6 piés de altura. Estas tienen el mismo ángulo y por lo tanto su longitud en el nivel de la plataforma es de 9 piés (2.74 m). Su simbología es:

Proa TSU.41/2A

Popa TSU.41/3A (ver figura 2.82).

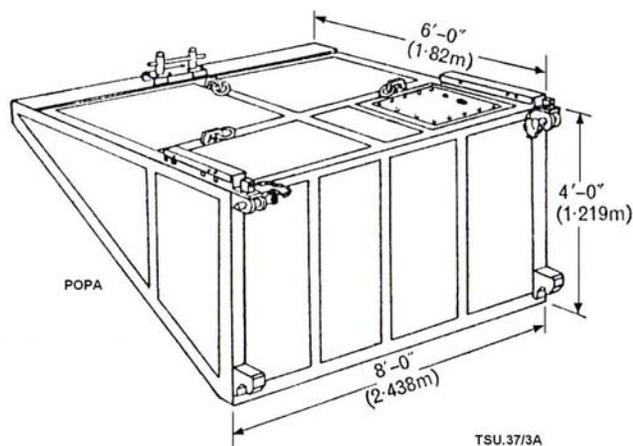


Figura 2.82 Popa (TSU.37/3A).

Plataforma de Madera para Uniflotes. Cuando se usa equipo de uniflotes, la plataforma de madera se fija de forma que los vehículos y plantas móviles se muevan sobre la balsa del uniflote, ferry o embarcadero. Esta plataforma de madera toma la forma de parihuelas preensambladas. Se requieren tres de ellas para cada uniflote, una sección central y dos secciones exteriores. Las dos secciones exteriores son idénticas, o sea que, cualquier sección exterior puede ser colocada en cada lado del uniflote. Cada sección de parihuela se diseña de manera que descienda sobre la plataforma del uniflote entre las bordas, las cuales la retienen lateralmente. Cada sección de parihuela es de tal espesor que la plataforma de madera se levanta 2 pulgadas (0.05 m) sobre el nivel de la borda. El número de referencia de la *Parihuela de Tres Piezas del Uniflote* es TSU.44/28, ver figura 2.83.

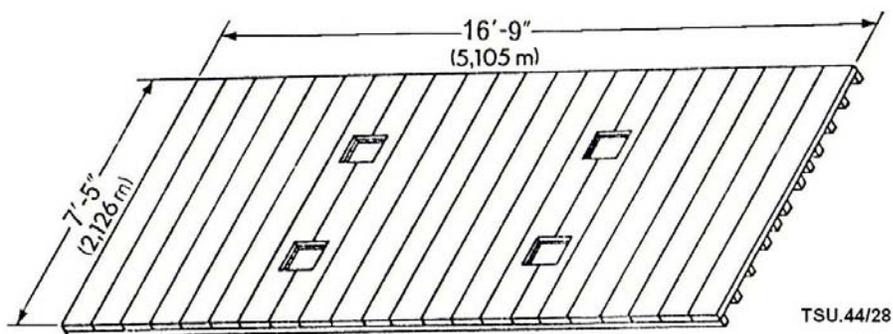


Figura 2.83 Parihuela de Tres Piezas del Uniflote (TSU.44/28).

Cuatro cubiertas de madera removibles se colocan sobre los anillos de la plata forma del uniflote; el uniflote, por lo tanto, puede ser elevado con grúa desde la orilla al agua con su plataforma de madera ya en posición. Los uniflotes se conectan extremo a extremo, *Parihuelas de Junta Transversal TSU.44/28/4*, ver figura 2.84, especiales, son suministradas para llenar el espacio libre que resulta entre las parihuelas de la plataforma. Para facilidad de ensamblaje la parihuela de junta se divide en dos mitades.

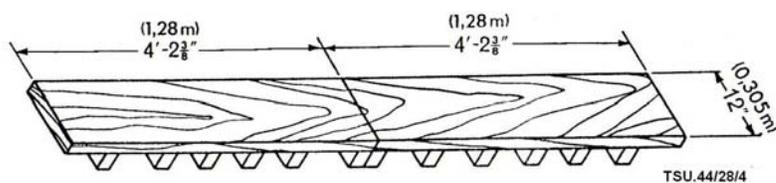


Figura 2.84 Parihuelas de Junta Transversal (TSU.44/28/4).

Los uniflotes se conectan lado a lado, el espacio libre en la plataforma se cubre por *Parihuelas de Junta Lateral TSU.44/28/5-6*, ver figura 2.85. Estas son tablas sencillas que se sitúan a través de las bordas del uniflote. Son retenidas lateralmente por las parihuelas principales de madera y longitudinalmente por las parihuelas de junta

transversal. Para facilidad de ensamblaje la parihuela de junta lateral se suministra en tres partes.

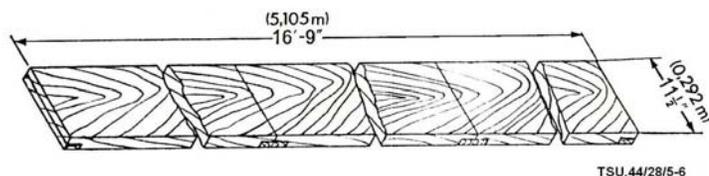


Figura 2.85 Parihuelas de Junta Lateral (TSU.44/28/5-6).

Conectores Interflotadores. Estos componentes se usan para espaciar los uniflotes a diferentes distancias. Son de la misma altura que los uniflotes, pero varían en longitud de acuerdo al espacio que se requiere. Se fijan a los uniflotes, mediante acoplamiento y por lo tanto, cada conector tiene en la parte superior de cada extremo una oreja ya sea macho o hembra y en la parte inferior un gancho volteado hacia arriba o hacia abajo. Los acopladores de cada extremo son machos (con ganchos volteados hacia arriba) el conector se denomina Macho. Los acopladores en cada extremo son hembras (con ganchos volteados hacia abajo) el conector se denomina Hembra.

Los conectores son suministrados en tres longitudes estándar, pero se pueden hacer sobre pedido longitudes intermedias para separaciones especiales. Puesto que la longitud del uniflote es más que el doble de su ancho, dos uniflotes se conectan con el extremo al lado de un tercer uniflote un espacio libre de 1 pie 4 pulgadas (0.406 m) de ancho, se presenta entre los dos primeros uniflotes; es decir, los acoplamiento están a 11 pulgadas (0.279 m) entre ejes. Se puede cruzar este espacio libre fijando un conector interflotador

a 11 pulgadas, el cual para este propósito siempre debe ser Macho/Hembra, ver figura 2.86.

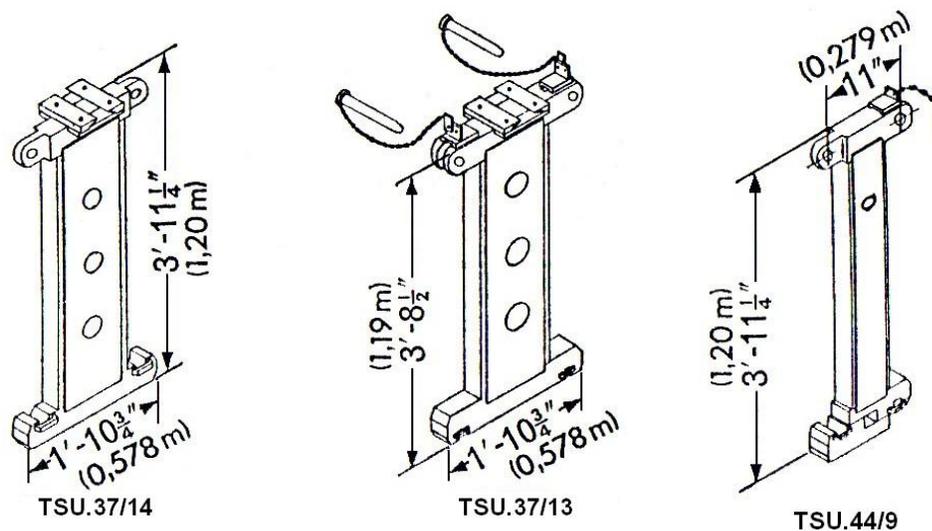


Figura 2.86 Macho (TSU.37/14) y Hembra (TSU.37/13). Macho/Hembra (TSU.44/9).

Conectores de 1 pie 7 pulgadas (0.483 m) de largo, son interpuestos entre los uniflotes conectados lado a lado, colocan a los Uniflotes a 10 pies 0 pulgadas (3.048 m) entre ejes, en lugar de 8 pies 5 pulgadas (2.565 m). Estos están disponibles en tres tipos: Macho, pieza TSU.37/14; Hembra, pieza TSU.37/13, ver figura 2.86, y Macho/Hembra, pieza TSU.37/15. Se interponen conectores de 11 pies 7 pulgadas (3.531 m) de largo entre los uniflotes conectados lado a lado, los uniflotes quedan a 20 pies 0 pulgadas (6.096 m) entre ejes. Estos conectores están disponibles en tres tipos: Macho, pieza TSU.37/36; Hembra, pieza TSU.37/37 y Macho/Hembra, pieza TSU.37/38, ver figura 2.87.

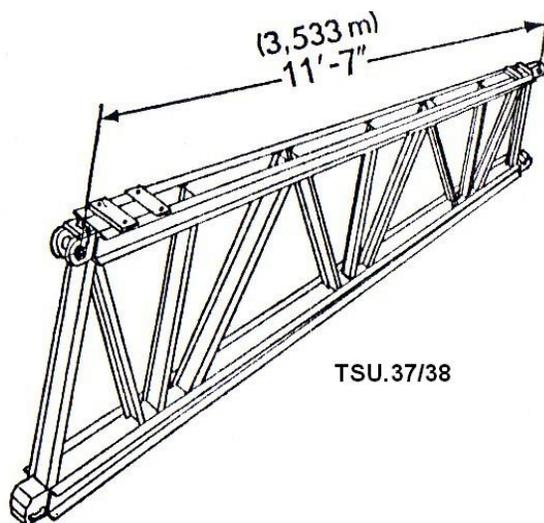


Figura 2.87 Macho/Hembra (TSU.37/38).

En todos los casos, al conector con acoplamiento superior hembra se le acopla un bulón encadenado.

2.7.2 Acoplamiento de Uniflotes.

La operación de acoplar uniflotes es la siguiente: sobre los dos uniflotes que se van a unir se aplican cargas sobre los acoplamientos machos. Esto hace que los uniflotes se inclinen lo suficiente para permitir que los ganchos inferiores volteados hacia arriba pasen debajo de los ganchos volteados hacia abajo. Al mover las cargas hacia los lados “hembra” los uniflotes regresan a la posición horizontal, con los ganchos inferiores enlazados. Finalmente se fijan los bulones de seguridad a los acopladores superiores. En la práctica, para conectar dos uniflotes se emplean cuatro hombres, dos situados en cada uniflote, el peso de estos hombres es suficiente para provocar la acción de ladeamiento descrita anteriormente. El único equipo que estos hombres necesitan es dos longitudes

de cuerda para mantener unidos los dos uniflotes hasta que el acoplamiento esté completo. Cada uno de los hombres en el uniflote del lado derecho toma un tramo de la cuerda, asegura un extremo a una argolla de izado sobre su propio uniflote, comprobando, que esté en el lado “Macho” y pasa la cuerda a través de la argolla de izado del uniflote del lado izquierdo, trayendo hacia atrás el extremo suelto, manteniendo así los uniflotes en contacto. (Etapa 1) Deben permanecer en el lado macho del uniflote. Los otros dos hombres también deben estar situados en el lado macho de su uniflote (Etapa 2). Ahora, los uniflotes están suficientemente inclinados para que los ganchos inferiores monten uno sobre otro y se enlacen debido a la tensión mantenida en las cuerdas. Estos cuatro hombres caminan ahora a través de sus respectivos uniflotes (aún manteniendo las cuerdas templadas) al tiempo que los Uniflotes recuperan su posición normal horizontal con el acoplamiento completamente enlazado (Etapa 3).

Los dos hombres del uniflote del lado izquierdo insertan bulones en los acopla dores superiores y fijan los bulones de seguridad, complementando así, toda la operación.

Ahora, la operación de acoplamiento está completa.

El mismo método de acoplamiento se sigue para unir dos uniflotes se unen ya sea lado a lado, extremo a extremo o lado a extremo. Al unir cuatro uniflotes es mejor unir primero dos pares extremo a extremo, haciendo la conexión final sobre la línea central. El ensamble uniflotes en una balsa grande, siempre requiere la aplicación del mismo principio de hacer primeramente pares, luego grupos de cuatro, etc., conectando finalmente las dos mitades de la balsa tan cerca como sea posible de la línea central. Siempre se unirán partes de la balsa que sean del mismo tamaño.

2.7.3 Ferry de carga en la orilla.

Este tipo de ferry es para preparación mínima en orilla o para carga y descarga de vehículos desde otros lugares distintos que los fijados para desembarque. Está última condición a menudo se aplica en trabajos de ingeniería civil, cuando es necesario poner equipo en la orilla antes que se construya cualquier muelle, malecón o embarcadero. Un ferry comprende una balsa construida de uniflotes standard. El número y disposición de estos uniflotes dependerá de la carga que se va a llevar, la profundidad del agua en la cual tendrá que funcionar y la condición local del agua con respecto a la corriente, marca y formación de olas.

En un extremo o en ambos extremos de la balsa, se agregan componentes para formar una rampa ajustable para el tráfico de vehículos entre la plataforma del ferry y la orilla. Cuando se presenta una rampa en un extremo del ferry solamente, los vehículos tendrán que abordar o dejar el ferry en marcha atrás. Con rampas en ambos extremos, los vehículos tendrán que pasar sobre un extremo y salir por el otro, siempre en dirección hacia adelante.

La Unidad de Rampa, TSU.44/1A, es una unidad de flotación formada por marcos de acero, de construcción similar al Uniflote de 12 piés (3.658 m) de largo y 8 piés (2.438 m) de ancho, teniendo la misma altura que el Uniflote en un extremo y ahusándose a un punto en el otro extremo (el extremo “orilla”). Puesto que no hay tabiques divisorios internos, la unidad está provista de una compuerta estanca en la plataforma. La tapa compuerta es idéntica a aquella suministrada para el uniflote y tiene las mismas

conexiones de tubos para las inundaciones y expulsión del agua. El extremo de la nariz, está reforzado con plancha pesada para resistir el contacto con la orilla y unos ángulos soldados en la parte inferior forman dientes de sierra los cuales mejoran su agarre en la orilla.

En el extremo profundo, se colocan acopladores tipo macho en las esquinas inferiores. Estos acopladores y sus bulones asociados forman articulaciones alrededor de las cuales la rampa gira durante el ajuste. También, en el extremo profundo, dos orejas hembras conectantes muy fuertes están montadas sobre la plataforma. Se acopla el aparejo de ajuste a estas orejas y se suministran dos bulones encadenados para este fin. Entre estas orejas, atravesando el ancho de la plataforma, hay un apoyo para el panel de tablero deslizante. Se acoplan a la plataforma argollas para levantamiento por grúa.

Las unidades de rampa se acoplan a los uniflotes que forman el cuerpo del ferry, mediante *Conectores de Rampa*. Estos son de dos tipos, *macho (TSU.44/3)* y *hembra (TSU.44/2)*. Cada conector tiene en un lado de la posición superior un alojamiento para bulón encadenado que conecta al uniflote y un gancho oreja en la parte inferior. En el conector macho el gancho está volteado hacia arriba; en el conector hembra el gancho está volteado hacia abajo. Se usan conectores macho cuando la rampa tiene que ser fijada al lado “hembra” o al extremo del uniflote adyacente; Conectores hembra acoplan la rampa al lado o extremo “macho” del uniflote. Cada conector tiene también una oreja hembra en la parte inferior, opuesta al gancho oreja, con un bulón encadenado acoplado. Este bulón asegura la rampa al conector y es, en realidad, un pasador o espiga de bisagra. Una vez ensamblado, es retenido por una arandela y un pasador de horquilla. En

la parte superior o cabeza de cada conector hay un enchufe vertical para recibir un bulón conectante largo especial, el cual también está encadenado al conector. Dos conectores de rampa (ya sean ambos macho o ambos hembra) se necesitan para cada unidad de rampa.

El eslabón remanente entre la unidad de rampa y el cuerpo principal del uniflote ferry es *la Barra de Sujeción* (TSU.44/4). En un extremo de esta barra se ha formado un muñón macho el cual es unido con bulones a las orejas situadas en la plataforma de la unidad de rampa y un muñón macho similar en el extremo opuesto tiene acoplada una argolla. Una serie de siete agujeros verticales están espaciados a lo largo de la longitud de la barra de sujeción y mientras esta se desliza sobre la cabeza del conector de rampa, estos agujeros coinciden con el agujero vertical del conector de rampa. Al insertar el bulón vertical largo, se asegura la rampa en cualquiera de las siete posiciones. Se requieren dos barras de sujeción para cada rampa y ambos bulones de aseguramientos verticales deben estar en posición antes que la rampa sea sometida a cargas de vehículos.

El levantado y bajado de la rampa se realiza por medio de un “Levantador” o un gato de tipo similar (TSU.44/6). El gato es anclado al ferry por una montura del levantador la cual comprende un tramo corto de perfil que se sitúa sobre la borda del uniflote adyacente a la unidad de rampa y se acopla a ella por dos bulones encadenados. Una oreja vertical sobre la montura tiene una argolla en la cual se engancha el cuerpo del gato levantador. El gancho en el extremo de la cadena del levantador se acopla a la argolla en el extremo de la barra de sujeción. Solamente se requiere un gato levantador por rampa ya que un hombre haciéndolo funcionar puede fácilmente levantar y bajar la

unidad de rampa. Generalmente, cuando dos unidades de rampa están trabajando lado a lado, los gatos levantadores se acoplan a las vigas exteriores de las unidades de rampa, dejando así un espacio libre de plataforma de 16 piés (4.877 m) de ancho para el tráfico de vehículos.

Dos tipos de montura de levantador están disponibles. Cuando una unidad de rampa se acopla al extremo del uniflote, se usa el *Tipo A (TSU.44/19)*; cuando una unidad de rampa se acopla al costado de un uniflote se usa el *Tipo B (TSU.44/19)*. Las monturas tipo B deben acoplarse a la borda en el lado opuesto del uniflote a los conectores de rampa.

El Gato Tirfor (Tractel) y su Montura apropiada (TSU.37/81) se pueden usar en lugar del Gato Levantador y Montura. El espacio libre en la plataforma entre la unidad de rampa y uniflote está cruzado por un *Panel Deslizante de Unión, TSU.44/5*. En la parte inferior del extremo del panel hay una serie de bloques de apoyo semiredondos los cuales se sitúan sobre el apoyo de la unidad de rampa. El otro extremo del panel (como su nombre lo implica) se desliza sobre la plataforma del uniflote mientras la unidad de rampa es levantada o bajada.

También para las rampas de carga, se proveen *Parihuelas de Madera para Rampa Parte No. T.S.U. 44/27* las cuales cambian en grosor dirigiéndose hacia arriba desde el extremo de la rampa al nivel del panel de tablero inclinado. Para facilidad de ensamblaje, la parihuela de rampa se divide en dos mitades, la más delgada de las cuales se debe ensamblar primero teniendo los extremos proyectados de sus correderas insertados en la placa de acero de protección soldada a la unidad de rampa en el extremo de nariz. Esta

placa de nariz y el apoyo para el panel de tablero inclinado en el extremo opuesto de la unidad de rampa evitan cualquier movimiento de punta de las parihuelas de madera; y una serie de orejas a lo largo de cada lado de la unidad de rampa evita el movimiento lateral. Igual que en las parihuelas del uniflote, se proveen tapas de madera removibles en la parihuela de rampa sobre las argollas de madera, permitiendo así que una unidad de rampa sea manipulada con grúa dentro del agua con su plataforma de madera ya en posición. En los uniflotes conectados a las rampas, se suprimen las parihuelas laterales de junta donde se encuentra el equipo de ajuste de rampa.

CAPÍTULO III

SELECCIÓN DEL PUENTE METÁLICO

MODULAR

CAPÍTULO III

SELECCIÓN DEL PUENTE METÁLICO MODULAR.

3.1 Principios del diseño de puentes metálicos modulares.

Los puentes metálicos modulares están conformados con piezas de acero de alta resistencia, soldadas, y se unen con otras por medio de ensamblaje con pernos y bulones, para la formación de módulos de vigas de 10 piés de longitud, con el panel de acero como elemento principal en la formación de las vigas.

Las piezas Bailey originales, fueron proyectadas para formar un puente simple, de tablero inferior, con la superficie de rodadura o calzada soportada por dos vigas principales. En la práctica, la teoría de una viga normal se aplica a una viga compuesta de paneles Bailey unidos con bulones, y elementos de arriostramientos horizontales y verticales que mantienen su geometría, de tal modo que se garantice su rigidez; consecuentemente, su inercia se incrementará con el aumento del número de paneles utilizados en la estructura.

El arriostramiento en forma de diamante, de los paneles modulares, es tal, que para todos los propósitos prácticos, la viga formada con estos paneles actúa como una viga de alma llena, en la que los cordones superiores e inferiores son los patines y los diagonales el alma. Las uniones entre paneles mediante bulones están con estrecho ajuste y cuando los paneles son conectados, extremo a extremo, el efecto de los esfuerzos locales o internos de sus piezas pueden ser ignorados. Cuando los paneles son conectados por bastidores de arriostramiento reforzados lado a lado con conexiones hechas a través de espigas y tuercas, resulta que una viga modular formada por acoplamiento lateral de

varios paneles, desarrolla una resistencia proporcional al número de paneles. El efecto de reforzar el cordón es, para incrementar el área efectiva de cada patín con el área del cordón de refuerzo.

3.2 Cargas que soportan los puentes metálicos modulares.

3.2.1 Cargas permanentes.

Los fabricantes de puentes metálicos modulares Bailey Thos Storey y Mabey Compact, han desarrollado sus propias tablas, donde describen el peso del módulo formado por 10 pies de longitud en cada tipo de modulación de puente metálico modular, incluyendo los elementos que componen la estructura principal del puente y sus piezas componentes complementarias. Con lo cual, se tendrá entonces, el peso muerto que tiene un puente y que es transmitido a las fundaciones. Ver tablas 3.1, 3.2 y 3.3. El anexo B, en la tabla B.1 muestra el peso de los puentes metálicos modulares en conjunto con sus elementos de apoyo y arriostamiento, según la longitud del puente, la tabla B.2 muestra el peso de las piezas individuales de los puentes Bailey, para revisiones de cargas.

Tabla 3.1 Pesos por tramo de 10 piés. Puentes Mabey Compact 200 con tablero de madera. – Paneles estándar. Dados en toneladas de 2,240 libras²⁶.

Modulación de vigas	Ancho de puente.		
	Anchura estándar.	Anchura extra.	
SS	2.19	2.57	
SSR	2.56	2.94	
SSRH	2.62	2.99	
DS	2.94	3.32	
DSR1	3.30	3.67	
DSR1H	3.37	3.74	
DSR2	3.66	4.03	
DSR2H	3.79	4.17	
TS	3.52	3.92	
TSR2	4.26	4.64	
TSR2H	4.40	4.78	
TSR3	4.62	5.00	
TSR3H	4.83	5.21	
Peso total adicional de los componentes de los extremos del puente			
SS(R)	0.59	0.72	
DS(R)	0.70	0.83	
TS(R)	1.05	1.18	
Peso por tramo de tablero – descontar si no se monta.			
Todo el tablero	1.15	1.43	
Tablones de piso + bordillos	0.72	0.85	
Bordillos solamente	0.57	0.71	
Peso adicional por tramos de paneles de alta resistencia al corte.			
Modulación de vigas	SS(R)	DS(R)	TS(R)
Añadir por tramos	0.1	0.19	0.29

Notas: los pesos suponen el empleo de tablones de piso de 10 cm de espesor con una densidad de 590 kg/m³ (conacaste). Cuando se utilizan paneles super, incrementar el peso 3%.

²⁶ Mabey & Johnson Ltd. Manual para puentes compact 200. Inglaterra. E-Mail: sales@mabey.co.uk.

Tabla 3.2. Pesos por tramo de 10 piés. Puentes Mabey Compact 200 con tablero de acero– Paneles estándar. Dados en toneladas de 2,240 libras.

Modulación de vigas	Ancho de puente.		
	Anchura estándar.		Anchura extra.
SS	2.06		2.57
SSR	2.42		2.94
SSRH	2.49		2.99
DS	2.80		3.32
DSR1	3.16		3.67
DSR1H	3.23		3.74
DSR2	3.52		4.03
DSR2H	3.66		4.17
TS	3.41		3.92
TSR2	4.12		4.64
TSR2H	4.26		4.78
TSR3	4.49		5.00
TSR3H	4.69		5.21
Peso total adicional de los componentes de los extremos del puente			
SS(R)	0.68		0.72
DS(R)	0.79		0.83
TS(R)	1.14		1.18
Peso por tramo de tablero – descontar si no se monta.			
Tablero y bordillos	1.02		1.33
Peso adicional por tramos de paneles de alta resistencia al corte.			
Modulación de vigas	SS(R)	DS(R)	TS(R)
Añadir por tramo	0.1	0.19	0.29

Notas: los pesos suponen el empleo de tablonos de piso de 10 cm de espesor con una densidad de 590 kg/m^3 (conacaste). Cuando se utilizan paneles super, incrementar el peso 3%.

Tabla 3.3 Pesos por tramos de 10 piés (3.048m). Puentes Bailey. Paneles estándar.

Dados en toneladas de 2,240 lb. Por módulo de 10 piés del puente²⁷.

Tipo de puente.	Estándar.		Estándar ensanchado.		Extra ancho.	
	2 Traveseros por módulo.	4 Traveseros por módulo.	2 Traveseros por módulo.	4 Traveseros por módulo.	2 Traveseros por módulo.	4 Traveseros por módulo.
S.S.*	2.00	-	2.59	-	3.04	-
S.S.R.*	2.43	-	3.02	-	3.47	-
D.S.*	2.60	3.04	3.19	3.78	3.64	4.23
D.S.R.*	3.46	3.90	4.05	4.64	4.50	5.09
T.S.*	3.17	3.60	3.75	4.35	4.20	4.80
T.S.R.*	4.47	4.90	5.05	5.65	5.50	6.10
D.D.*	3.77	4.20	4.36	4.95	4.80	5.40
D.D.R.*	4.63	5.06	5.22	5.81	5.66	6.26
T.D.*	4.91	5.34	5.49	6.09	6.04	6.63
T.D.R.*	6.21	6.64	6.80	7.34	7.34	7.93
D.T.*	5.36	5.79	6.03	6.62	6.49	7.08
T.T.*	7.07	7.50	7.74	8.33	8.28	8.88
Plataforma de madera.			0.53	0.58	1.23	
Largueros.			0.42	0.50	0.58	
Plataforma de acero y asfalto.			+0.20	+0.20	+0.35	
			<u>+0.70</u>	<u>+0.85</u>	<u>+0.95</u>	
Total.			0.90	1.05	1.30	

* Los valores incluyen el peso total del puente con su plataforma de madera y largueros.

Notas: los valores para “plataforma de madera” y “largueros” se dan separadamente, de manera que, cuando se requiere un puente sin plataforma, éstas pueden ser restadas de las cifras de la tabla principal. Los valores dados para “Plataforma de Acero y Asfalto” representan el aumento sobre plataforma de madera y deben agregarse a los de la tabla principal, cuando se requiere plataforma de acero.

²⁷Fuente: Thos storey ltd, 1970. Manual Bailey y Uniflote, Capítulo IV. Tabla1 página 184.

3.2.2 Cargas vivas.

La carga viva vehicular de puentes, en carreteras, 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. Las cargas normadas para el diseño de puentes carreteros Británicos, Americanos y Canadienses que se aplican para la valoración de capacidad para absorber carga viva de los puentes metálicos modulares, es la que se describe en los siguientes apartados.

3.2.2.1 Camión de diseño y Carga de carril.

3.2.2.1.1 Cargas Británicas.

Carga H. A. (B. S. 5400) Tráfico normal. Comprende una carga puntual combinada con una carga uniformemente distribuida coexistente, que varía en intensidad con el tramo de luz, considerando como carga fina la siguiente:

- I. Carga puntual para todas las luces = 12,232 toneladas.
- II. Carga uniformemente distribuida = 3,058 toneladas por metro, hasta 30 metros, y $15.39 \times (1/L) 0.475t/m$, para luz mayor que 30 metros.

Para puentes de carril sencillo, en los que la anchura de calzada exceda de 3.5 metros, la carga fina de diseño se incrementa en $(W/3)$. Para puentes de carriles múltiples, la carga fina de diseño se multiplicará por el número de carriles.

Carga H.B. (B.S. 5400) Vehículo anormal (30 unidades). Los puentes de carril sencillo se cargarán de conformidad con la figura 3.1.

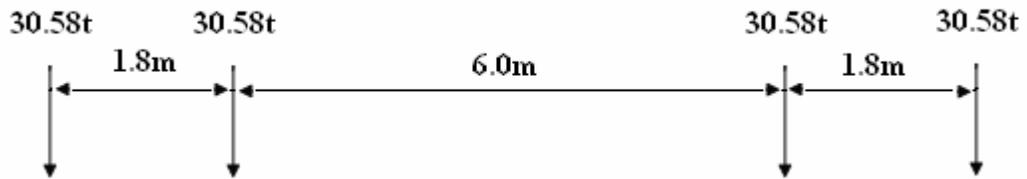


Figura 3.1 Carga H.B. Británicas.

3.2.2.1.2 Cargas Americanas (AASHTO).

Carga HS20-44. Consiste en dos formas alternativas de carga para carretera, las cuales se analizan para el claro de diseño como sigue:

- A. Carga del vehículo. Cargas de ejes en toneladas y espaciados en metros, ver figura 3.2.

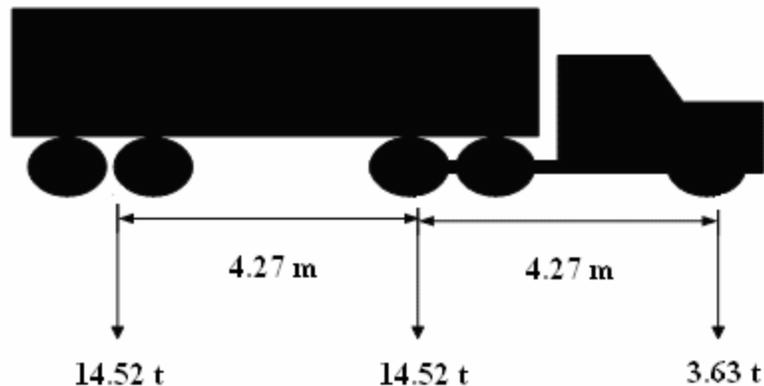


Figura 3.2 Carga Americana HS20-44.

B. Carga del carril, comprende una carga uniformemente distribuida combinada con una carga puntual coexistente.

I. Carga uniformemente distribuida, 0.952 toneladas por metro.

II. Carga puntual, 11.79 toneladas para evaluación de la resistencia al corte y 8.16 toneladas para evaluación del momento.

La carga HS25-44, es de idéntica configuración que la carga HS20-44, salvo que todas las cargas se incrementarán en 25%.

3.2.2.1.3 Cargas canadienses.

Carga MS250 consiste en dos formas alternativas de carga de carretera, ambas de las cuales se analizan para el claro de diseño como sigue:

A. Carga de vehículo, ver figura 3.3.

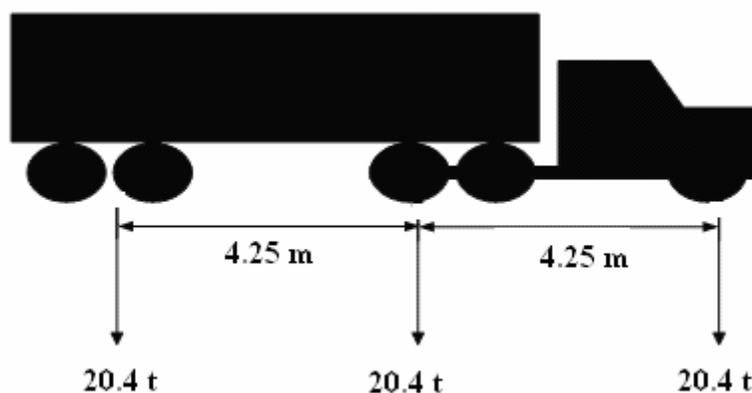


Figura 3.3 Carga Canadiense MS250.

B. Carga de carril.

I. Carga uniformemente distribuida 1.274 toneladas por metro.

- II. Carga puntual 16.56 toneladas para evaluación de resistencia al corte y 11.47 toneladas para evaluación de momento.

3.2.3 Cargas de impacto.

Las cargas de impacto se deben al efecto dinámico de las cargas de un vehículo pasando sobre la estructura, AASHTO 3.8.2, 1994, establece el factor de impacto, en un incremento porcentual sobre la carga de diseño del puente, ya que las cargas llevadas sobre un puente están en movimiento, sus pesos estáticos actuales, deben ser incrementados para cubrir los esfuerzo adicionales producidos en la estructura del puente, debido a vibraciones ocasionadas por la velocidad a que la carga es aplicada, brinco de ruedas, efectos de frenado y aceleración, etc. El factor de incremento por impacto, mínimo, es 25%, para vehículos que caminan por su propia fuerza, y se calculará con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{15.24}{L + 38} \quad (\text{ecuación 3.1})$$

donde:

I: Factor de impacto, en porcentaje.

L: largo del puente, en metros.

Los valores numéricos son propios de datos experimentales ya dados.

3.3 Capacidad de la estructura.

La carga de trabajo de la armadura de los puentes Bailey, está determinada mediante factores de seguridad que garanticen estabilidad, permanencia de buenas condiciones y la no existencia de esfuerzos residuales en la resistencia proyectada de cada construcción diseñada, ver tabla 3.4.

Tabla 3.4 Capacidad total de cortante para modulaciones de vigas normales de puentes Bailey.

Modulación de vigas.	Valores en toneladas.		
	Carga de prueba.	Carga de falla.	Carga de trabajo.
Simple Simple.	56	64	30
Doble Simple.	93	100	60
Triple Simple.	115	135	80
Doble Doble.	125	160	100
Triple Doble.	150	210	135
Doble Triple.	125	160	100
Triple Triple.	150	210	135

Estos valores están basados en las pruebas realizadas por el Establecimiento Experimental de Ingeniería Militar (M.E.X.E.) y las cargas de trabajo recomendadas son sugeridas por Thos. Storey (Ingenieros) Ltd. La carga de trabajo debe cubrir la carga muerta, viva y efecto dinámico.

3.3.1 Capacidad para absorber cargas a imponer.

En el anexo A, las tablas propias de los fabricantes de puentes metálicos modulares Bailey Thos. Storey y Mabey compact, son guías de comparación para los esfuerzos

cortante y flexionante producidos por las cargas vivas de diseño, calculadas individualmente a cada modulación de vigas y longitud del puente, considerando inercia y módulo de elasticidad. El peso propio de cada tipo de puente, ya ha sido calculado y restado del máximo esfuerzo cortante y flexionante de la estructura. Los valores tabulados son, los valores netos disponibles para carga viva y carga de impacto en cada caso. Puesto que los puentes con tablero de acero y superficie asfáltica son más pesados que los de plataforma de madera, las tablas se dividen para estos dos tipos.

3.3.2 Capacidad portante de las fundaciones.

El apoyo²⁸ de los extremos de los puentes metálicos modulares pueden ser losas de fundación, estribos con cabezal, pilas de concreto reforzado con acero, o puramente pila de acero, estas subestructuras se realizan a partir de un estudio, en el lugar de emplazamiento, sea un cauce o cualquier claro particular a salvar.

Los estribos de apoyo, generalmente son muros de mampostería de piedra con geometría prismoidal. El material de construcción es piedra reventada, con aristas pronunciadas, cuyos diámetros son mayores que treinta centímetros, efectuándose la unión entre ellas por medio de mortero hecho de cemento y arena (1:4). Este tipo de muro es el más comúnmente usado, por tener menor costo, en los proyectos; su construcción puede requerir más tiempo de ejecución que los de otro tipo. Al borde de un cauce, para el

²⁸ Los apoyos del puente en sus extremos o al interior del claro, estarán sujetos a evaluación, de las condiciones natural cuando son nuevos apoyos a colocar, y cuando ya existan algunos, será más cuidadosa la evaluación para cuando se trate de hacer uso de estos ya que no se pondrá en riesgo la estructura a colocar, porque se trata de resolver un problema existente y no complicarlo e invertir más de lo que se requiera.

apoyo de un puente metálico modular, los apoyos pueden consistir en muros de gravedad, muros de concreto reforzado, muros flexibles a base de gaviones, etc., diseñados resistentemente, para soportar a las fuerzas actuantes, tales como el empuje del suelo contra el respaldo, reacción normal del suelo sobre la base del muro, fuerzas de fricción que se desarrollan entre el suelo y la base del muro, presiones hidrostáticas, fuerzas de filtración del agua a través del relleno, subpresiones provocadas por el agua retenida en la base, sobrecargas en el relleno; vibraciones producidas por el tráfico sobre caminos, fuerzas de impacto debidas al frenado de los vehículos, fuerzas sísmicas, producidas por temblores en la masa del suelo y la capacidad para soportar la carga concentradas producidas por el puente metálico modular que se monte en la corona o parte superior del estribo. Así mismo, las sobrecargas que ocurran durante el montaje, si las hubiere.

Para calcular cualquier tipo de muro que sirva de estribo, su proceso de diseño será el siguiente: se proponen las dimensiones tentativas del muro, de acuerdo con las condiciones existentes y se analiza la estabilidad frente a las fuerzas que lo solicitan, tal que cumpla con los requisitos estructurales requeridos²⁹. También, las propiedades físicas y mecánicas del suelo, pesos volumétricos, ángulo de fricción interna y la cohesión, se determinan las magnitudes de las fuerzas estabilizadoras y las que pueden provocar volteo o deslizamiento del muro, calculadas a partir de la teoría de Rankine.³⁰

²⁹ Ver Ministerio de obras públicas. 1994. Norma técnica para el diseño de cimentaciones y estabilidad de taludes. Reglamento para la seguridad estructural de las construcciones.

³⁰ La estabilidad de los muros de retención depende del empuje pasivo, empuje activo y empuje dinámico según la teoría de Rankine. Sowers y Sowers. 1983. Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones. Primera edición. Editorial Limusa. México.

Así, el empuje pasivo es la resistencia que una masa de suelo opone a su desplazamiento cuando es solicitada por una fuerza lateral. El empuje pasivo actúa a $H_1/3$ (ecuación 3.1) del nivel del lado pasivo. El empuje pasivo total por metro lineal de muro, para suelos no cohesivos es el siguiente:

$$E_p = (1/2) \gamma_s H_1^2 K_p \quad (\text{ecuación 3.2})$$

donde:

E_p : empuje pasivo.

γ_s : peso volumétrico del suelo.

H_1 : altura del lado pasivo.

K_p : coeficiente de presión pasiva.

El empuje activo estático, es el que produce una acción en el muro, debido a la carga gravitacional de la masa de suelo que es retenida por el paramento interno, y se calcula con la siguiente expresión:

$$E_a = (1/2) \gamma_s H^2 K_a \quad (\text{ecuación 3.3})$$

donde:

E_a : empuje activo.

γ_s : peso volumétrico del suelo.

H : altura del lado activo.

K_a : coeficiente de presión activa.

El empuje activo dinámico, es una carga adicional que se provoca al muro por efecto de las fuerzas eventuales, tales como los movimientos sísmicos en el suelo. Según el Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de El Salvador (art. 140), estas se deben

tomar en cuenta para efectos de diseño del muro, para que las fuerzas que tienen lugar por efectos de la aceleración en el suelo no provoquen su inestabilidad. Estas se calcularán así:

$$E_{DH} = (3/8) \gamma_S H^2 (A_h \text{ máx}). \quad (\text{ecuación 3.4})$$

$$E_{DV} = (1/2) \gamma_S H^2 (A_v \text{ máx}). \quad (\text{ecuación 3.5})$$

donde:

E_{DH} : empuje dinámico horizontal, que actúa a 0.6H sobre la base del muro, en toneladas.

E_{DV} : empuje dinámico vertical, que actúa a 0.2H del talón del muro, y debe traducirse en fuerza lateral aplicada a H/3 del muro.

γ_S : peso volumétrico del suelo (relleno), en toneladas/m³.

H: altura del muro en metros.

$A_h \text{ máx}$: coeficiente de aceleración horizontal.

$A_v \text{ máx}$: coeficiente de aceleración vertical.

Los coeficientes de aceleración horizontal y vertical para la zona I como para la zona II del Reglamento de emergencia de diseño sísmico de El Salvador (R.E.D.S.E.S.) 1986 son los siguientes:

Tabla 3.5 Coeficientes³¹ de aceleración sísmica.

Coeficiente	Zonas	
	I	II
$A_h \text{ máx}$	0.20	0.1
$A_v \text{ máx}$	0.10	0.05

³¹ En la práctica, algunos diseñadores consideran una sola zona y un solo coeficiente sísmico adoptando por seguridad, el mayor valor.

Además, las sobrecargas debido al peso propio del muro y el suelo retenido que actúa sobre el respaldo, su espesor se calcula con la ecuación 3.6, así:

$$H_{SC} = W/\gamma_s \quad (\text{ecuación 3.6})$$

donde:

H_{SC} : altura de sobrecarga, en metros.

W : carga distribuida, en tonelada/m.

γ_s : peso volumétrico del suelo, en tonelada/m³.

El valor de H_{SC} permite considerar una altura mayor del relleno, lo que origina dimensiones mayores del muro, necesarias para resistir los efectos adicionales por sobrecarga.

Para muros de mampostería de piedra, de acuerdo con la teoría de Rankine, las fuerzas que actúan son, el empuje pasivo, empuje activo y empuje activo dinámico, que se muestran en la figura 3.4.

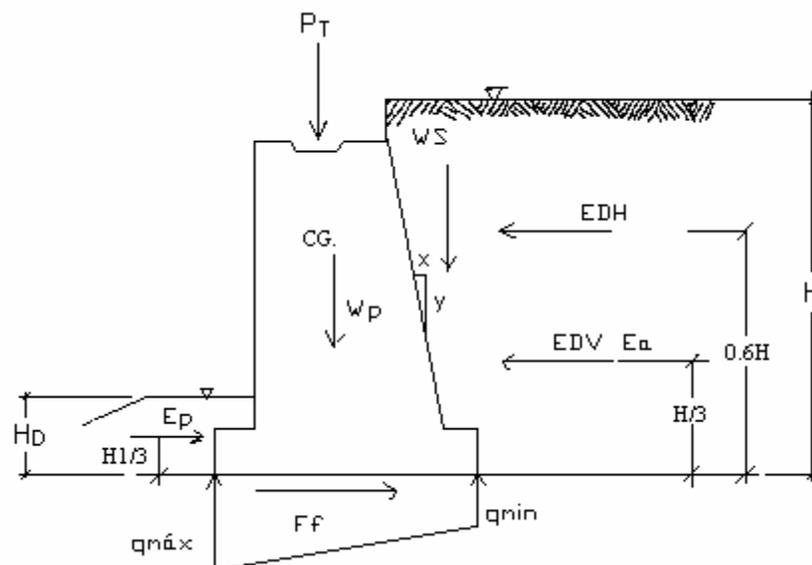


Figura 3.4 Fuerzas sobre un estribo de mampostería de piedra.

Determinando las fuerzas de empuje, se revisa el cumplimiento de factores de seguridad del muro proyectado, comparando con la tabla 3.6.

El factor de seguridad por volteo (F.S.V.) respecto al pié del muro, se calcula así:

$$F.S.V. = M_R/M_A \quad (\text{ecuación 3.7})$$

donde:

M_R : Momento resistente.

M_A : Momento actuante.

El factor de seguridad al deslizamiento (F.S.D.) se calcula así:

$$F.S.D. = F_R/F_A \quad (\text{ecuación 3.8})$$

donde:

F_R : fuerza de fricción que se opone al empuje activo ($F_R = \Sigma F_v \times \tan$ (ángulo de rozamiento de suelo con el muro)) más el empuje pasivo.

F_A : fuerzas actuantes en la espalda del muro.

Tabla 3.6 Factores de seguridad para muros.

Tipo de carga	F.S.
Sólo carga permanente	3
Carga permanente más carga viva eventual	2.0-2.5
Carga permanente, carga viva y efecto de sismo	1.2-1.5

La presión producida en los extremos de la base del muro (q_{\max} y q_{\min}) se compara con la capacidad soportante del suelo sobre el cual descansa el muro. La presión al pié debe ser menor que la presión soportante del suelo que se encuentra debajo de la base.

$$q_{\text{máx}} = \frac{2 \sum F_v}{3x} \quad (\text{ecuación 3.9})$$

$$x = \frac{M_R - M_A}{\sum F_v} \quad (\text{ecuación 3.10})$$

donde:

$\sum F_v$: sumatoria de fuerzas verticales.

M_R : momento resistente.

M_A : momento actuante.

La carga (q) del suelo, para su estabilidad, es la capacidad del suelo para soportar las cargas impuestas o solicitadas sin que se produzcan fallas dentro de su masa. Esta varía con la resistencia del suelo y con la magnitud y distribución de la carga, puntual, uniforme u otra, a transmitir. Así, la carga admisible (q_{adm}) en una cimentación, es la que puede ser aplicada sin producir estados de falla, ni indicios de esta en el suelo, a partir de la estructura soportada. Se obtiene dividiendo la capacidad de carga (q_d) por un factor de seguridad que Terzaghi recomienda que no sea menor que tres (F.S.>3).

Según las experiencias de Karl Terzaghi³², relativas a cómo las cimentaciones fallan por capacidad de carga, esta ocurre al sobrepasar el esfuerzo cortante del suelo de desplante de la cimentación. Son tres los tipos clásicos de falla bajo las cimentaciones:

- a) Falla general por esfuerzos cortantes. Se tiene en arenas densas y arcillas rígidas (suelos prácticamente incompresibles o suelos compactos) se caracteriza por la

³² Terzaghi y Peck. 1962. Ingeniería Práctica en las cimentaciones. Segunda Edición. Editorial ATENEO Buenos Aires.

presencia de una superficie de deslizamiento continua dentro del terreno, que se inicia en el borde de la cimentación.

- b) Falla por punzonamiento (en suelos muy compresibles en relación con su resistencia al corte) se caracteriza por un movimiento vertical de la cimentación mediante la compresión del suelo inmediatamente debajo de ella.
- c) Falla local por esfuerzos cortantes. Se tiene en arenas medias y flojas y en arcillas suaves (suelos altamente compresibles o suelos sueltos) representa una transición entre las dos anteriores, ya que tiene características del tipo de falla por corte general, por ejemplo punzonamiento.

En el caso de falla general, en una cimentación continua (corrida) para el instante de la falla, el Dr. Terzaghi presentó la ecuación para determinar la capacidad de carga como sigue:

$$q_d = C N_c + \gamma_h D_z N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \quad (\text{ecuación 3.11})$$

N_c , N_q y N_γ , son coeficientes adimensionales que se les llama factores de capacidad de carga, estos dependen únicamente del ángulo de fricción interna del suelo y son debidos a la cohesión, a la sobrecarga y al peso del suelo.

Con la ecuación 3.11 se puede calcular la capacidad de carga límite (q_L) de una cimentación continua y poco profunda (profundidad con desplante igual o menor que el ancho de la cimentación). Cuando se trate de falla local y punzonamiento, el Dr. Terzaghi corrigió su fórmula para falla general así:

$$q_d = C N_c + \gamma_h D_z N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \quad (\text{ecuación 3.12})$$

Los valores de N_c , N_q y N_γ , para falla general, se obtienen empleando las curvas de trazo continuo de la figura 3.5 y los valores N_c' , N_q' y N_γ' , para falla local, se emplean las curvas punteadas.

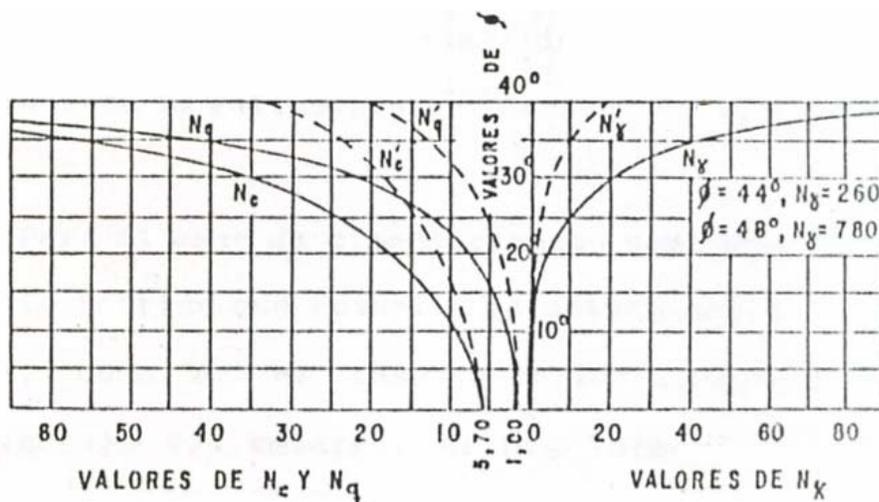


Figura 3.5 Factores de capacidad de carga para aplicación de teoría de Terzaghi.

Con el valor de ángulo de fricción interna, en el gráfico de la figura 3.5, se entra en el eje de las ordenadas, trazando una línea horizontal, hasta donde intercepte la línea continua de N_c , N_q y N_γ , luego se traza una línea vertical, hasta interceptar el eje de las abscisas, en donde se obtienen los valores respectivos.

En el caso de falla local y punzonamiento, se considera que el suelo es particularmente flojo o poco compacto (por ejemplo relleno reciente), Terzaghi propuso utilizar la misma fórmula de falla general, pero reduciendo un tercio la cohesión (C), o sea que $C' = 2/3 C$, la ecuación quedaría así $q_d = 2/3 C N_c + \gamma_h D_z N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma$ (ecuación 3.13), esto para asegurar, los estados de esfuerzos y deformación, resistencia o capacidad de carga,

estabilidad del suelo y, también, que se mantenga la estructura en términos de funcionalidad.

Los puentes metálicos modulares se diseñan para ser soportados en cuatro puntos esquineros de la estructura, sobre placas de apoyo de asiento³³ (ver figura 2.25) especialmente diseñadas para distribuir la carga puntual producida en los postes finales bajo los apoyos de cojinete; esta carga se determina a partir de la carga muerta del puente (ver Anexo B) y el cortante máximo producido por los vehículos de diseño. Cualquiera que sea la subestructura, la placa de apoyo del puente deberá tener una capacidad soportante de al menos 25 toneladas en el área de colocación.

Cuando el asiento de un puente metálico modular es un estribo de mampostería de piedra, se diseña un cabezal de concreto reforzado apropiado para que permita guardar la diferencia de nivel causada por la elevación de la placa de la apoyo y el nivel de la calzada del puente, reduciendo la altura de rampa, ver figura 3.6.

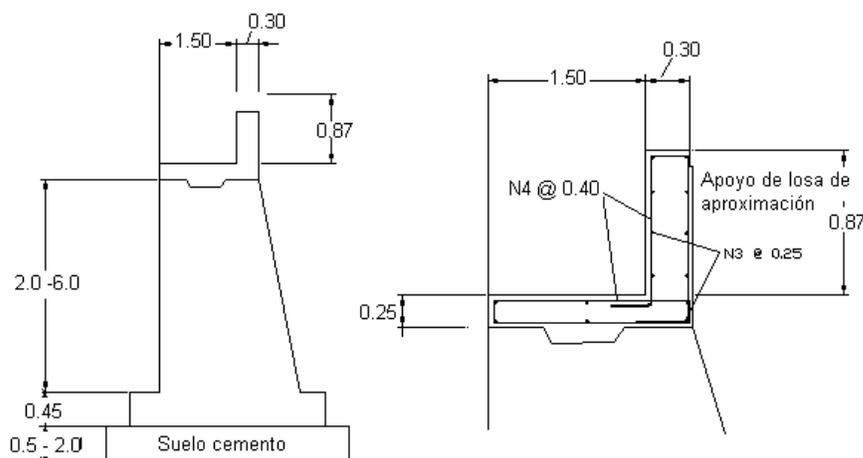


Figura 3.6 Cabezal de estribo para puentes metálicos modulares.

³³ Braja Das. Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta edición. Editorial Thomson.

El cabezal de estribo puede ser de una losa de concreto reforzado unida con un diente sobre un muro de retención de mampostería, para tener una superficie nivelada que asiente las placas de apoyo, el peso del puente, el esfuerzo de empuje, causado por el tráfico vehicular y la construcción de un paramento, también de concreto reforzado, para la retención del material de relleno por el cambio de nivel entre la placa de asiento y el nivel de la calzada en la longitud transversal sobre el estribo, ver figura 3.7. Otro tipo de apoyo es la construcción de cubos de mampostería con una losa de concreto reforzado, cuadrada, unidos con un tensor de concreto reforzado para distribuir la carga puntual sobre la placa de asiento, producida por los postes finales del puente, ver figura 3.8.



Figura 3.7 Estribo de concreto para puentes metálicos modulares, con las varillas vistas del cabezal de estribo vertical, para el lanzamiento del puente y posterior colado.

Comunidad Nueva Inglaterra. San Salvador.

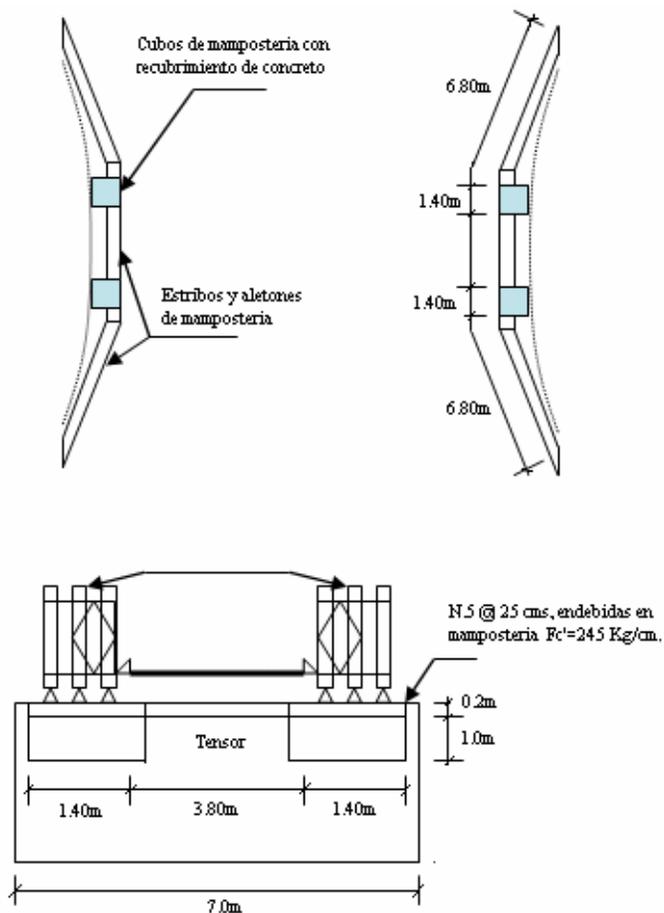


Figura 3.8 Cubos de mampostería con losa de concreto y tensor de apoyo de puentes metálicos modulares.

3.3.3 Propiedades mecánicas de los elementos que conforman los puentes metálicos modulares.

El acero estructural de alta resistencia que se usa en la fabricación de las piezas de los puentes Bailey, cumple las especificaciones Británicas BSS.968³⁴ con requerimientos de contenido de carbón y manganeso, que difieren ligeramente.

³⁴ Normas Británicas British Estándar (BSS).

Sus propiedades mecánicas son las siguientes:

Carga de rotura, 35 a 40 toneladas por pulgada cuadrada (55-63 kg por mm²).

Límite elástico, 23 toneladas por pulgada cuadrada (36.2 kg por mm²).

Elongación: 14% para secciones con espesor menor que 3/8 de pulgada de espesor.

18% para secciones con espesor entre 3/4 a 3/8 de pulgada de espesor.

Las principales piezas Bailey hechas con este acero son:

- Paneles BB.1 (Cordones, montantes, diagonales).
- Travesero estándar BB.5.
- Travesero estándar ensanchado BB.105.
- Travesero extra ancho BB.133.
- Tornapuntas BB.3.
- Rampa plana BB.24.
- Rampa de Botones BB.25.
- Viga de distribución BB.154.
- Crib plano BB.72.
- Crib plano extra ancho BB.60.
- Cordones de refuerzo BB.150.

Otras piezas, se fabrican con acero dulce tipo BSS.15, que tiene límite elástico mínimo de 15.25 tonelada/pulg² (24 kg/mm²). Los emparrillados y los bastidores de arriostramiento ligeros, se fabrican con esta clase de acero.

El acero del bulón de panel Bailey, es aleación de manganeso-molibdeno, níquel-cromo, níquel-cromo-molibdeno o níquel-acero, con las siguientes propiedades mecánicas:

- Límite Elástico: no menor que 50 toneladas/pulg² (78.5 kg/mm²).
- Prueba de dureza I20D: no menor que 40 lb por pié.
- Fatiga en la estructura de acero, soldada, que conforma el panel Bailey. Los puentes de carreteras se proyectan con vida de fatiga de 2×10^6 ciclos y para asegurarse que un puente está libre de fatiga, se permite la fluctuación máxima de tensión de 4 toneladas por pulgada cuadrada (6.3 kg por mm²) de conformidad con la especificación B.S. 153. para puentes permanentes teniendo en cuenta una serie de cargas³⁵. Se pueden obtener tensiones hasta de 15 toneladas por pulgada cuadrada (23.6 kg por mm²) en el funcionamiento normal para uso militar, por ser de corto plazo, ya que las condiciones de fatiga no son relevantes.

Las tablas en el Anexo A, se refieren a la capacidad de esfuerzos cortantes y flexionantes para puentes metálicos modulares Bailey, calculadas para tensiones máximas de flexión de 11 toneladas por pulgada cuadrada (17.3 kg por mm²), este valor, escogido como promedio entre el requerimiento de vida larga para puentes permanentes y la amplia variación de esfuerzos por carga muerta que se presentan en las múltiples construcciones con equipo Bailey, sobre condiciones de cargas variables. También, las tablas dan los momentos de flexión disponibles para cargas vivas y son solamente una guía, cuyos valores pueden variar en aplicaciones específicas, calculando los esfuerzos mediante el uso de momentos de inercia y módulos de sección para varias

³⁵ Determinado por el Establecimiento experimental de Ingeniería Militar (M.E.X.E.)

combinaciones de paneles, (ver tabla 3.7), para determinar exactamente los esfuerzos desarrollados en las piezas Bailey de acero, especificación B.S.978, que de acuerdo con las especificaciones B.S. 153, parte 3B, permiten tensión máxima a la flexión (tensión o compresión) de 14.2 toneladas por pulgada cuadrada (22.4 kg por mm²); en otras estructuras que no estén sujetas a esfuerzos fluctuantes por un largo periodo, se pueden permitir tensiones mayores.

Tabla 3.7 Momentos de inercia para las modulaciones de vigas de puentes Bailey.

Modulación	I (pulgadas) ⁴	cm ⁴	Z(pulgadas) ³	cm ³
S.S.	13600	566070	446	7308
D.S.	27200	1132140	892	14617
S.S.R	31300	1302800	906	14846
T.S.	40800	1698200	1338	21925
Q.S.	54400	2264290	1784	29234
D.S.R.	62600	2605600	1812	29693
D.D.	116688	4856900	1912	31331
T.S.R.	93900	3908400	2718	44540
T.D.	175032	7285350	2868	47000
D.T.	330520	13757200	3612	59190
C.S.R.	125200	5211200	3624	59380
C.D.	233376	9713800	3824	62664
D.D.R.	249488	10384440	3838	62890
T.T.	495780	20635850	5418	88780
T.D.R.	374232	15576650	5757	94340
D.T.R.	622920	25927800	6520	106843
C.T.	661040	27514400	7224	118380
C.D.R.	498976	20768880	7676	125780
T.T.R	934380	38891700	9780	160260
C.T.R.	1245840	51855600	13040	213680
Momentos de inercia para las diferentes piezas componentes de puentes Bailey.				
Travesaño estándar	122	5078	24.5	402
Travesaño extra ancho	221	9198	36.8	603
Larguero de tres viguetas	11	458	5.5	90

3.3.4 Resistencia de las piezas componentes y fenómenos locales.

A continuación, se describen las piezas principales que conforman los puentes Bailey.

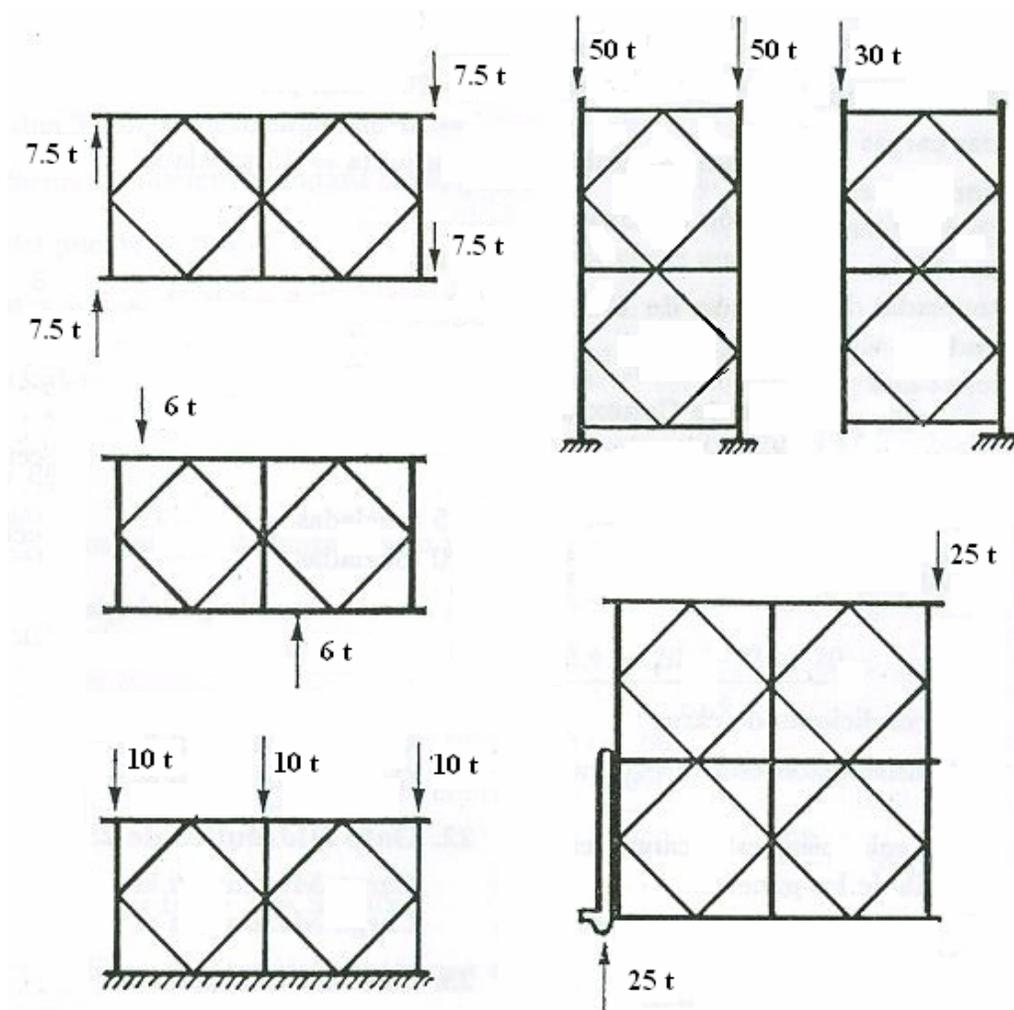


Figura 3.9 Resistencia a fuerzas puntuales de paneles Bailey, por efecto de la fuerza cortante y la cupla activa.

1. Paneles. Momentos de inercia del panel = $6,800 \text{ pul}^4 = 282,000 \text{ cm}^4$. Módulo resistente del panel = $223 \text{ pulg}^3 = 3,650 \text{ cm}^3$. Momento de flexión permisible a 11 toneladas por pulgada cuadrada = 205 toneladas por pie. Momento de flexión permisible a 17.3 kilogramos por milímetro cuadrado = 63,500 kilogramos por metro.

El cortante máximo admisible por armadura, en el extremo del puente (con el poste final fijado) es: 15 toneladas para armaduras de un solo piso, y 25 toneladas para armaduras de doble o triple piso.

2. Poste final (macho y hembra) BB.62 y BB.63. La carga máxima sobre el poste final, cuando se asienta en un apoyo y se asegura con bulones a los paneles es 25 toneladas.

3. Travesero estándar, (BB5). El momento máximo de flexión, admisible, a 11 toneladas por pulgada cuadrada es 22.5 toneladas por pié = 6,960 kilogramos por metro. El cortante máximo vertical es 18 toneladas. El momento máximo por flexión, admisible es 2.6 toneladas por pié (893 kilogramos por metro).

4. Travesero estándar ensanchado (BB.105) o extra ancho (BB.133). El momento máximo de flexión admisible a 11 toneladas por pulgada cuadrada es 34 toneladas por pié (10,500 kilogramos por metro). El cortante máximo vertical es 21.5 toneladas. Sobre su eje menor, el máximo momento por flexión, admisible, es 3.6 toneladas por pié (1,100 kilogramos por metro).

5. Bastidor de arriostamiento (BB2). (Ver figura 3.10).

6. Tornapuntas. Tensión de tracción o compresión 2.25 toneladas.

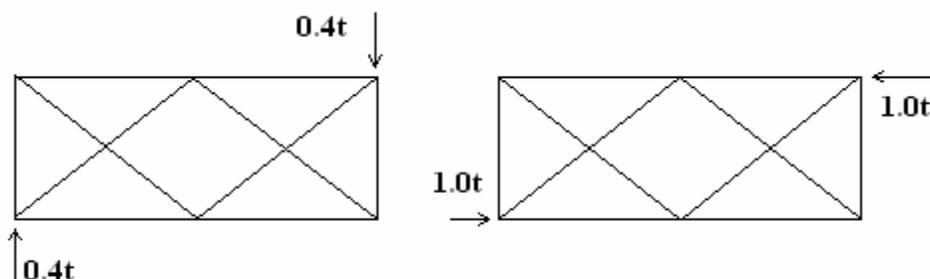


Figura 3.10 Resistencia al momento par, en un bastidor de arriostramiento BB.2.

7. Bulón de panel. El cortante en condición normal, cuando se conectan dos paneles juntos es de 55 toneladas.
8. Emparrillado (plano o de botones). El momento máximo de flexión admisible por viguetas, a 10 toneladas por pulgada cuadrada es 1.5 toneladas por pie. El momento máximo de flexión admisible a 15.75 kilogramos por milímetro cuadrado es 465 kilogramos por metro.
9. Diagonal de arriostramiento (estándar, estándar ensanchado o extra ancho). La carga axial máxima por tensión es 7 toneladas.
10. Perno de cordón o pasador de tornillo. Cortante (en su diámetro mayor) 15 toneladas, tracción 8 toneladas.
11. Perno de arriostramiento y perno de trinca, el cortante es de 2.5 toneladas.
12. Torniquete travesero. Cuando se usa normalmente engrapando el travesero al panel, la carga máxima hacia arriba es 2 toneladas.

13. Apoyo de cojinete. Tiene una capacidad de absorber una carga puntual de 40 toneladas aplicada el tercio medio y dos carga de 30 toneladas a los tercios extremos, posiciones de los postes finales, ver figura 3.11.

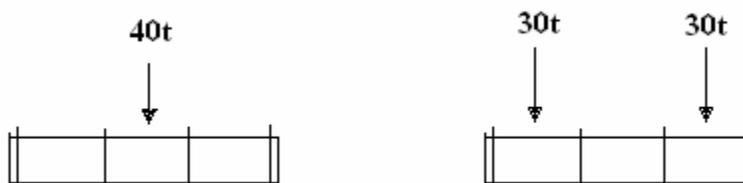


Figura 3.11 Resistencia a la carga puntual del apoyo de cojinete (BB.19).

14. Rampa (plana o de botones). El momento máximo de flexión admisible a 11 toneladas por pulgada cuadrada por vigueta es 5 toneladas por pié. El momento máximo de flexión admisible a 17.3 kilogramos por milímetro cuadrado es 1.55 kilogramos por metro.

15. Eslabón de unión (BB.70). La carga máxima total es 22.5 toneladas, eslabón de unión (BB.166) su carga máxima total es 45 toneladas.

16. Poste de conexión (macho y hembra). El momento máximo de flexión cuando las cargas superiores hacen tope es 200 toneladas por pié (62,000 kilogramos por metro). El cortante máximo a través de la junta inferior de dos partes conectados con Bulones es 12 toneladas.

17. Viga de distribución.

I. Cuando el centro de la viga de distribución está directamente bajo una junta de bulón de panel, la carga máxima a soportar es 50 toneladas.

II. Cuando la viga de distribución está en cualquier otra posición bajo el cordón de los paneles, la carga a soportar es de 40 toneladas.

18. Rodillo basculante. Su máxima carga total es 21 toneladas.

19. Rodillo fijo. Su carga máxima en cada rodillo es 6 toneladas.

20. Viga de balanceo. La viga de balanceo lleva cuatro rodillos basculantes, cada uno de los cuales soporta 21 toneladas. La carga total sobre la viga de balanceo, es de 84 toneladas.

3.4 Tipos de reforzamiento.

Los puentes Bailey tienen reforzamiento aumentando la sección del patín de cordón de las vigas maestras mediante el uso de cordones de refuerzo en los extremos superiores e inferiores.

Para puentes de modulación SSR, DSR2, TSR3, y QSR4, los refuerzos se montan en todas las líneas de paneles, la modulación DSR1 utilizan cordón de refuerzo solamente en las líneas de paneles interiores, la modulación TSR2 utiliza cordón de refuerzo en las líneas de paneles interiores y exteriores.

El cordón de refuerzo, puede ser utilizado en los tramos intermedios del puente, en los extremos superiores y en los extremos inferiores del panel. Tales modulaciones se identifican mediante el uso de la letra “D” y “N” respectivamente, es decir, la modulación SSD tiene sólo los cordones superiores reforzados, mientras que la modulación SSN tiene sólo los cordones inferiores reforzados, tales tramos quizás no requieran que se monten refuerzos de cordón a todas las líneas de paneles. Por ejemplo,

la modulación DSN1 tiene cordones inferiores reforzados en las líneas de paneles interiores. Los refuerzos de cordón, pueden ser con resistencia estándar y pesada para puentes Mabey compact, los refuerzos de cordones pesados (MC304) son identificables mediante pequeñas placas incorporadas en las almas de los canales, próximos al extremo macho. Los refuerzos de cordones estándar (MC302), no tienen esas placas. Los refuerzos de cordones pesados, imparten mayor resistencia a la flexión para el puente que los refuerzos de cordones estándar.

Tabla 3.8 Cantidad de piezas para refuerzo de puentes Mabey Compact 200.

Modulaciones	SSD SSN DSN1 TSN1	DSD DSN2 TSN2 QSN2	SSR DSR1	DSR2 TSR2	TSR3 QSR3	QSR4
Componentes	Cantidad					
Refuerzo de cordón MC302	2	4	4	8	12	16
Perno de cordón MC433	8	16	16	32	48	64
Tuerca- M24 MC436	8	16	16	32	48	64
Pasador de panel MC307	8	4	4	8	12	16
Clip de seguridad MC307A	4	8	8	16	24	32

3.5 Selección de un puente metálico modular.

3.5.1 Criterios básicos para la selección de puentes metálicos modulares.

Para seleccionar apropiadamente un puente metálico modular, se toman en cuenta los siguiente criterios: 1) longitud y ancho requerido, 2). Peso propio y magnitud de la carga a soportar.

1. Longitud requerida, exacta. Es el ancho de la cortadura que se va cruzar, más una distancia a cada extremo desde la cara de corte, la distancia de aproximación a la entrada del puente, tal que se garantice la estabilidad del talud y la del estribo de soporte para transmitir las cargas del puente sobre las cimentaciones para que se distribuyan adecuadamente en el subsuelo. También, el ancho de vía necesaria para el tránsito.
2. El peso propio y la magnitud de la carga a soportar se conocen previamente, cuando un puente tiene que ser proyectado para satisfacer cargas locales o nacionales especificadas en la SIECA. También, cuando un puente se construya para soportar alguna carga pesada como un equipo militar o industrial. Cuando las cargas estimadas se han proyectado para una máxima resistencia, se colocan letreros limitando las cargas que puedan cruzar, y a la carga pesada, ocasional, se le indica que deberá tomar otra ruta. Para seleccionar un puente metálico modular, lo mejor es conocer las cargas reales a soportar, el número y espaciamiento de ejes, la carga de cada eje y la carga máxima por rueda. Esta última, será necesaria para determinar el esfuerzo máximo en la viga principal, y el tipo de plataforma a utilizar.

Selección de calzada. El conocimiento previo de las cargas a imponer, permitirá seleccionar, inicialmente, el tipo de tablero para el puente, este puede ser de madera o acero. El tablero de madera Bailey está proyectado para una carga máxima por rueda de 6 toneladas y el tablero de acero Bailey, está proyectado para una carga máxima por rueda de 11 ¼ toneladas, esta carga, está basada en el tamaño normal de ruedas. Algunos tipos de maquinarias modernas llevan ruedas gigantes neumáticas, y puede suceder, que

tal rueda soporte 12 toneladas, esto, tendrá un efecto menor, en el tablero, que una rueda normal de 6 toneladas, debido a la gran área de contacto obtenida con llantas gigantes. Los puentes construidos con dos traveseros por módulo, llevarán una carga máxima axial simple de 12 ½ toneladas o ejes dobles, a una distancia no menor que 4 piés (1.22 m) entre centros, compartiendo una carga de 20 toneladas. Cuando se tenga que soportar cargas axiales que excedan los valores anteriores, el puente debe tener cuatro traveseros por módulos. En este caso, la carga máxima por eje simple es 20 toneladas, y tales ejes no deben estar a menos de 4 piés (1.22m) entre centros.

3.5.2 Evaluación de esfuerzos.

Cuando la carga “viva” haya sido determinada, ésta se aplicará a los tramos del puente en dos formas:

1. Para determinar el cortante máximo en el extremo del puente, y
2. Para determinar el momento máximo por flexión en el centro del tramo o en el eje posterior pesado, cargado, cercano al centro del vano.

Dependiendo de la luz libre y la carga considerada, se determinará la disposición de las vigas maestras laterales, el número de armaduras, el número de pisos, y los cordones de refuerzo requeridos. Una vez que la carga muerta, la carga viva y la de impacto se hayan determinado, se hará la evaluación de esfuerzos cortantes y los momentos de flexión máximos.

3.5.2.1 Cortante máximo.

Para determinar el cortante, es necesario conocer la carga por eje que presenta el vehículo de diseño, calcular el centro de gravedad del tren de carga que tendrá el puente y evaluar el cortante producido cuando el eje posterior más pesado del tren de carga que entra al puente. Este valor, en toneladas se factoriza por el coeficiente de impacto estimado o calculado mediante la ecuación 3.1.

3.5.2.2 Momento de flexión máximo.

El momento de flexión máximo, se evaluará cuando la posición del centro del claro bisecta la distancia entre el centro de gravedad de la carga y el eje pesado más cercano de la carga. El punto de flexión máxima se produce, bajo este eje pesado; por sumatoria de momentos en dirección del extremo trasero del tren de carga se obtiene un producto, en toneladas por metro o toneladas por pié.

3.5.2.3 Deflexiones.

Las deflexiones producidas en los puentes Bailey, se pueden considerar bajo dos aspectos:

1. La flecha, inherente a todas las estructuras unidas con bulones, debida al espacio libre entre bulón y su agujero, peso propio y demás holguras por armado, una vez tendido el puente
2. La deflexión debida a la deformación elástica de la estructura bajo las cargas de servicio y del funcionamiento propio de toda la estructura operando al máximo o

sea, cuando todo el puente esté lleno vehicularmente, con el camión de diseño sin sobrepasar la carga tolerable.

Cálculo de flecha por la unión de bulón. En paneles nuevos, existe una estrecha diferencia de diámetros entre bulón y panel. Se aplica entonces las siguientes ecuaciones:

- a) Cuando el puente conste de un número impar de paneles (es decir, 30, 50, 70, etc. piés de longitud) la flecha en el centro es:

$$\delta = \frac{d}{8}(n^2 - 1), \text{ en pulgadas.} \quad (\text{ecuación 3.14})$$

- b) Cuando el puente conste de un número par de paneles (es decir, 40, 60, 80 etc. pies de longitud) la flecha en el centro es:

$$\delta = \frac{dn^2}{8}, \text{ en pulgadas.} \quad (\text{ecuación 3.15})$$

Donde:

“n”, es el número de paneles en el puente y “d” es la constante cuyos valores son los siguientes:

d = 0.14 pulgadas, para vigas de un módulo de altura de 5 piés.

d = 0.0676 pulgadas, para vigas de dos módulos de altura.

d = 0.0446 pulgadas, para vigas de tres módulos de altura.

Cálculo de flecha por la deflexión elástica. El Panel Bailey se homologa con una placa rígida y por lo tanto se puede usar la fórmula de estas para calcular la deflexión elástica, en este tipo de puentes.

Así, para carga uniformemente distribuida: $\delta = \frac{WL^3}{76.8EI}$, en pulgadas. (ecuación 3.16)

Para una carga concentrada en el centro: $\delta = \frac{WL^3}{48EI}$, pulgadas. (ecuación 3.17)

Donde:

W: carga en libras.

L: es la luz, en pulgadas.

E: 30.2×10^6 lb/pulg².

I: es el momento de inercia, en pulg⁴.

Para el acero especial de alta resistencia, que se usa en la fabricación de puentes Bailey, el momento de inercia (I) varía de acuerdo con la modulación de las vigas maestras. El valor de I se obtiene de la tabla 3.7.

3.5.3. Selección de puentes metálicos modulares utilizando tablas de capacidad de cortante y momento flexionante de los fabricantes, (anexo A).

Para seleccionar la armadura de los puentes metálicos modulares, los fabricantes garantizan, resistencias al cortante y a la flexión, según el tipo de puente, con ancho y longitud definidos, así como las propiedades que se han determinado como calculables, basados en homogeneidad, rigidez y elasticidad. Por ejemplo, para una viga normal en una estructura de paneles modulares. Así, una vez que se ha calculado el cortante y el

momento flexionante máximos, producidos por las cargas vivas de diseño, es necesario tomar en cuenta, las dimensiones necesarias y utilizar el tipo de modulación de vigas maestras que cumpla con seguridad, mediante el uso de las tablas del anexo A. Generalmente, los tramos cortos que soportan cargas pesadas son gobernados por el cortante, y los tramos largos soportando cargas ligeras son gobernados por el momento de flexión.

3.5.3.1 Ejemplo 3.1³⁶.

Un puente metálico modular Bailey, soportará un camión de 25 toneladas de peso bruto, sobre un vano de 50 piés (15.25m). Para lo cual, se ha determinado, que un puente de 60 piés de largo (18.30m) será suficiente. El camión tiene 8 piés (2.40m) de ancho total y posee dos ejes. El eje delantero lleva 8 toneladas y el eje posterior, que tiene ruedas dobles, lleva 17 toneladas. Los ejes tienen una separación de 10 piés (3.05m).

Solución:

1. Para el camión del ejemplo, se requerirá un ancho de rodadura de 10 piés 9 pulgadas (3.28m), correspondiente un puente Bailey de ancho estándar, lo cual, es suficiente para este vehículo.
2. No hay cargas por rueda, mayores que 6 toneladas; así, la plataforma puede ser de madera.
3. La carga axial máxima es 17 toneladas, mayor que $12 \frac{1}{2}$ toneladas para puentes con dos traveseros, por lo que el puente requiere que tenga cuatro traveseros por módulo.

³⁶Fuente: Manual Bailey y uniflote Thos Storey 1970. Parte II, capítulo 1, página 166.

Cálculo para cortante y flexión.

1. Calcular el centro de gravedad de la carga.

Haciendo sumatoria de momentos respecto al eje de 17 toneladas, el centro de gravedad (C.G.) se encuentra en la siguiente posición:

$$\text{Centro de gravedad} = \frac{8t \times 10'}{25t} = 3.2 \text{ piés, desde el eje trasero de 17 toneladas.}$$

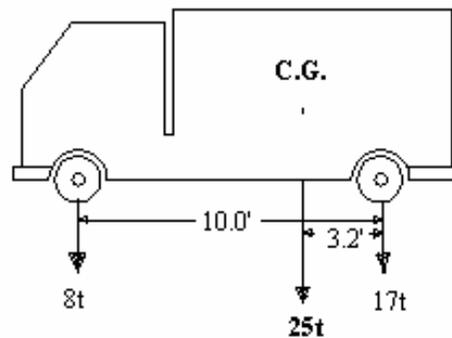


Figura 3.12 Vehículo de diseño, ejemplo 3.1.

2. Cortante máximo.

El cortante máximo, se produce en el extremo donde entra el eje pesado del tren de carga, este último eje es el de 17 toneladas, así:

$$\tau_{\text{máximo}} = \frac{25t \times 56.8'}{60'} = 23.7 \text{ toneladas.}$$

Cortante adicional por impacto es el 25% del cortante máximo, por lo cual:

$$\tau_{\Delta} = 23.7t \times 1.25 = 29.6 \text{ toneladas.}$$

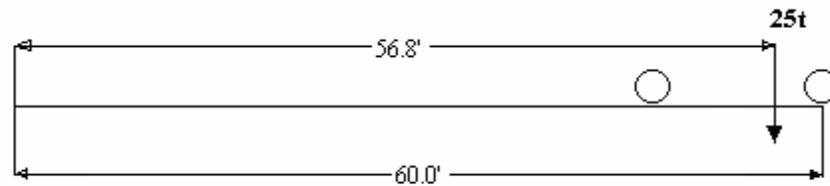


Figura 3.13 Evaluación del cortante, ejemplo 3.1.

3. momento máximo por flexión.

Este ocurre entre la distancia del centro de gravedad y el eje pesado más cercano, dividida en partes iguales por el centro del vano. El punto de flexión máximo está bajo el eje pesado. Esto es:

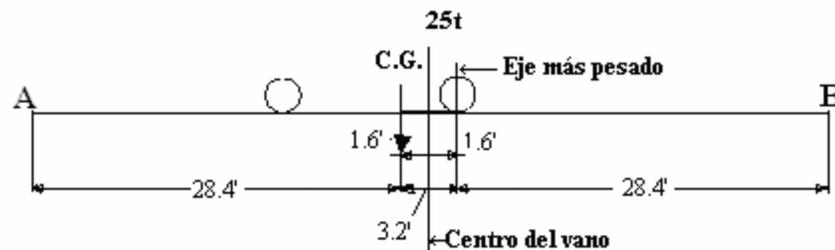


Figura 3.14 Momento máximo a flexión, ejemplo 3.1.

La reacción en el apoyo posterior al eje trasero, de 17 toneladas, será:

$$R_B = \frac{25t \times 28.4'}{60'} = 11.83 \text{ toneladas.}$$

$$M_{\text{máximo}} = 11.83t \times 28.4' = 336 \text{ toneladas por pie.}$$

Momento adicional por impacto es el 25% del momento máximo, por lo cual:

$$M_{\Delta} = 336 \times 1.25 = 420 \text{ toneladas por pie.}$$

Al utilizar un puente modular Bailey, de plataforma de madera, en las tablas del fabricante se valoran los siguientes datos. De la tabla A.1 en una luz de 60 piés (18.30 m), una modulación de vigas Simple Simple Reforzada, resiste 22 toneladas de cortante, una modulación de vigas Doble Simple resiste 51 toneladas de cortante. De la tabla A.2 en una luz de 60 pies (18.30 m), una modulación Simple Simple Reforzada resiste un momento flexionante de 720 toneladas por pié, una modulación Doble Simple resiste un momento flexionante de 683 toneladas por pié.

La modulación Simple Simple Reforzada no tiene la suficiente capacidad para resistir 29.6 toneladas de cortante. Por lo tanto, usar una modulación de puente metálico modular Bailey Doble Simple de ancho estándar, con plataforma de madera, ya que este es resistente a 51 toneladas de cortante y el momento a la flexión de 420 toneladas por piés.

4. Cálculo de flecha en el centro del vano.

Para un puente de 60 piés, la flecha por el espacio libre entre el bulón y su agujero usando la ecuación 3.15 y un valor $d = 0.0676$ pulgadas, es:

$$\delta = \frac{dn^2}{8} = \frac{0.0676 \text{ pulg} \times 60^2}{8} = 0.30 \text{ pulgadas.}$$

La deflexión elástica del puente, con la carga concentrada de 25 toneladas = 56,000 lb y la inercia de la modulación doble simple $I = 27,200 \text{ pulg}^4$ utilizando la ecuación 3.17 es:

$$\delta = \frac{56,000 \text{ lb} \times 720 \text{ pulg}^3}{48 \times 30,200,000 \text{ lb} / \text{pul}^2 \times 27,200 \text{ pulg}^4} = 0.53 \text{ pulgadas.}$$

3.5.3.2 Ejemplo 3.2.

Un puente permanente, con superficie de rodadura asfáltica, servirá para cubrir una luz de 160 piés (48.80m) y soportar un tren de tres camiones, cada uno tendrá un peso bruto de 16 toneladas, ancho de rodadura de 14 piés (4.32 m) y altura de 16 piés (4.93 m) sobre el nivel de la pista. Se mantiene una distancia libre de 20 piés (6.10 m) entre los camiones, mientras se cruza el puente. Cada camión tiene un eje delantero de 4 toneladas y un eje posterior soportando 12 toneladas, con separación de 12 piés (3.66 m) entre ejes.

Solución:

1. El ancho de 14 piés (4.32 m) requiere que el puente sea Bailey extra ancho, y distancia libre entre las vigas maestras laterales de 15 piés 8 pulgadas (4.77 m).
2. El puente será permanente, y se usará plataforma de acero. Alternando los extremos de las unidades para evitar cualquier tendencia a grietas en el asfalto.
3. De acuerdo con la carga axial de 12 toneladas por eje, sólo se requieren dos traveseros por módulo, pero si los extremos de las unidades de plataforma van a ser alternados, se requieren dos traveseros en la unión de cada módulo. Sólo se necesitará colocar un travesero en el montante central, por lo tanto se usarán tres traveseros por módulo.

Cálculo para cortante y el momento a la flexión.

1. Centro de gravedad del tren de carga.

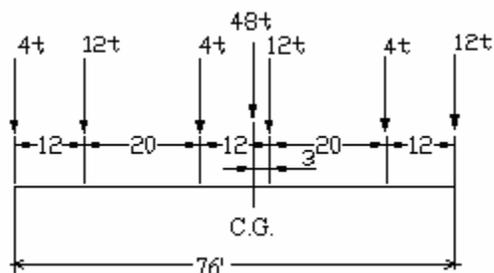


Figura 3.15 Cargas por eje de los camiones de diseño, ejemplo 3.2.

Haciendo sumatoria de momento respecto al eje pesado del último camión, el centro de gravedad (C.G.) estará en la siguiente posición:

$$\text{Centro de gravedad} = \frac{(4 \times 12) + (12 \times 32) + (4 \times 44) + (12 \times 64) + (4 \times 76)}{12 + 4 + 12 + 4 + 12 + 4} = 35 \text{ piés, desde el}$$

extremo posterior del tren de carga.

2. Cortante máximo.

El cortante máximo, se produce en el extremo final del tren de carga, cuando ha entrado por completo al puente, este sería, el último eje de 12 toneladas.

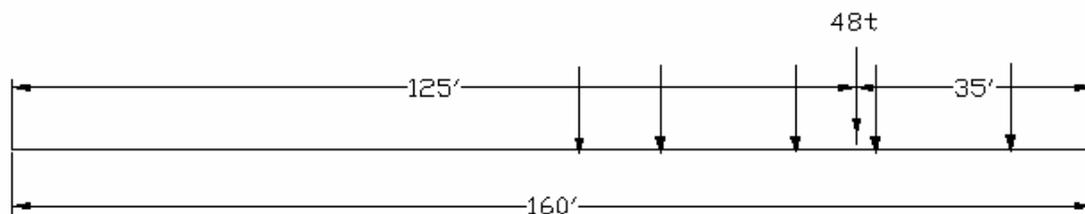


Figura 3.16 Evaluación del cortante, ejemplo 3.2.

$$\tau_{\text{máximo}} = \frac{125 \text{ piés} \times 48t}{160 \text{ piés}} = 37.5 \text{ toneladas.}$$

Fuerza cortante adicional, por impacto, es de 25%, así que:

$$\tau_{\Delta} = 37.5t \times 1.25 = 46.9 \text{ toneladas.}$$

3. Posición del momento máximo por flexión.

Este ocurre cuando el centro de gravedad y el eje pesado más cercano, están igualmente distanciados de la línea central del vano, y es un momento máximo bajo este eje pesado.

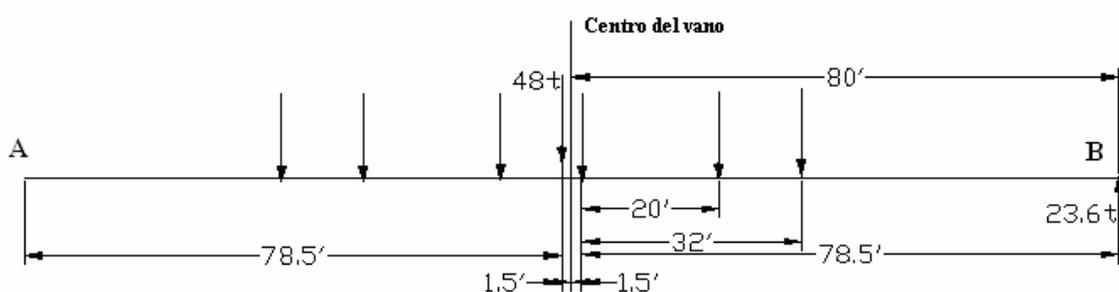


Figura 3.17 Momento máximo a flexión producido por el tren de carga, ejemplo 3.2.

La reacción en el apoyo posterior del tren de cargas es:

$$R_B = \frac{48t \times 78.5 \text{ piés}}{160 \text{ piés}} = 23.6 \text{ toneladas.}$$

4. Momento máximo a flexión

$$M_{\text{máximo}} = (23.6t \times 78.5 \text{ piés}) - ((4t \times 20 \text{ piés}) + (12t \times 32 \text{ piés})) = 1,388 \text{ toneladas por pié.}$$

Momento adicional por impacto es de, 25% así que:

$$M_{\Delta} = 1,388t \cdot \text{pié} \times 1.25 = 1,735 \text{ toneladas por pié.}$$

En la tabla A.11 y A.12, utilizando un puente Triple Doble reforzado extra ancho, con plataforma de acero, se tiene que la resistencia al cortante es de 66 toneladas, y una resistencia al momento flector de 2,584 toneladas por piés, para una luz de 160 piés, el

cual es suficiente, para el momento calculado, 1,735 toneladas por pié, esto es menor que 2,584 toneladas por pié. Una modulación de vigas Triple Triple, también cumple la fuerza cortante y flexión, pero los cordones superiores deben ser enlazados unos con otros con arriostamiento superior. Esto restringirá la altura libre de 14 piés 6 pulgadas. Por lo tanto, esta modulación es apropiada para cargas de 16 piés de altura.

4. Cálculo de flecha en el centro del vano.

Para un puente de 160' la flecha inherente por el espacio libre entre el bulón y su agujero usando la ecuación 3.15 es:

$$\delta = \frac{dn^2}{8} = \frac{0.0676 \times 16^2}{8} = 1.42 \text{ pulgadas.}$$

La deflexión elástica del puente, utilizando la carga concentrada de 48 toneladas (107,520lb) y la inercia de la modulación Triple Doble reforzada $I = 374,232 \text{ pulg}^4$ la tabla 3.7, utilizando la ecuación 3.17 es.

$$\delta = \frac{107,250lb \times 1920 \text{ pulg}^3}{48 \times 30,200,000lb / \text{pulg}^2 \times 374,232 \text{ pulg}^4} = 1.4 \text{ pulgadas.}$$

3.5.3.3 Ejemplo 3.3.

Un puente Doble Simple, Mabey compact, es una de las primeras alternativas de uso de puentes, que en El Salvador se ha utilizado. Se necesita conocer su capacidad, sobre un claro de 110 piés (33.53 m), extra ancho (4.2m), con superficie de acero. Se evaluará su resistencia a las de un camión T3-S3.

Solución:

Cálculo del cortante y momento flexionante.

1. Centro de gravedad de la carga.

Para encontrar el centro de gravedad, hacer sumatoria de momentos respecto al eje pesado trasero, se calculará así:

$$\text{Centro de gravedad} = \frac{(3.63t \times 28.0') + (14.52t \times 14.0')}{3.63 + 14.52 + 14.52} = 9.32 \text{ piés, desde el eje trasero}$$

pesado del remolque.

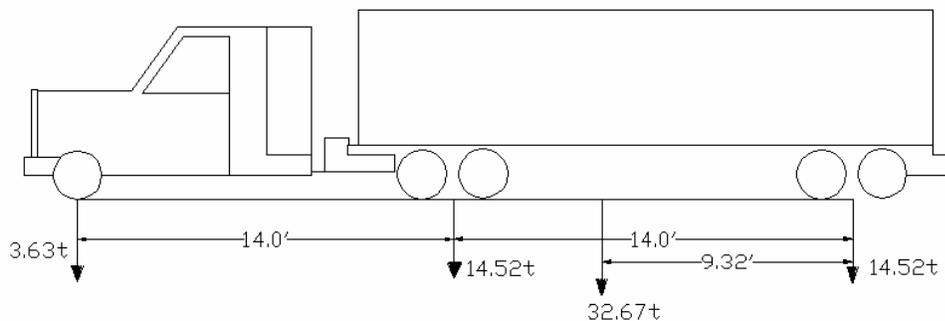


Figura 3.18 Camión de diseño H.S.20-44, ejemplo 3.3.

2. Cortante máximo.

El cortante es máximo, en el extremo, en el que el último eje de 14.52 toneladas entra al puente, este será:

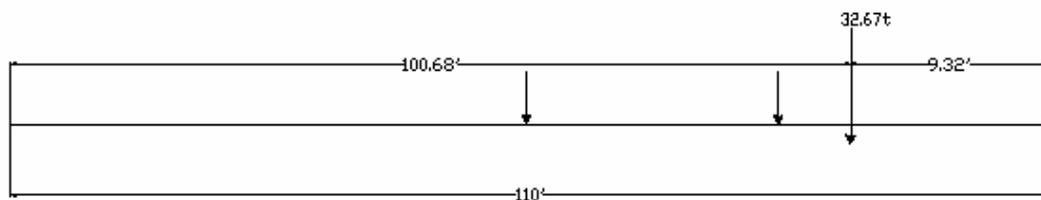


Figura 3.19 Evaluación de cortante máximo, ejemplo 3.3.

$$\tau_{\text{máximo}} = \frac{110.68' \times 32.67t}{110'} = 29.90 \text{ toneladas.}$$

Fuerza cortante adicional, por impacto, es de 25%:

$$\tau_{\Delta} = 29.90t \times 1.25 = 37.58 \text{ toneladas.}$$

La capacidad de cortante de un puente Mabey Compact 200, tablero de acero, anchura extra y de 110 pies de longitud, en la tabla A.15 es de 72 toneladas, suficiente para soportar 37.58 toneladas.

3. Momento máximo flexionante.

Este ocurre cuando el centro de gravedad y el eje pesado más cercano están igualmente distanciados de la línea central del vano y es un momento máximo bajo este eje pesado.

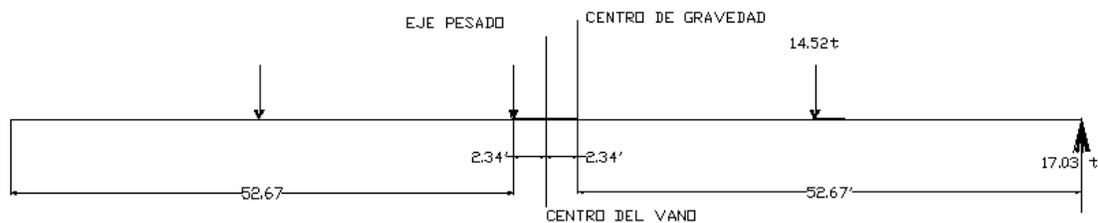


Figura 3.20 Momento máximo a flexión, ejemplo 3.3.

Reacción en el apoyo del puente.

$$R_B = \frac{32.67t \times 57.35'}{110'} = 17.03 \text{ toneladas.}$$

$$M_{\text{máximo}} = (17.03t \times 57.35) - (14.52t \times 14) = 773.39 \text{ toneladas por pié.}$$

Momento adicional, por impacto, es de 25%:

$$M_{\Delta} = 773.39t.m \times 1.25 = 966.74 \text{ toneladas por pié.}$$

La capacidad de un puente Mabey Compact 200 Doble Simple, tablero de acero, anchura extra de 110 piés de longitud, es de 1158 toneladas por pié, ver tabla B.16, esto es mayor en 25% al valor estimado como momento máximo.

4. Cálculo de flecha.

Para el puente de 110' la flecha debido al espacio libre entre el bulón y su agujero, usando la ecuación 3.15, es:

$$\delta = \frac{dn^2}{8} = \frac{0.14 \text{ pulg} \times 11^2}{8} = 1.54 \text{ pulgadas.}$$

La deflexión elástica del puente, utilizando la carga concentrada de 32.67 toneladas = 73,180 lb y la inercia de la modulación Doble Simple $I = 162,600 \text{ pulg}^4$, utilizando la ecuación 3.17 es:

$$\delta = \frac{173,180 \text{ lb} \times 1320 \text{ pulg}^3}{48 \times 30,200,000 \text{ lb} / \text{pulg}^2 \times 162,600 \text{ pulg}^4} = 1.69 \text{ pulgadas.}$$

CAPÍTULO IV

MONTAJE Y LANZAMIENTO DE LOS PUENTES METÁLICOS MODULARES

CAPÍTULO IV

MONTAJE Y LANZAMIENTO DE LOS PUENTES METÁLICOS MODULARES.

4.1 Principio básico de montaje y lanzamiento de los puentes metálicos modulares.

La modulación prefabricada de los puentes metálicos modulares es muy ventajosa en el montaje de sus piezas³⁷ y colocación a la medida. En el montaje y lanzamiento de un puente metálico modular, se aplica el principio de la viga en voladizo, formada por ensamble de piezas modulares y conectores de acople a través de pasadores con bulones, y una vez armada toda la estructura, esta se hará tirar a lo largo del tramo libre formando un sistema de peso y un contrapeso, con una estructura provisional de extensión en su longitud llamada “Morro de lanzamiento”, este se coloca en la parte frontal del puente, utilizando los mismos componentes, con la modulación más liviana posible. Así, el lanzamiento se hace sobre rodillos utilizando la estructura provisional. El empleo eficaz del contrapeso de la estructura del puente sirve para asegurar el no volteo del puente durante el lanzamiento y permitir la llegada al extremo opuesto.

Para el montaje y lanzamiento de los puentes metálicos modulares, es muy importante prestar debida atención al método utilizado para el movimiento de la estructura. Es posible empujar manualmente pequeñas luces a lo largo de la distancia a salvar, una luz más grande, exigirá utilizar algún tipo de maquinaria mecánica, una pala mecánica, retroexcavadora o cargador. Una vez que el puente esté en posición, después de salvar la distancia, se desmonta el morro de lanzamiento, el puente se eleva con gatos de

³⁷ Respecto a que una misma pieza sirve para cualquier puente metálico modular, según la modulación requerida, así mismo, por su ensamblaje manual y rápido.

levantamiento, se retiran los rodillos de lanzamiento y de aterrizaje, el proceso termina, cuando, se hace descender el puente sobre las placas de asiento (BB.31), en los estribos de cada extremo del puente.

4.2 Procedimiento para calcular la lista y cantidad de piezas para montaje de puentes metálicos modulares.

Según se elija el tipo de puente a utilizar, se calculan las cantidades de piezas y accesorios necesarios para su montaje, usando la Tabla 4.1 para el conteo de las piezas necesarias para las diferentes modulaciones de puentes metálicos modulares.

4.2.1 Información requerida para elegir las piezas del puente metálico modular.

Para determinar la cantidad y tipo de piezas necesarias para el montaje del puente, se conocerán las características básicas requeridas, siguientes:

- a) Modulación de las vigas del puente.
- b) Longitud de luz en tramos, (1 Tramo = 10 piés).
- c) Tipo de carga, cantidad de traveseros por módulo.
- d) Anchura de la calzada, longitud de traveseros o diagonales.
- e) Tipo de tablero, de madera o de acero.
- f) El tipo de panel, con o sin cordón reforzado.

4.2.2 Procedimiento para utilizar la Tabla 4.1, cantidad de piezas.

1. La Tabla 4.1 clasifica la cantidad de piezas por módulo, de acuerdo con la modulación seleccionada de las vigas del puente metálico modular.
2. Para cada pieza indicada, seleccionar la cantidad requerida en el puente, una vez seleccionada la modulación, y multiplicar la cantidad indicada por el número de tramos conformados por un módulo de 10 piés del panel.
3. Si el puente soportará cargas puntuales mayores que 11.25 toneladas, la cantidad de traveseros por módulo será 4, y no 2 como lo indica la segunda fila de la Tabla 4.1. También, agregar un travesero, montado en los postes finales machos, esto en cualquiera de los casos, para completar el extremo final hembra del puente en su colocación final.
4. Las placas de asiento y los postes finales macho y hembra no deben multiplicarse por el número de módulos de 10 piés de los paneles longitudinales, sino que, es una misma cantidad para cualquier longitud de puente.
5. Las parrillas planas pueden variar su cantidad por módulo de 10 piés, de acuerdo con el ancho del puente a utilizar, el cual puede ser el siguiente:
 - Puente ancho estándar, 3 parrillas planas.
 - Puente ancho estándar ensanchado, 4 parrillas planas.
 - Puente extra ancho, 5 parrillas planas.
6. Cuando se utilice cordones de refuerzo, superiores e inferiores, se multiplica la cantidad presentada en la Tabla 4.1, por los módulos de 10 piés de los paneles en que se aplicará, y se aumentará dos pernos de cordón por la cantidad cordones de refuerzo.

7. Según el tipo de calzada seleccionada, madera o acero, se utiliza la cantidad presentada por módulo de 10 piés, de los paneles.

Tabla 4.1 Cantidad de piezas por módulo para puentes metálicos modulares Bailey.

Piezas	Modulación de vigas.					
	S.S.	D.S.	T.S.	D.D.	D.T.	T.T.
Panel BB1	2	4	6	8	12	18
Travesero BB.5	2	2	2	2	4	4
Tornapunta BB.3	2	2	2	2	2	2
Bastidor BB.2	0	2	2	3	3	3
Diagonal de arriostramiento BB.15	2	2	2	2	4	4
Bulón y pasador de seguridad BB.4	4	8	12	16	20	24
Perno de unión de panel y collarín BB.9	0	0	0	8	16	24
Perno de arriostramiento BB.11	4	20	24	28	36	48
Torniquete travesero BB.6	4	8	12	8	8	12
Placas de unión BB.29	0	0	2	0	0	4
Parrillas planas BB.7	3	3	3	3	3	3
Parrillas con botones BB.8	2	2	2	2	2	2
Guardallantas BB.13	2	2	2	2	2	2
Placas de asiento BB.31	4	4	4	4	4	4
Poste final hembra BB.62	2	4	6	4	4	6
Poste final macho BB.63	2	4	6	4	4	6
Cordón de refuerzo BB.150	4	8	12	8	8	12
Lamina lagrimada	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Cuartón transversal	13	13	13	13	13	13
Tablón longitudinal	6	6	6	6	6	6

4.3 Equipo para montaje y lanzamiento de puentes metálicos modulares.

4.3.1 Accesorios.

Se han diseñado accesorios para el lanzamiento de los puentes metálicos modulares, de tal manera, que sean aptos para requerimientos prácticos, utilizados provisionalmente.

Estos son los siguientes:

El Eslabón de Lanzamiento BB.65, ver figura 4.1, es la pieza que forma una extensión del cordón de panel, que soportará las mismas cargas que este. Un extremo es macho y el otro hembra, ambos están perforados para recibir el bulón de panel BB.4.

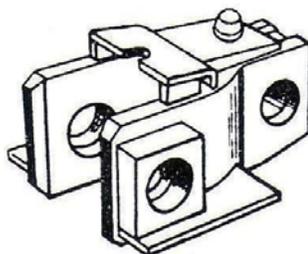


Figura 4.1 Eslabón de Lanzamiento (BB.65).

El Eslabón de Lanzamiento se inserta en el cordón inferior entre los paneles del morro de lanzamiento, de modulación Simple Simple; este alzamiento de los primeros paneles, en el extremo delantero del morro (ver figura 4.2), contrarresta la flecha natural del puente durante el lanzamiento (ver Tabla 4.2) y asegura, que la punta del morro se pose sin dificultad sobre los rodillos en la orilla opuesta. Su inclusión en una unión de paneles del morro de lanzamiento, hace que todas las fuerzas cortantes se produzcan en la conexión del bulón superior del panel, nunca debe usarse en una junta

donde la fuerza cortante exceda de 10 toneladas (22,400 lb). La extensión entre centros de los agujeros del bulón, producida por el Eslabón de lanzamiento es $6 \frac{1}{2}$ pulgadas (0.16m) y esto levanta el extremo delantero del morro de lanzamiento $13 \frac{1}{2}$ pulgadas (0.34m) colocado entre el primer y segundo módulo.

La figura 4.2 muestra cómo la posición de estos eslabones influye en la altura que se obtiene en el extremo del morro de lanzamiento. A este alzamiento se le llama “Nariz de lanzamiento”. La Tabla 4.2 indica las flechas producidas en el extremo del voladizo durante el lanzamiento en diferentes modulaciones de vigas de puentes metálicos modulares; con la cual, puede ser determinada la posición necesaria de los eslabones de lanzamiento de cualquier puente, estos pueden ser fijados hasta el cuarto módulo, hacia atrás, en la porción Simple Simple del morro de lanzamiento.

Modulaciones de vigas del morro de lanzamiento.

a) Puentes de vigas de un módulo de altura de 5 piés.

Longitud máxima del morro Simple Simple: 6 módulos.

Longitud máxima del morro Doble Simple: 4 módulos.

b) Puentes de vigas de dos o tres módulos de altura 10 piés y 15 piés, respectivamente.

Longitud máxima del morro Simple Simple: 6 módulos.

Longitud máxima del morro Doble Simple: 3 módulos.

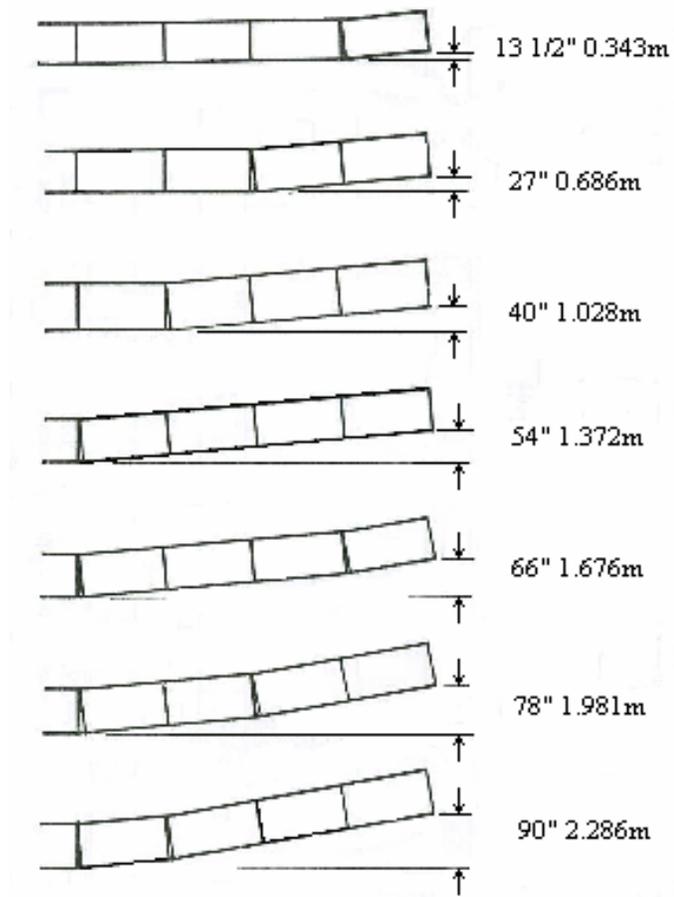


Figura 4.2 Efecto del Eslabón de Lanzamiento (BB.65), en el morro de lanzamiento de los puentes metálicos modulares.

Tabla 4.2 Flecha producida en el morro de lanzamiento, según la altura y longitud del puente metálico modular.

Longitud del puente.		Puente de vigas de un módulo de altura, 5 pies.		Puente de viga de dos módulos de altura, 10 pies.		Puente de vigas de tres módulos de altura, 15 pies.	
Piés	Metros	Pulgadas	Metros	Pulgadas	Metros	Pulgadas	Metros
30	9.14	2 ½	0.06	-	-	-	-
40	12.19	4	0.10	-	-	-	-
50	15.24	6	0.15	-	-	-	-
60	18.29	8 ½	0.21	6 ½	0.16	-	-
70	21.37	12	0.31	8 ½	0.21	-	-
80	24.38	16	0.41	11	0.28	-	-
90	27.43	20	0.51	14	0.36	-	-
100	30.48	25	0.64	17	0.43	-	-
110	33.53	30	0.76	21	0.53	16	0.41
120	36.58	36	0.92	25	0.64	20	0.51
130	39.62	43	1.10	30	0.76	24	0.61
140	42.67	52	1.30	36	0.92	28	0.71
150	45.72	61	1.55	43	1.10	33	0.84
160	48.77	74	1.88	50	1.27	39	0.99
170	51.82	-	-	57	1.45	47	1.20
180	54.86	-	-	64	1.63	56	1.42
190	57.91	-	-	72	1.83	65	1.65
200	60.96	-	-	81	2.06	74	1.88

Adaptada de: Bailey, Donald Coleman. Manual Bailey Y Uniflote 1970, Thos Storey (Engineers). Inglaterra.

Los elementos provisionales que sirven de soporte durante el montaje y el movimiento de las vigas de los puentes metálicos modulares son los rodillos y sus accesorios de soporte sobre el suelo. Estos son:

El Rodillo Plano BB.58, ver figura 4.3, es un armazón soldada con dos rodillos montados en un eje común. En los puentes de vigas simples, estas pueden ser montadas sobre un rodillo en cada extremo del puente, pero en los puentes de vigas

dobles y triples, la segunda y tercera vigas se montan sobre un rodillo extra, colocado junto al que carga la primera viga. Cada rodillo puede soportar una carga de 6 toneladas, que también es el límite para cargas concentradas en el cordón del panel sin montante, con este criterio, el espaciamiento longitudinal de los rodillos se calcula según el peso del puente a lanzar. La distancia máxima entre rodillos planos, es de 25 piés.

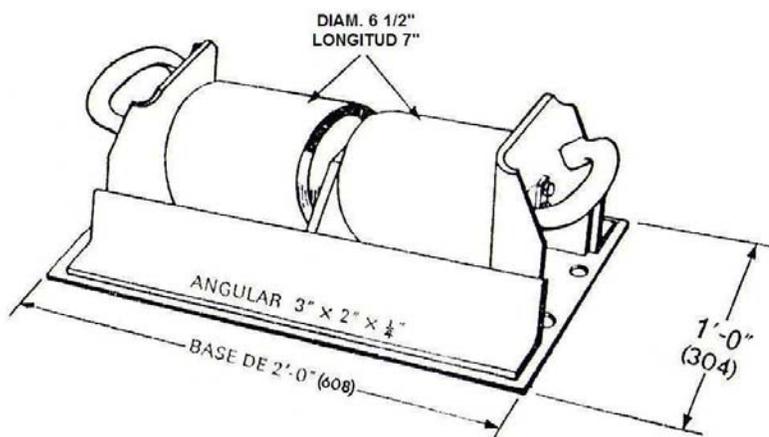


Figura 4.3 Rodillo plano (BB.58).

Los rodillos planos, generalmente son llamados "rodillos de construcción", ya que sobre ellos, se hace descansar el puente, durante su montaje, para que en cualquier momento pueda ser deslizado hacia adelante y lanzado a través de la distancia que se va a cruzar.

La *Solera de Rodillo Plano BB.54*, ver figura 4.4 es una bandeja de madera sobre la que descansa el Rodillo Plano, y sirve para distribuir la carga en el suelo. El área de su base es 4.3 piés cuadrados (0.4 m²).

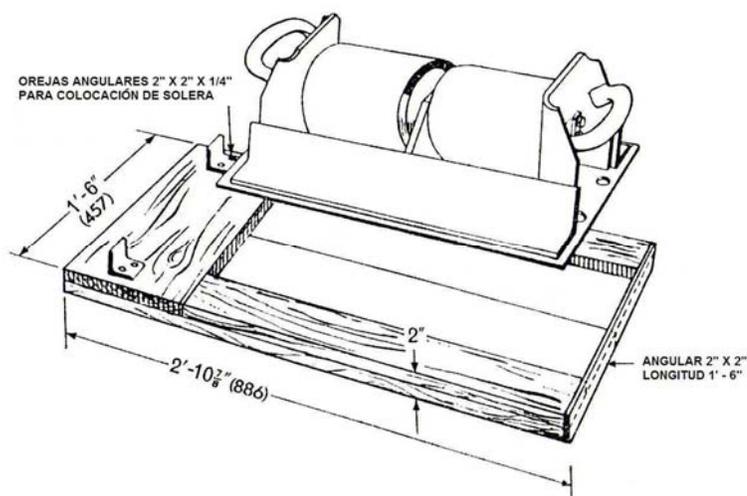


Figura 4.4 Solera de rodillo plano (BB.54).

El *Rodillo Basculante BB.59*, ver figura 4.5, se emplea para lanzar todos los puentes metálicos modulares, excepto aquellos muy cortos que pueden lanzarse solamente usando rodillos planos. En los cordones inferiores de los puentes, en los puntos que pasan sobre el rodillo, se producen esfuerzos concentrados muy grandes. El rodillo basculante ha sido diseñado para evitar esta dificultad, ya que distribuye esta carga sobre una longitud de 3 piés 10 pulgadas (1.07 m). Se han montado tres rodillos en un brazo balanceado, en la parte inferior central, del cual, se han colocado soportes semicilíndricos. Estos descansan sobre el apoyo de cojinete (BB.19) donde, el rodillo

basculante puede balancearse libremente. En la parte superior del marco del rodillo, se disponen cuatro rodillos laterales para servir de guía a las vigas del puente.

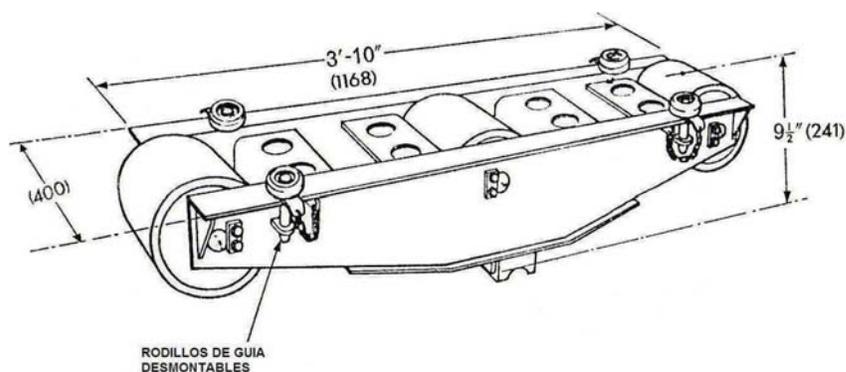


Figura 4.5 Rodillo basculante (BB.59).

Los Rodillos Basculantes se colocan en el extremo cercano al claro de lanzamiento por delante de las placas de asiento $3\frac{1}{2}$ piés entre centros, sirven para adaptar la superficie de contacto del cordón inferior a la superficie del rodillo basculante, durante el montaje y lanzamiento, aumentando su capacidad para soportar la carga máxima hasta 21 toneladas (47,040 lb); pero en los puentes de vigas simples, la carga debe ser limitada a la máxima permitida en el cordón del panel, esta es 15 toneladas (33,600 lb). Si la modulación es de doble y triple viga, se usa un máximo de dos rodillos basculantes en cada extremo. En los puentes de viga triple, en consecuencia, la tercera viga no es soportada por Rodillos Basculantes (BB.59), pero el juego exterior de rodillos guías, debe ser desmontado, ya que de otra manera entorpecería el movimiento de la tercera viga.

La Solera para Rodillo Basculante, BB.60, ver figura 4.6, es un armazón prefabricada, de madera, con dos rebajes en la superficie superior, en la cual, pueden acomodarse dos apoyos de cojinete (BB.19). Los rodillos basculantes colocados sobre los apoyos así acomodados, están automáticamente colocados a 18 pulgadas (0.46 m) entre centros, para conducir la primera y segunda vigas del puente. Esta solera puede soportar una carga máxima de 42 toneladas (94,080 lb.) y en la base tiene una área de 8 piés cuadrados (0.75 m²).

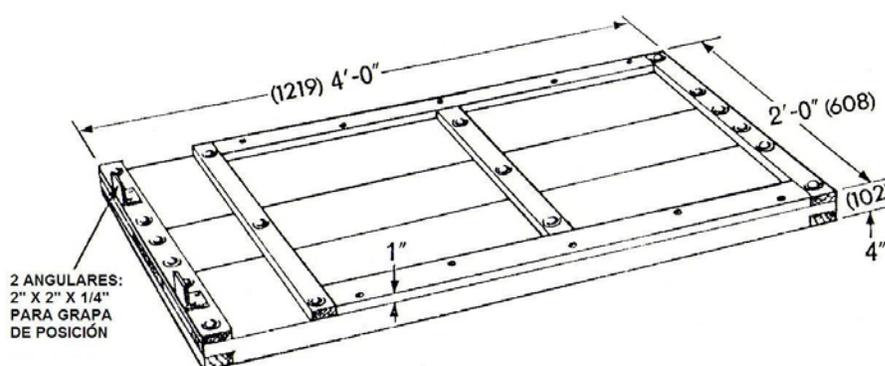


Figura 4.6 Solera de rodillo basculante (BB.60).

Viga de Balanceo BB.128, ver figura 4.7, comprende dos tramos de vigueta, colocados uno al lado del otro, a 18 pulgadas, entre centros (0.46m), interconectados por diafragmas, estos pueden ser desempernados y vueltos a situar en posición en las almas de las vigas para casos de embarque. Cada viga tiene en el centro de su ala inferior un apoyo semicircular, por medio del cual se asienta sobre el Apoyo de cojinete (BB.19). A cada lado del patín superior, de cada tramo de viga, hay un soporte redondo para llevar

un rodillo basculante. En esta forma, una viga de balanceo soporta cuatro rodillos, dos de los cuales soportan la viga interior del puente y los otros dos la viga exterior, a 18 pulgadas de la primera. Las vigas de balanceo deben estar a 5 piés (1.5 m) enfrente de las posiciones de las placas asiento del puente. Dos juegos de vigas de balanceo (una bajo cada lado del puente) podrán soportar con seguridad una carga de 168 toneladas (358,400 lb).

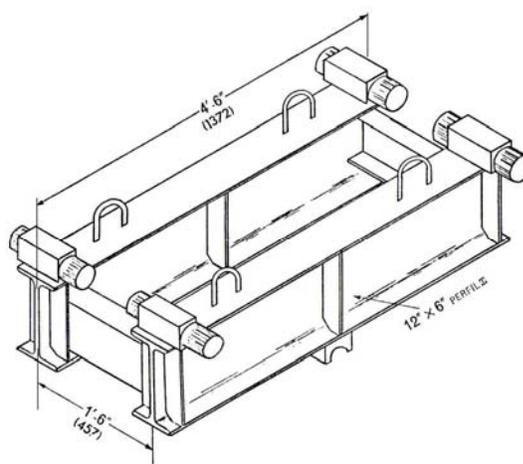


Figura 4.7 Viga de Balanceo (BB.128).

Las vigas de balanceo se deben usar para el lanzamiento de puentes con su morro de lanzamiento, si en conjunto, el peso del puente excede de 60 toneladas. Dos vigas de balanceo podrán soportar con seguridad 168 toneladas, en el momento del lanzamiento, montando sobre ellas dos rodillos basculantes.

4.4. Maquinaria y herramientas para montaje y lanzamiento de puentes metálicos modulares

La maquinaria y herramientas para el montaje de puentes modulares, es de uso común en la construcción, para el manejo y colocación de estructuras de acero, sin necesidad de utilizar equipo especial, ni energía eléctrica, lo que representa una ventaja en el rápido montaje.

4.4.1 Maquinaria y equipo para montaje y lanzamiento de puentes metálicos modulares.

Los puentes metálicos modulares están diseñados para un manejo práctico desde su almacenamiento, transporte y manipulación en el montaje. Cada elemento puede ser directamente manipulado con fuerza humana, con apropiado manejo por las personas. Sin embargo, el tiempo de montaje se disminuye de forma práctica, utilizando equipo de uso común para transporte de carga. Un camión con capacidad para transportar 8 toneladas puede llevar hasta 16 paneles Bailey con facilidad. El movimiento de piezas se puede realizar con grúas móviles con capacidad de ½ tonelada a 1 tonelada y con altura mínima de izado de 6 metros, sin embargo, puede utilizarse una retroexcavadora, una pala mecánica o un cargador frontal para el montaje de los paneles, traveseros, bastidores y parrillas de los puentes metálicos modulares. El equipo topográfico para el alineamiento y nivelación de la proyección del puente, tiene que estar disponible en el momento del montaje por cualquier revisión que se quiera realizar, ver figura 4.8.



Figura 4.8 Equipo para el montaje de puentes metálicos modulares.



Figura 4.9 Montaje de puente Bailey Doble Doble, de 100 pies, mediante el uso de pala mecánica. Ciudad Dolores, Sensuntepeque.

4.4.2 Herramientas.

La llave de Carraca de 1¼ pulgadas BB.26, ver figura 4.10, es una llave tipo cajón, reversible, que se usa para ajustar las tuercas del perno de cordón, BB.9, y para hacer funcionar el Gato de Cordón Mk. III, BB.83. Puesto que la longitud del mango es suficiente para su manejo, nunca será necesario extenderlo con tubos, etc.

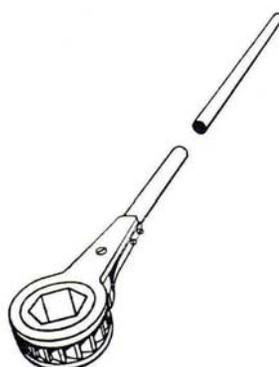


Figura 4.10 Llave de carraca (BB.26).

La Llave de Boca de 1¼ ó ¾ pulgadas BB.32, ver figura 4.11 es una llave con su mango cónico para poderlo emplear en la alineación de los agujeros. La llave de boca de ¾ pulgadas se utiliza para ajustar los Pernos de Arriostamiento (BB.11).



Figura 4.11 Llave de boca 1¼ ó ¾ pulgadas (BB.32).

La llave de Manivela de $\frac{3}{4}$ pulgada BB.34, ver figura 4.12, es una llave de dado con una manivela. Es muy útil para ajustar rápidamente los pernos de trinca BB.10 y TSBB.504 y los pernos de arriostamiento BB.11, asegurando los bastidores de arriostamiento horizontales sobre los cordones superiores.

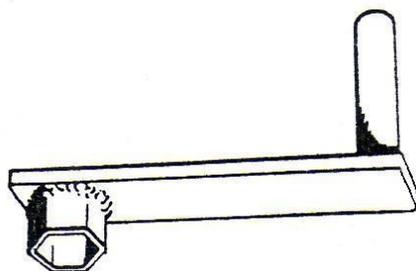


Figura 4.12 Llave de manivela $\frac{3}{4}$ " (BB.34).

Nota: Todas las llaves tienen un agujero por medio del cual pueden ser atadas al cinturón de trabajo de la persona que la utiliza durante el montaje, si está trabajando en altura o sobre el agua.

Almadana de 10 lb. Es una herramienta que se utiliza para golpear en el momento que se esté colocando el bulón de panel, su cabo debe ser preferiblemente de madera dura, de buena calidad para uso manual del personal de montaje, con una cuña de seguridad en el extremo donde está montado.

Base de Apoyo del Calzo para Gato BB.18, ver figura 4.13, es una bandeja de acero con una grada en ella. La parte más alta se asienta sobre el rebaje de la placa de asiento y la parte posterior (que tiene un asa) se apoya en la pestaña vertical de la placa de

asiento. Existe una holgura entre el Calzo y Placa de Asiento, permitiendo un ajuste cuando el poste final del puente desciende hacia el apoyo. Tanto el Gato de Carraca de 15 toneladas (EN.1046), o el Gato Hidráulico de 25 toneladas (TSBB.505) se colocan en la base de apoyo de calzo para gato, para que el talón del gato se acomode bajo el braquete del poste final.

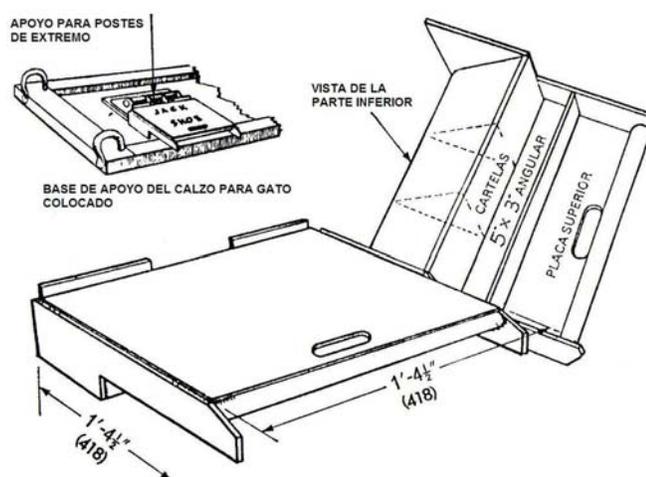


Figura 4.13 Base de apoyo del calzo para gato (BB.18).

Gato Hidráulico TSBB.505. Ver figura 4.14. Sus cargas máximas de trabajo son las siguientes: en la cabeza, 25 toneladas; en el pié, 10 toneladas. La palanca de operación tiene una llave hexagonal en un extremo que se usa para abrir y cerrar la válvula del by-pass.

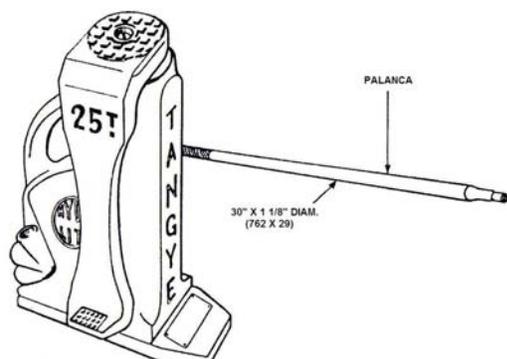


Figura 4.14 Gato hidráulico (TSBB.505).

Gato de Carraca EN.1046, ver figura 4.15, es un gato mecánico normal de carraca operado por palanca. La carga máxima de seguridad en la cabeza es 15 toneladas; en el pié, la carga máxima es 7½ toneladas.

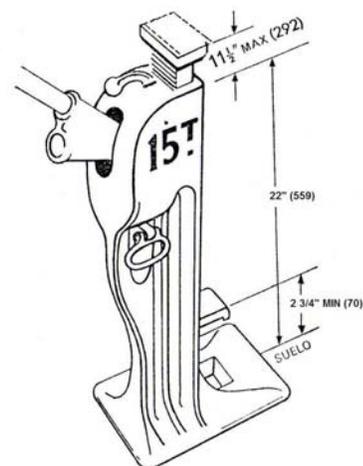


Figura 4.15 Gato de carraca EN.1046.

4.5 Plan de higiene y seguridad industrial durante el montaje de puentes metálicos modulares (PHSI).

Para garantizar la protección de las personas que realizan el montaje de puentes metálicos modulares, los procedimientos de transporte y colocación de las piezas a ensamblar deberán ser prácticas, seguras, sin apresuramientos, ni exposición al peligro durante el manejo del puente en sus diferentes etapas de montaje, lanzamiento o fijación, cumpliendo estrictamente, instrucciones del ingeniero responsable³⁸.

El PHSI forma parte del Plan de Control de Calidad (PCC) para garantizar la realización correcta de todas las operaciones de montaje in situ, o afuera, incluyendo proveedores, fabricantes y subcontratistas, describiendo el método de aceptación de las piezas y de los procesos de montaje. Será necesario disponer previamente, un esquema de las condiciones de montaje del puente, programa de actividades a realizar, las especificaciones técnicas a cumplir y revisiones durante el proceso de montaje. El responsable de garantizar todas las condiciones necesarias para el inicio del montaje de los puentes metálicos modulares es el ingeniero responsable del montaje quien verifica las condiciones técnicas previas y durante el ensamble. Una vez que se hayan finalizado se realizara la verificación final de la estructura en su totalidad.

4.5.1 Condiciones técnicas.

Protecciones colectivas.

³⁸ Gutiérrez Ríos, Ramón. 2004. Plan de seguridad y Salud. Cuarta Edición. Madrid.
<http://www.tecnocom.biz/docs/CMAPRL5>.

- Limpieza de la zona de acceso y trabajo, asignando zonas de aparcamiento de maquinaria y piezas de los puentes metálicos modulares.
- Prohibir el paso de personas ajenas a la obra durante el montaje y lanzamiento.
- Organización del tráfico y señalización.
- Iluminación para trabajos nocturnos y diurno, requerida según el estado del tiempo que esté provocando oscuridad cuando no haya iluminación solar.
- Revisión y mantenimiento del buen estado de la maquinaria y equipo a utilizar para el montaje seguro.
- Almacenamiento de materiales en bodegas, en condiciones adecuadas para la protección contra la intemperie. Protección directa de estos, cuando su exposición insitu de montaje lo requiera, con plástico muy resistente.
- Control del polvo en la superficie de piezas a colocar.
- Servicio de agua potable y sanitarios higiénicos, para todo el personal en el lugar de montaje.
- Estabilidad de los taludes cercanos, debido a la falla de los bordes, con respecto a la altura total y la imposición de cargas.
- Protección contra caídas. Señalizar adecuadamente las zonas de peligro y montar pasarelas y pasamanos provisionales, evitando el máximo posible, cualquier tipo de caída.
- Movimiento de paneles (590 lb) y travesero (470 lb). Si el manejo de paneles es manual, la manipulación de uno de estos debe realizarse por lo menos con ocho personas, los traveseros deben levantarse utilizando los agujeros internos para su

alzamiento. Si se utiliza maquinaria, serán necesarios lazos nuevos, de alta resistencia prevista en buen estado, con espesor de una pulgada, se deben asegurar los nudos y no forzar su estiramiento.

Los riesgos del personal de montaje, más frecuentes, son las siguientes:

- Golpes o fracturas por la falta de coordinación en el manejo de las piezas de los puentes metálicos modulares. Evitar mover piezas individualmente o cuando se considere insuficiente el número de personas asignadas.
- Falta de protección personal en el montaje de las piezas, con fuerza humana o con maquinaria. Es obligatorio el uso de protecciones y el acatamiento de indicaciones del ingeniero responsable del montaje.
- Sobreesfuerzos musculares por posturas indebidas, por mal práctica o desconocimiento de estas.
- Caída de personas al mismo o distinto nivel, por atenuamiento o atrevimiento durante cualquier operación estática o con desplazamiento que se requiera.
- Daños de las manos durante el manejo de las piezas de acero expuestas al sol, por no uso de protecciones o guantes.
- Choque de maquinaria y atropello de personal durante el transporte y montaje de las piezas componentes de los puentes metálicos modulares.
- Daños en oídos por sonidos agudos del golpeo durante el ensamble de piezas.

4.5.2 Equipo personal.

El personal que realiza el montaje debe poseer los siguientes implementos para el manejo de las piezas componentes de los puentes metálicos modulares:

- Uso de ropa resistente, no ajustada, que permita fácil movilidad, giro, alzado de brazos, pasos largos, doblado de muslos y piernas, que no cause atascadura durante la unión de las piezas de acero.
- Botas con cubo de acero en la punta, para la protección de los dedos de los pies, por la caída de piezas acero durante el montaje y con suela antideslizante.
- Guantes de cuero, para el manejo de herramientas y piezas que puedan causar daños en las manos.
- Uso de casco protector, para la protección de cabeza, con correa ajustable al metón.
- Arnés de seguridad durante los trabajos de apretado de tuercas en el voladizo del puente.
- Cinturón faja, para la protección de la columna vertebral y demás esfuerzos durante el levantamiento (izado) de piezas pesadas.
- Cinturón para portar herramientas de mano, llaves, tuercas, y pequeños accesorios conectores.
- Portar agua para beber y protegerse de la insolación.
- Gafas contra impacto a los ojos, contra cualquier corpúsculo provocado durante el trabajo usual en las operaciones de montaje.



Figura 4.16 Vestuario para montaje de puentes metálicos modulares.

4.6 Secuencia en el montaje de puentes metálicos modulares.

Cuando se arman los puentes metálicos modulares se hace el siguiente proceso: ensamblar el puente completo sobre rodillos en una orilla, una vez armada la estructura auxiliar o morro de lanzamiento, hecha con paneles, acoplada en el extremo delantero del puente. La estructura completa del puente, se desliza sobre los rodillos y se lanza hacia delante, a través de la distancia del claro a cubrir o cortadura. El morro de lanzamiento se desmonta y el puente se apoya por medio de gatos, sobre las placas de apoyo. El morro se construye con las mismas piezas que están destinadas para esta estructura del puente, paneles, traveseros, tornapuntas, etc. estos componentes, al desmontar el morro de lanzamiento, se regresan a la bodega de almacenamiento, para que posteriormente puedan ser utilizados en el armado de otro puente.

4.6.1 Consideraciones previas al montaje de puentes metálicos modulares.

Todo el sistema, piezas y módulos, han sido diseñados para que su peso y tamaño permita su transporte en camiones normales de carga de 8 toneladas y armados

solamente con el esfuerzo humano. En grandes luces, es posible que se requiera la ayuda de equipo mecánico como, retroexcavadora, cargador o pala mecánica, según la dimensión del puente a lanzar para mejorar el tiempo y procedimiento de montaje.

Para el montaje y lanzamiento de un puente metálico modular, en la posición final definida, se debe considerar la disposición de un plan de montaje en que se presente un esquema guía de los procesos de montaje y las revisiones del ensamble del puente, aprobado por el ingeniero responsable y revisado por un ingeniero supervisor.

4.6.2 Preparación del lugar de montaje.

El ingeniero responsable del montaje hará un reconocimiento del área donde se ensamblará el puente, evaluando la no existencia de obstáculos en la longitud y ancho proyectados del montaje del puente, accesos convenientes para la maquinaria de transporte y montaje, revisión de niveles que podrían ser causa de ajustes en la superficie para la colocación de los rodillos, revisión de la longitud desde los extremos de apoyo y aprobación de las superficies donde permanecerá el puente, revisando niveles, dimensiones, rigidez y estabilidad. Antes de empezar el montaje se requiere hacer el trazo, ver figura 4.17. Colocar estacado de referencia en la línea central, así como el de los extremos de apoyo del puente, exactamente en el lugar de emplazamiento, procurar una área limpia y nivelada de aproximadamente 50 piés (15m) de ancho (25 piés a cada lado de la línea central) y que se extienda hacia atrás una distancia igual a la longitud del puente terminado, para disponer los componentes. En el sitio preparado, se empotran estacas cada 30 piés (10 m) sobre la línea central prolongada del puente. Se marcan dos

líneas paralelas una a cada lado, a una distancia del eje de 6 piés 5 ½” (1.97m) para puentes de ancho estándar. Estas líneas marcan la posición de las vigas del puente y sobre ellas se colocan todos los rodillos y placas de asiento, ver tabla 4.3, distancias entre centro de rodillos.

Tabla 4.3 Distancias entre centros de rodillos de lanzamiento.

	Distancia entre ejes de placas de asiento.	Distancia entre ejes de vigas interiores.
Puente Simple Simple ancho estándar.	12 piés 11 pulgadas.	12 piés 11 pulgadas.
Puente Doble Simple ancho estándar.	14 piés 5 pulgadas.	12 piés 11 pulgadas.
Puente Triple Simple ancho estándar.	15 piés 4 ½ pulgadas.	12 piés 11 pulgadas.
Puente Simple Simple estándar ensanchado.	14 piés 10 pulgadas.	14 piés 10 pulgadas.
Puente Doble Simple estándar ensanchado.	16 piés 4 pulgadas.	14 piés 10 pulgadas.
Puente Triple Simple estándar ensanchado.	17 piés 3 ½ pulgadas.	14 piés 10 pulgadas.
Puente Simple Simple extra ancho.	16 piés 3 pulgadas.	16 piés 3 pulgadas.
Puente Doble Simple extra ancho.	17 piés 9 pulgadas.	16 piés 3 pulgadas.

Se comienza por colocar todas las placas de asiento (BB.31) y comprobar que todos los ejes transversales de ellos estén en ángulo recto con la línea central. Los rodillos de lanzamiento, que pueden ser los rodillos fijos (BB.58), sobre sus soleras (BB.54) o rodillos basculantes (BB.59), sobre los apoyos de cojinete (BB.19) y soleras (BB.60),

deben ser emplazados a 3 piés 6 pulgadas (1.07m) frente a las placas de asiento, esto es, lo más cerca posible a la cortadura que se va a cruzar. Los restantes rodillos planos fijos con sus soleras, colocarlos detrás de las placas de asiento a intervalos de 25 piés (7.5m) máximo, revisar la distancia entre rodillos, de acuerdo con el peso del puente, partiendo de la capacidad de los rodillos planos de 6 toneladas y de la modulación de las vigas del puente a lanzar, para considerar el uso de dos rodillos planos en cada posición de las vigas y una distancia menor longitudinalmente. Asegurarse, que cada par de rodillos esté correctamente alineado sobre una línea transversal y paralelo con la línea central, ver figura 4.18. También, se comprobará que los rodillos estén sobre una base firme, sin peligro que se ladeen. Vale la pena emplear algún tiempo en comprobar todo esto, cuidadosamente, ya que de otra manera se pueden producir considerables demoras, posteriormente. Si durante el lanzamiento se descubre que el puente no está correctamente alineado o que un rodillo se ha ladeado, se exigirá nuevo replanteo³⁹.

Como una comprobación adicional de la posición de los rodillos, se coloca un travesero entre cada par de estos. El agujero interior en el patín inferior de cada extremo que se coloca sobre el asiento del panel, quedará en el centro del rodillo. Seguidamente se colocan los rodillos de aterrizaje en la orilla opuesta. El trabajo hasta esta etapa se ilustra en la figura 4.17.

³⁹ Rechequear el trazo hecho durante el replanteo para que la criba modular no quede deformada o fuera de escuadra, así como cada punto dando la elevación requerida en tal caso, puntos continuos con igual elevación, corroborar colocando un codal y un nivel de 1 ó 1.2m de largo y un cartabón

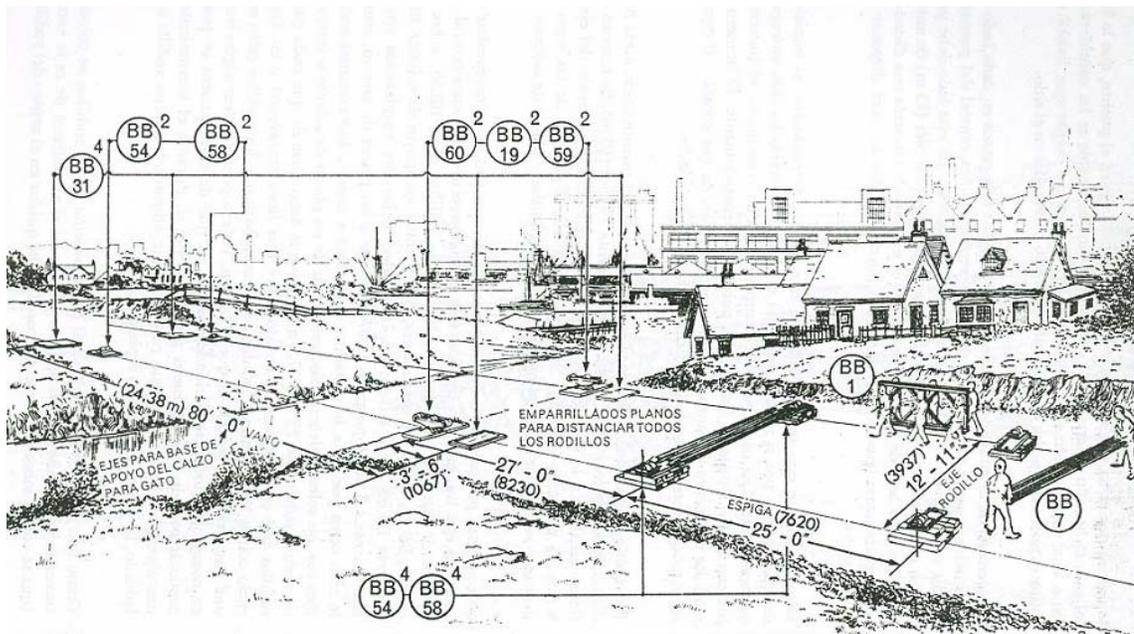


Figura 4.17 Replanteo en el sitio.

La cimentación del puente, permanente o no, cumplirá las mismas exigencias de sustentación de todas las cargas cuando el puente esté funcionando, estribos de mampostería o concreto reforzado, cabezales de concreto reforzado, deben tener el área suficiente para la colocación de las placas de asiento y la distancia de 3 ½ piés para la colocación de los rodillos de lanzamiento. También, tendrá la resistencia suficiente para soportar el peso total del puente y el morro de lanzamiento, que recibirá, en el momento en que el punto de balanceo produzca la mayor carga sobre los rodillos de lanzamiento, para el momento del montaje, el trabajo del elemento de apoyo (cabezal de estribo ó losa sobre cubos de mampostería) ha sido terminado y se encuentra ya en condición de resistir las cargas totales proyectadas.



Figura 4.18 Colocación de rodillos planos y basculantes.

4.6.3 Montaje del morro de lanzamiento de los puentes metálicos modulares.

Habiendo realizado todas las consideraciones previas al montaje, este se inicia con la construcción del morro de lanzamiento que comienza con la modulación de vigas Simple. El siguiente ejemplo ilustra el montaje del morro de lanzamiento de un puente Simple Simple de 80 pies.

El montaje inicia con la colocación de un panel Bailey (BB.1), sobre cada uno de los rodillos de lanzamiento plano o basculantes, según la longitud del puente, con los cordones que tienen el par de cartelas hacia la cortadura. Colocar un travesero (BB.5), a través de estos dos paneles, en los extremos interiores del travesero, acoplados en los asientos del panel más cercano a la cortadura. Asegurar el travesero con torniquetes de travesero (BB.6), colocar las tornapuntas (BB.3), ajustándolos con pernos de arriostamiento (BB.11), con el extremo inferior en la parte superior del travesero y el extremo superior en el montante del panel justo debajo del cordón superior. Ajustar los pernos con llave de boca de $\frac{3}{4}$ ". Con estas operaciones de ensamble se completa el

primer módulo del morro de lanzamiento, esto se ilustra en la figura 4.19. Se continúa el segundo módulo del morro de lanzamiento, uniendo dos paneles adicionales con bulones de panel (BB.4). Los primeros paneles se encuentran inclinados sobre los rodillos, los cordones inferiores del panel pueden dejarse sin unión con bulón, por el momento. Conforme se arman más módulos, las vigas eventualmente formarán balancines alrededor de los dos primeros módulos. Los bulones inferiores pueden entonces ser insertarse con el mínimo de esfuerzo, esto se ilustra en la figura 4.20. Los bulones de

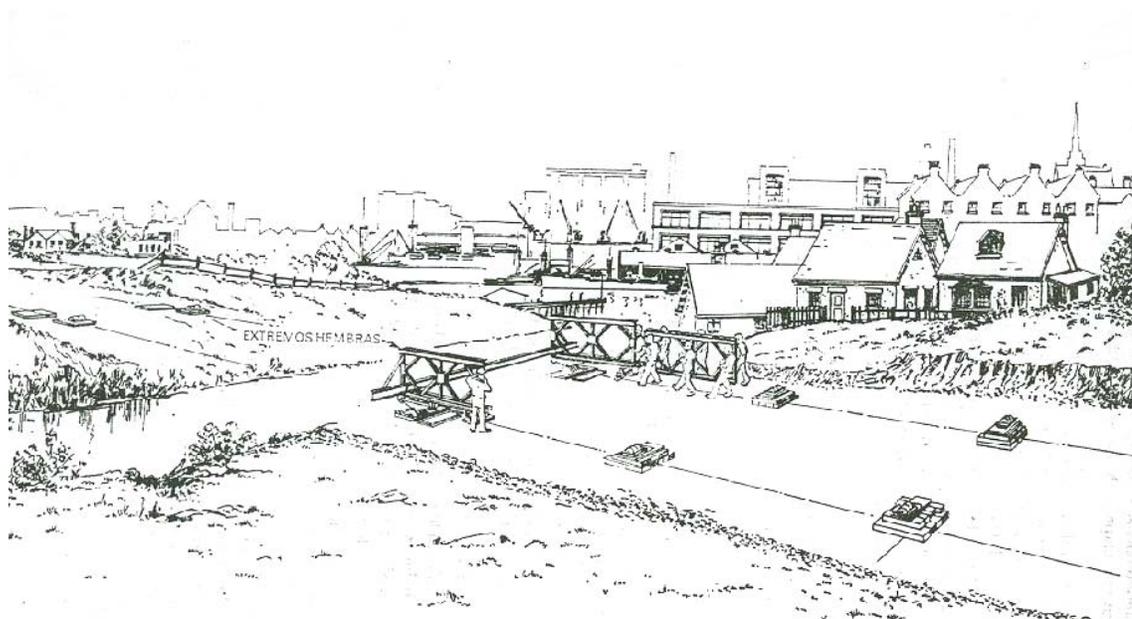


Figura 4.19 Montaje del primer módulo del morro de lanzamiento.

panel se introducen desde el exterior, mediante el uso de almádana de 10 libras y se coloca el pasador de bulón. Se coloca un travesero en los asientos correspondientes de la parte delantera de los montantes de los paneles y queda sujeto en su posición con un torniquete travesero (BB.6). Observé, en los datos para lanzamiento de la Tabla 4.2, que

la flecha esperada en el extremo del morro de lanzamiento, cuando ella alcance la orilla opuesta es 16 pulgadas (0.41m) por su longitud de 80 piés y sus vigas de un solo módulo de altura. Los eslabones de morro de lanzamiento (BB.65), se insertan entre el segundo y tercer módulo, para compensar esta tendencia, con un alzamiento de 27 pulgadas (0.68m), ver figura 4.20.

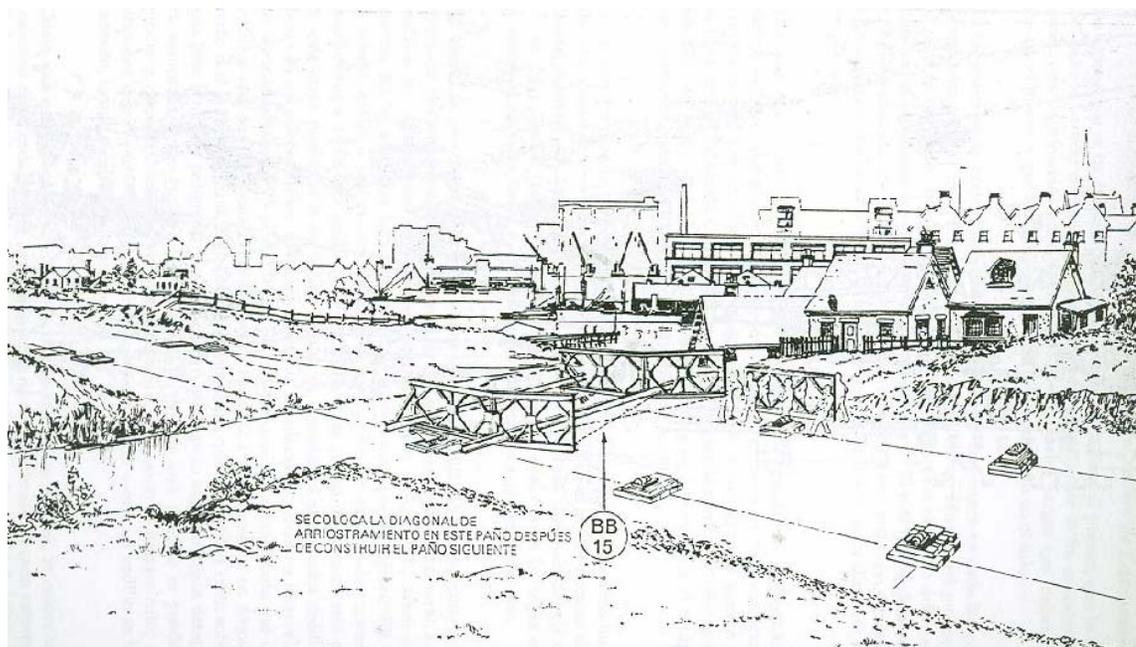


Figura 4.20. Montaje del segundo módulo del morro de lanzamiento.

Se continúa acoplando dos paneles más para formar el tercer módulo del morro de lanzamiento y colocar el travesero y las tornapuntas, como en el primer módulo; las diagonales de arriostramiento pueden ahora ser fijadas y ajustadas en el segundo módulo, esto se ilustra en la figura 4.21. Acoplar dos paneles más para formar el cuarto

módulo y colocar un travesero (pero no con tornapuntas). Las diagonales de arriostamiento de este módulo no deben colocarse hasta que el siguiente módulo, ya sea el puente o el morro, haya sido armado. Esto se ilustra en la figura 4.22.

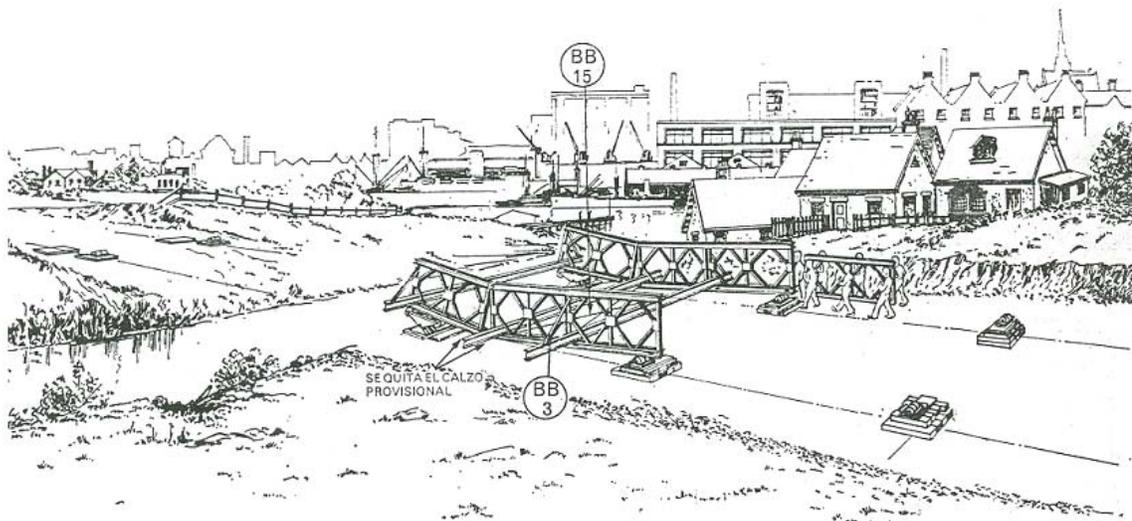


Figura 4.21 Montaje del tercer módulo del morro de lanzamiento.

Si el morro de lanzamiento tiene más de cuatro módulos de longitud, cada módulo siguiente se armará exactamente como el cuarto módulo, es decir, que debe tener colocado:

- 2 Paneles (BB.1).
- 1 Travesero (BB.5).
- 2 Torniquetes de arriostamiento (BB.6).
- 2 Tornapuntas (BB.3).
- Pernos de arriostamiento (BB.15).

- 2 Diagonales de arriostamiento (BB.15).
- Bulones de panel (BB.4).

Esto se aplica a un máximo de seis módulos de morro de lanzamiento, con modulación de vigas Simple Simple. En puentes más largos y pesados, que requieran morro de lanzamiento de más de seis módulos de largo, los módulos siguientes deben ser de modulación de vigas Doble Simple. Para este montaje, se utiliza el mismo procedimiento para armar puentes de modulación Simple Simple y luego se convierte a Doble Simple como sigue:

Colocar otro panel a cada extremo del puente e insertar su extremo hembra sobre el travesero ya ensamblado en el puente, de manera que la espiga para asiento de travesero se aloje en el agujero de travesero 15 pulgadas (0.46m) fuera del panel interior a lo largo del travesero. Apoyar el extremo del panel sobre un soporte provisional hasta que el panel del siguiente módulo pueda ser acoplado a él. Colocar el bastidor de arriostamiento (BB.2) a través de los cordones superiores de los dos paneles y asegurarlo con cuatro Pernos de Arriostamiento (BB.11). Cuando un módulo del morro tenga que ser de modulación de vigas Doble Doble, armar primero como Doble Simple, tal como se describió, pero omitiendo el Bastidor de arriostamiento horizontal en los cordones superiores. Se colocan dos paneles más con las dos cartelas de los cordones adelante sobre la parte superior de los paneles en modulación Doble Simple empernando cada uno a la fila inferior con dos Pernos de cordón (BB.9). Este ajuste se hace con la llave de carraca de 1 ¼ pulgadas (BB.26). Este módulo se completa, agregando bastidores de arriostamiento (BB.2) a cada viga, uno horizontalmente encima del

segundo piso de paneles y otro verticalmente en los montantes delanteros del segundo piso de paneles. Si se requiere más de un módulo Doble Doble, se repite la operación anterior en cada módulo siguiente.

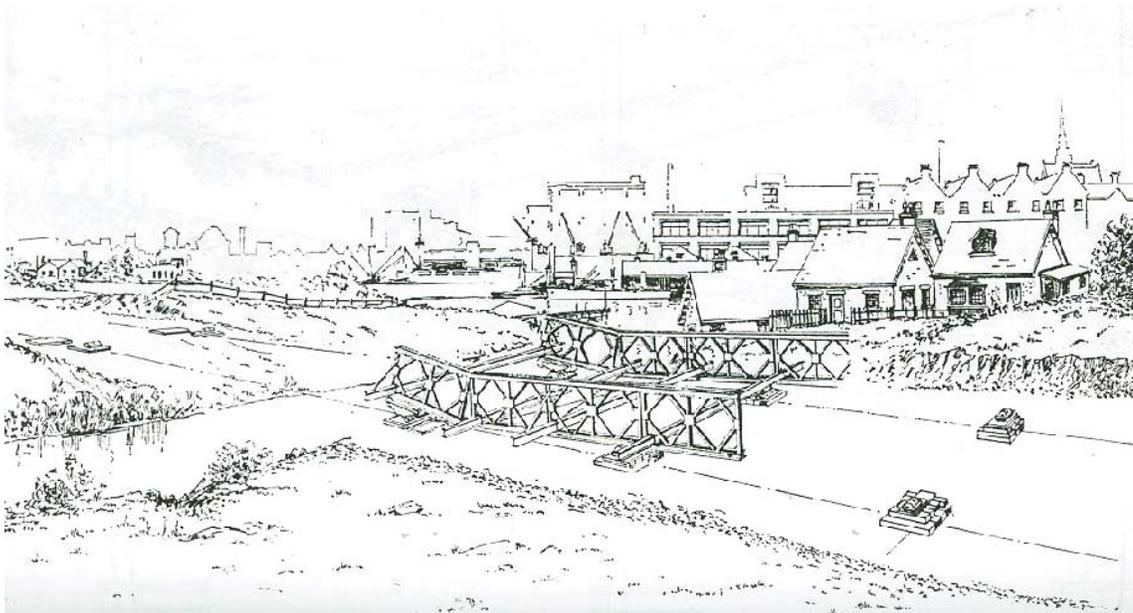


Figura 4.22 Montaje de cuarto módulo del morro de lanzamiento.

4.6.4 Montaje de un puente Bailey Simple Simple.

Habiendo armado la longitud requerida del morro de lanzamiento, se colocan los rodillos planos para el montaje del puente Simple Simple, en ambos extremos laterales del puente nivelados y con distancia máxima de 25 pies en proyección longitudinal.

Se colocan dos paneles en la parte posterior del morro de lanzamiento unidos con bulones. Se colocan tres traveseros (la cantidad de traveseros por módulo pueden ser de dos a cuatro, según la carga puntual de diseño). Uno detrás del montante delantero, uno

delante del montante central y uno delante del montante posterior, asegurando los tres con torniquetes de travesero. Colocar tornapuntas a los traveseros delanteros y posteriores, ajustarlos con Pernos de Arriostramiento (BB.11), colocar dos diagonales de arriostramiento y ajústese. Este procedimiento se observa en la figura 4.23. No trate de colocar la plataforma en este módulo.

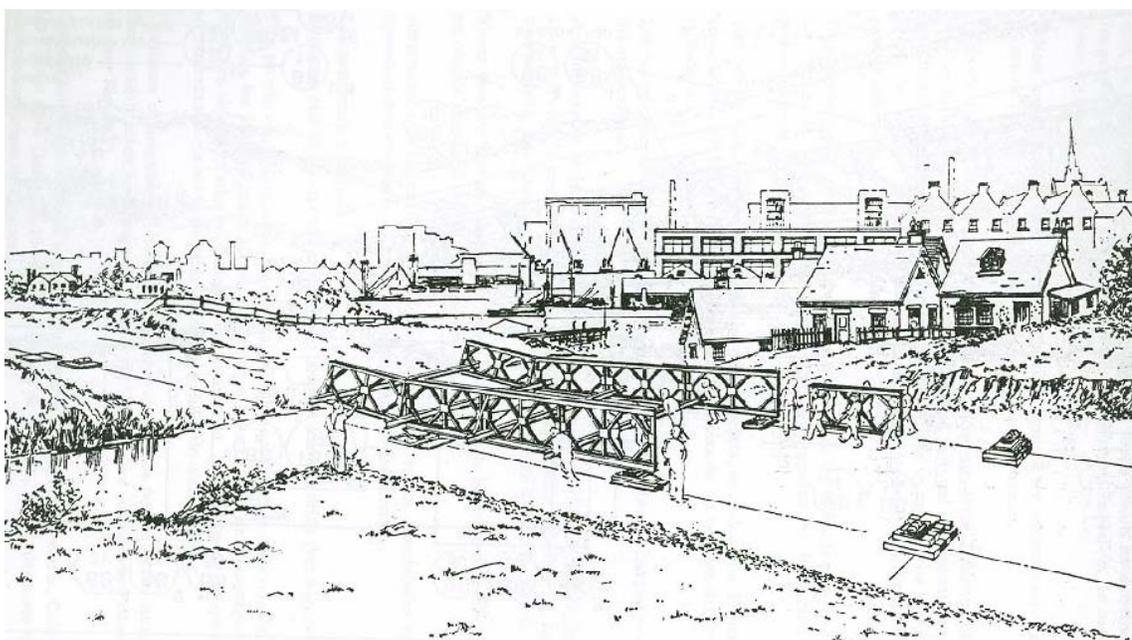


Figura 4.23 Montaje de puente Simple Simple.

Se colocan dos paneles más, para formar el segundo módulo del puente, se colocan dos traveseros, uno delante del montante central, uno delante del montante posterior, asegurándolos con torniquetes. Se colocan las tornapuntas al travesero posterior y se ajusta con pernos de arriostramiento al montante del panel. Colocar las diagonales de arriostramiento y ajustarlas. Nunca templar las diagonales de arriostramiento antes que las tornapuntas hayan sido colocadas y ajustadas. Se colocan dos paneles más para el

tercer módulo y se repite el montaje hecho en el segundo módulo, hasta que el puente tenga la longitud requerida.

El puente de modulación Simple Simple, tiene el menor peso de las modulaciones de vigas, por lo que durante el montaje puede ser necesario aumentar el contrapeso en el momento del lanzamiento, al puente se le pueden colocar los emparrillados, empezando del segundo módulo del puente, tan pronto como la modulación principal se haya completado en el tercer módulo. De otra manera, toda la colocación del tablero debe dejarse hasta que el montaje de los paneles se haya completado. Los emparrillados se colocan en las grapas, ajustándolos sobre los traveseros del puente, queda entonces impedido de moverse hacia los extremos o lateralmente. En las posiciones exteriores, se colocan los emparrillados de botones (BB.8) y en las posiciones interiores se colocan los emparrillados planos (BB.7). Note que el emparrillado plano es reversible, puede ser colocado sobre cualquiera de sus lados y también por cualquiera de sus extremos.

4.6.5 Montaje de un puente Bailey Doble Simple.

El trabajo preliminar de preparación del terreno y la colocación de los rodillos, es similar a lo descrito para puentes de modulación de vigas Simple Simple, con excepción; que se necesitan rodillos adicionales en las vigas exteriores de los puentes Doble Simple de más de 70 pies de luz para soportar mayores pesos. Estos rodillos planos adicionales se colocan a distancias de 18 pulgadas (0.46m), entre centros, al lado exterior de la línea de rodillos del morro de lanzamiento. Ver figura 4.18. En la orilla opuesta, no es necesario

emplear Rodillos basculantes para que los puentes Doble Simple lleguen sobre ellos. Las Placas de asiento colocarlas a distancia de 14 piés 5 pulgadas (4.4m) entre centros.

El montaje comienza con el morro de lanzamiento. El procedimiento sigue exactamente la misma secuencia que se describe en la sección 4.6.3, montaje de morro de lanzamiento. El primer módulo del puente, se ensambla como Simple Simple, y se coloca un travesero (BB.5) frente a los montantes centrales de los paneles (BB.1). Se acoplan dos paneles adicionales para formar la viga interior del módulo 2. Ver figura 4.24 y 4.25.

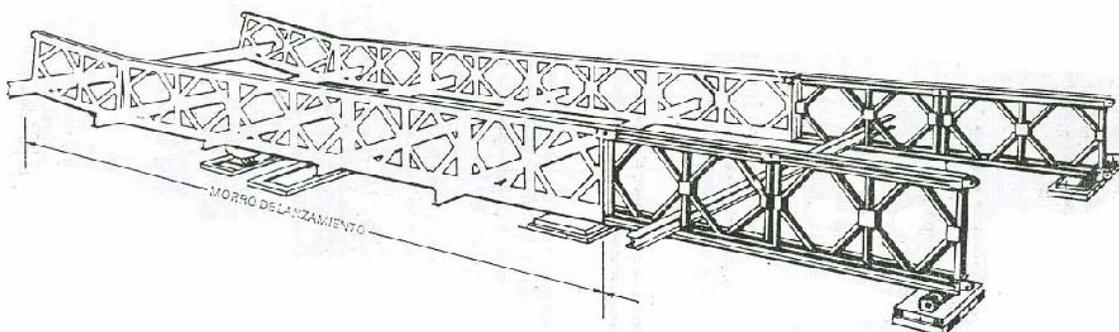


Figura 4.24 Inicio de montaje de un puente Doble Simple.

Para formar la segunda viga o viga exterior, se conectan dos paneles al primer módulo como sigue: se pasan estos paneles en los extremos de los traveseros, hasta que cada panel quede a 18 pulgadas del panel de la viga interior. Estos paneles exteriores pueden ahora ser elevados hasta que las clavijas de sus apoyos de travesero encajen en los agujeros del patín inferior del travesero. Inmediatamente, se fijan los Torniquetes de travesero (BB.6), en los montantes centrales, para recibir el peso de los paneles. En el

primer módulo, se colocan dos traveseros uno delante del montante central y otro delante del montante posterior. Se acoplan, seguidamente, cuatro tornapuntas (BB.3) y dos diagonales de arriostamiento (BB.15). Se coloca un Bastidor de arriostamiento (BB.2) a través de los cordones superiores de los dos paneles, quedando asegurado en su posición con cuatro Pernos de arriostamiento (BB.11), ver figura 4.25. Todos los elementos de arriostamiento se ajustan en la misma secuencia en que han sido colocados. Para el montaje del segundo módulo y siguientes, se acoplan, por medio de bulones, un panel (BB.1) a cada lado de las cuatro vigas, insertando los bulones del panel de la viga interior desde la línea central hacia fuera y los bulones de las vigas exteriores desde fuera hacia la línea central. Se colocan los traveseros uno delante del montante central y el otro delante del montante posterior, ver figura 4.26. Seguidamente, se colocan los torniquetes de travesero (BB.6) y dos tornapuntas (BB.5) desde el travesero posterior al panel, dos bastidores de arriostamiento (BB.2) y dos diagonales de arriostamiento (BB.15) como en el primer módulo. Luego se revisa el ajuste de los elementos de arriostamiento en el orden que fueron colocados.

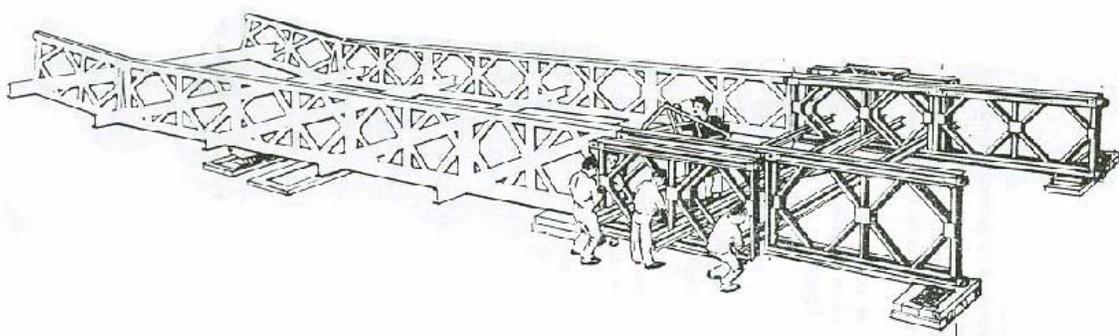


Figura 4.25 Montaje un puente Doble Simple.

Cuando el puente soportará carga axiales mayores que 11.25 toneladas se hace necesaria la colocación de cuatro traveseros por módulo, los dos traveseros adicionales, se colocarán en cuanto los cuatro paneles de cada módulo queden debidamente arriostrados.

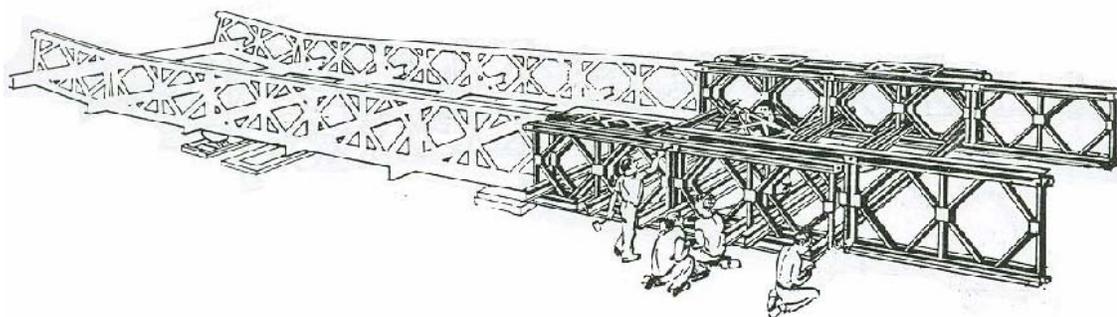


Figura 4.26 Montaje de traveseros en puentes Doble Simple.

4.6.6 Montaje de un puente Bailey Triple Simple.

Similar al procedimiento descrito, para puentes de modulación de vigas Simple Simple y Doble Simple, las variantes que tendrán en cuenta son las siguientes:

Las placas de asiento se colocan a 15 pies 4 ½ pulgadas (4.68m) entre centros. La disposición de los rodillos de los puentes Doble Simple es igualmente apropiada para los puentes Triple Simple, teniendo presente que los pequeños rodillos guías en la parte exterior de los rodillos basculantes externos, deben sacarse, ya que de otra manera, estorbarían a los paneles de la tercera viga.

El montaje del puente Triple Simple, es una prolongación del procedimiento Doble Simple; esto es, los paneles para la tercera viga son ensamblados a cada módulo, cuando

la formación Simple Simple ha alcanzado el tercer módulo, el primer y segundo módulo están en montaje Doble Simple. Se coloca entonces traveseros delante del montante central y el montante posterior en el primer módulo. Colocar tornapuntas en el montante posterior del primer módulo y bastidores de arriostamiento (BB.2) en el cordón superior de los paneles de la primera y segunda viga, unidos con pernos de arriostamiento (BB.11). El módulo, se complementa colocando las diagonales de arriostamiento que aseguran la forma rectangular de la estructura, ver figura 4.27.

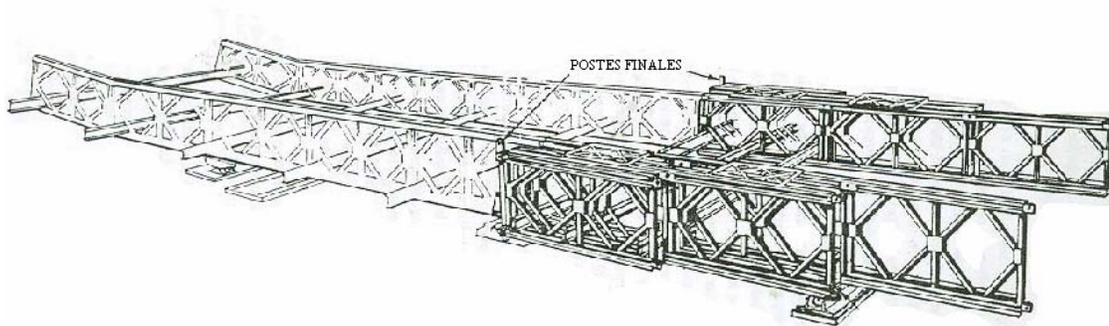


Figura 4.27 Montaje de un puente Triple Simple.

Antes que el panel para la tercera viga se ensamble al primer módulo, este deberá tener su Poste Final Macho (BB.63) acoplado con sus bulones. Si el puente va a ser de modulación de vigas Triple Simple Reforzada, los paneles en el segundo módulo y todos los módulos siguientes, deben tener un Cordón de refuerzo (BB.150) previamente acoplado a sus cordones inferiores; ver sección 2.1.6 que trata sobre puentes con Cordón reforzado. Los paneles de la segunda y tercera viga se acoplan por medio de una Placa de unión (BB.29) sujeta por medio de dos pernos de arriostamiento (BB.11), a los agujeros superiores, en los montantes del panel. La conexión entre los paneles de la

tercera viga se logra insertando los bulones de panel desde afuera hacia la línea central. Este procedimiento se repite hasta que se llega al último módulo del puente. Es conveniente, que la colocación de traveseros, bastidores, tornapuntas y diagonales de arriostramiento se complemente por cada módulo conformado, para garantizar la rigidez de la estructura.

Colocación de postes. En el último módulo, los paneles de la tercera viga deben tener sujetos, sus Postes Finales Hembras (BB.62) acoplados por medio de bulones de panel insertados desde adentro hacia fuera, antes que los paneles sean ensamblados en el puente. A menudo, puede resultar conveniente postergar la colocación de los postes finales, hasta que el puente haya sido lanzado y la cola haya pasado los rodillos de montaje; de otra forma, podría tropezar el bloque de apoyo de la parte inferior de los postes con los rodillos. Acoplar una placa unión con dos pernos de arriostramiento en los agujeros, de la parte superior de los postes finales en la segunda y tercera viga. Cuando se lleva a cabo el montaje de cuatro traveseros por módulo, los dos traveseros adicionales, se colocan en cada módulo, tan pronto como los paneles de las tres vigas han sido colocados.

4.6.7 Montaje de un puente Bailey Doble Doble.

Se inicia con el montaje del primer, segundo y tercer módulos longitudinalmente, en modulación Doble Simple, con su arriostramiento completos, excepto los bastidores (BB.2) colocados horizontalmente, y luego ensamblar los paneles de la segunda altura

de vigas en el primer módulo logrando Doble Doble. En esta secuencia, se mantendrá el incremento de paneles de segunda altura teniendo por delante dos módulo Doble Simple.

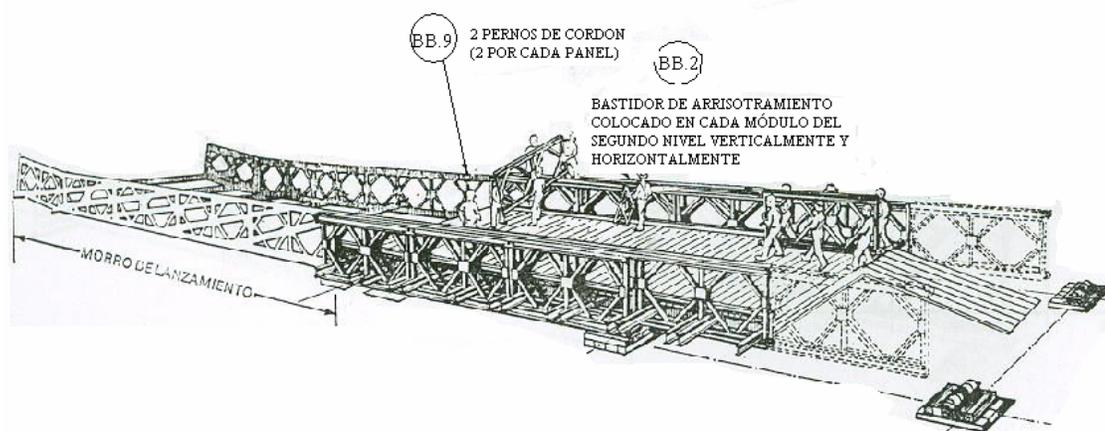


Figura 4.28 Montaje de un puente Doble Doble.

Este procedimiento, garantiza la no existencia de flecha durante el ensamble, la unión de estas dos alturas de vigas se logra con una par de Pernos de cordón (BB.9) con su collarín en cada unión de panel, los cuales deben quedar lo suficientemente ajustados para garantizar la rigidez de la estructura y la colocación de los bastidores de arriostramiento vertical y horizontalmente en la segunda altura de vigas. El montaje se facilita, empleando una grúa móvil con capacidad para levantar una carga de $\frac{1}{2}$ toneladas en un radio de 20 pies (6.1m) y con altura de elevación del gancho sobre el nivel del piso de 20 pies (6.1m). Si el puente va a ser Doble Doble Reforzado, la capacidad de la grúa debe ser aproximadamente de $\frac{3}{4}$ toneladas (750 kg). Ajustar los paneles de segunda altura, insertando los bulones de unión (los bulones de la viga interior se insertan hacia a fuera y los de la viga exterior se insertan hacia dentro), luego

los pernos de unión de panel y los bastidores de arriostros verticales y superiores en la segunda altura, ver figura 4.29. El ensamble puede ser más práctico si se unen dos paneles y se sigue una secuencia de montaje con este módulo de 20 piés de longitud en cualquier tipo de modulación de vigas.



Figura 4.29 Montaje de un puente Doble Doble.

En los módulos finales, a cada extremo del puente, los paneles de la primera altura se conectan con bulones a los postes finales machos y hembras. Cuando el puente va a ser de modulación de vigas Doble Doble Reforzada, los paneles se deben montar con el Cordón de refuerzo (BB.150) incluido.

4.6.8 Montaje de un puente Bailey Triple Doble.

Se inicia con el montaje del primero, segundo y tercer módulo longitudinalmente en modulación Triple Simple y luego ensamblar los paneles de la segunda altura de vigas

en el primer módulo, logrando Triple Doble, en esta secuencia, se mantendrá el incremento de paneles de segunda altura de cada viga teniendo por delante dos módulos Triple Simple. Tal como ocurre en la modulación de vigas Triple Simple, los paneles para la primera y segunda vigas ensamblar, en el puente, dos módulos, más adelante que los paneles para la tercera viga, de manera que para Triple Doble, esta regla se aplicará para los paneles de primera altura y para los de segunda altura. En los puentes Triple Doble, el montaje se irá efectuando en cuatro módulos simultáneamente. Ver figura 4.30. Esta secuencia se realiza par reducir la flecha que se produciría si se tiene una longitud mayor de módulos. Para este montaje, disponer una pequeña grúa de ½ toneladas (500kg), en un radio de 20 piés (6.1m) con elevación del gancho, sobre el nivel del piso, de 20 piés (6.1m), para colocar los componentes del segundo nivel. Una vez que el morro de lanzamiento ha sido montado, las diversas etapas de montaje se describen en la tabla 4.4 como sigue:

Tabla 4.4 Proceso de montaje puente Bailey Triple Doble.

Fase	Primer nivel.	Segundo nivel.
1	Módulo 1. Montar D.S.	-
2	Módulo 2 y 3. Montar D.S.	Módulo 1. Montar como D.D.
3	Módulo 1. Añadir el tercer panel en las vigas formando T.S. Módulo 4. Montar como D.S.	Módulo 2. Montar como D.D.
4	Módulo 2. Añadir el tercer panel en las vigas formando T.S. Módulo 1. Añadir traveseros adicionales si son necesarios. Módulo 5. Montar como D.S.	Módulo 3. Montar como D.D. Módulo 1. Añadir el tercer panel en las vigas formando T.S.
5	Módulo 3. Añadir tercer panel en las vigas formando T.S.	Módulo 4. Montar como D.D. Módulo 2. Añadir el tercer panel en

	Módulo 2. Añadir traveseros adicionales si son necesarios. Módulo 6. Montar como D.S.	las vigas formando T.S.
6	Módulo 4. Añadir tercer panel en las vigas formando T.S. Módulo 3. Añadir traveseros adicionales si son necesarios. Módulo 2. Colocar emparrillados.	Módulo 5. Montar como D.D. Módulo 3. Añadir el tercer panel en las vigas formando T.S.

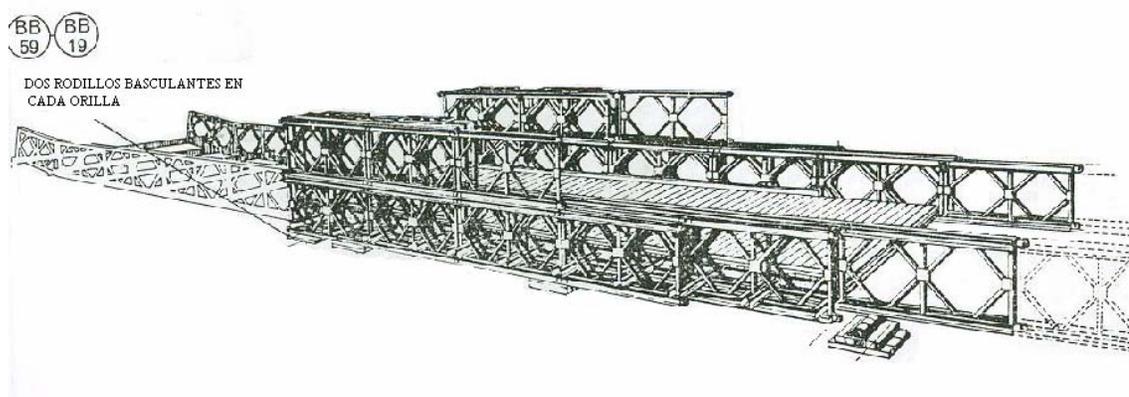


Figura 4.30 Montaje de puente Triple Doble.

Cuando se acopla el panel de la tercera viga del primero o segundo nivel, se emperna una placa de unión, a través de la segunda y tercera vigas, en los agujeros verticales de los montantes del panel. Todos los paneles del segundo nivel acoplarlos con bulones al módulo anterior, antes de empernar los cordones al nivel inferior, con Pernos de Cordón (BB.9), e insertarlos de abajo hacia arriba, colocar los Bastidores de Arriostramiento (BB.2) horizontalmente sobre los cordones superiores y verticalmente en los montantes del extremo hembra de los paneles, uniendo la primera y segunda viga. Repetir esta secuencia en toda la longitud del puente. En el último módulo, en el nivel inferior, el panel de la tercera viga ensamblarlo completo, con sus postes finales en los extremos.

4.6.9 Montaje de un puente Bailey de tres módulos de altura con arriostamiento superior.

Los puentes de modulación de vigas Doble Triple y Triple Triple tienen una secuencia de montaje similar a la modulación Doble Doble y Triple Doble, pero incrementa una tercera altura de panel de vigas que tienen un ensamble escalonado similar, en fases, que relacionan paneles del primero, segundo y tercer nivel. Para lo cual, dispone de plataformas provisionales, armadas tres o cuatro módulos a cada lado de los módulos de montaje, desde donde se pueden ensamblar los módulos del tercer nivel. Luego las plataformas se pueden colocar más cerca de los extremos del puente, dependiendo, su ubicación exacta, de la longitud del puente que se esté montando, ver figura 4.31.

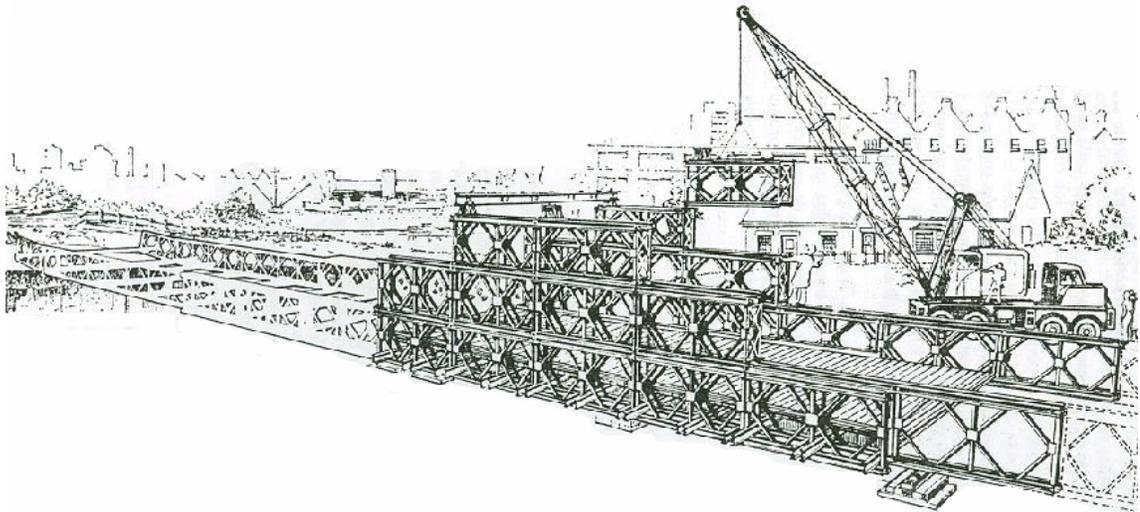


Figura 4.31. Montaje de puente Triple Triple.

Las vigas del tercer nivel deben poseer bastidores de arriostamiento horizontal, en los cordones superiores y verticalmente en los montantes acompañados de las placas de

unión, además colocar los Soportes para el Arriostramiento Superior (BB.73) para colocación de traveseros (BB.2). En todos los puentes de tres niveles, el último módulo en cada extremo del puente se deja en modulación de dos niveles.

Cuando la modulación del tercer nivel está completa, se puede agregar el arriostramiento superior, comenzando por el centro y trabajando hacia fuera para llegar a ambos extremos del puente, simultáneamente. Disponer de una grúa móvil, para colocar el arriostramiento superior en su lugar. Conforme se completa cada módulo, se coloca y templea un par de diagonales de arriostramiento en la parte inferior y superior del puente. En algunos casos, por ejemplo, puede ser necesario colocar un gato horizontalmente, de manera que el pié se apoye contra la placa de rigidez del soporte y la base queda contra el cordón superior de la segunda viga, para permitir la colocación de los pernos de cordón y de arriostramiento.

4.6.10 Montaje de puentes Bailey con Cordón reforzado.

El uso de cordón de refuerzo, incrementa el área de patín de los cordones del panel, aumentando el momento de inercia del puente, el cordón de refuerzo puede colocarse en la primera, segunda y tercera viga de la modulación de un puente en los extremos superiores e inferiores de las vigas del puente en su modulación final. Todos los cordones de refuerzo, se acoplan unos a otros, por medio de bulones entre ellos y pernos de cordón (BB.9), con el cordón de los paneles.

El Cordón reforzado (BB.150) se une al cordón del panel inferior, antes de montarlos en el puente, conectados con pernos de cordón y el collarín, usando la tuerca dentro del

panel y la cabeza de los pernos de cordón, alojada en el Cordón de refuerzo. En la parte superior de los paneles, puede colocarse el cordón de refuerzo con el panel colocado en su posición, durante el proceso de montaje, y asegurándolos con bulones y pernos de cordón.

En los puentes Doble Simple y Triple Simple, recordar, insertar los pernos de arriostamiento dentro de los cordones, para la primera y segunda vigas, antes de acoplar a los paneles, con el cordón de refuerzo. En los puentes Doble Doble, preparar la segunda altura, empernando un cordón de refuerzo con los pernos de cordón, completando el conjunto con bastidores de arriostamiento, listo para que la grúa lo coloque en su lugar. En los puentes Triple Doble, preparar el mismo conjunto para el piso superior de la primera y segunda vigas y, adicionalmente, empernar un cordón de refuerzo al cordón superior de otro panel, listo para que la grúa lo coloque en la posición de la tercera viga. Si se colocan bastidores de arriostamiento sobre los cordones de refuerzo, los pernos de arriostamiento para su montaje deben ser colocados en el cordón de refuerzo, antes que éste sea empernado al panel. El perno de arriostamiento se inserta de manera que la cabeza se aloje dentro del cordón de refuerzo, colocando la tuerca provisionalmente para mantenerlo en esta posición.

4.6.11 Lanzamiento de puentes metálicos modulares.

4.6.11.1 Cálculos típicos para el lanzamiento de puentes metálicos modulares.

La posición del centro de gravedad de el puente metálico modular se calculará previamente y durante el lanzamiento del puente, esto se logra, determinando el

momento producido por el peso del morro del lanzamiento y la estructura del puente en posición de voladizo, respecto al apoyo de rodillo de apoyo del extremo de lanzamiento. El centro de gravedad deberá encontrarse al menos 10 piés atrás del rodillo de lanzamiento, durante el llamado punto de balanceo, en el que se tiene el mayor voladizo inmediatamente antes de tocar los rodillos de aterrizaje. La tabla 4.5 contiene los pesos de los módulos del morro de lanzamiento para los cálculos correspondientes.

Tabla 4.5 Peso de módulos de morro de lanzamiento.

Modulación	Ancho estándar	Estándar ensanchado	Extra ancho
Simple Simple	0.84	0.93	0.93
Doble Simple	1.43	1.53	1.53
Doble Doble	2.60	2.70	2.70

4.6.11.1.1 Ejemplo 4.1. Cálculo para el lanzamiento de un puente Bailey de 90 piés Doble Simple reforzado, con cuatro traveseros por módulo, ancho estándar ensanchado (D.S.R.4.M-2) con plataforma de madera.

Peso del puente. De la Tabla 3.3. Se tienen 7 paneles reforzados y 2 no reforzados, se debe restar el peso de los emparrillados metálicos y tablones de madera.

Peso del puente reforzado: $7 \times (4.64 - (0.58 + 0.50)) = 24.92$ toneladas.

Peso del puente no reforzado: $2 \times (3.78 - (0.58 + 0.50)) = 5.4$ toneladas.

Peso del puente: $24.92 + 5.4 = 30.32$ toneladas.

Peso del morro de lanzamiento. Se estima la longitud del morro de lanzamiento, dividiendo la cantidad de módulos del puente terminado entre dos y aumentar uno o dos paneles para equilibrar los pesos.

Peso del morro: $\frac{9}{2} + 1 = 6$ módulos S.S. = $6 \times 0.93t = 5.58$ toneladas.

Peso total sobre el rodillo de lanzamiento: $24.92 + 5.4 + 5.58 = 35.90$ toneladas.

Punto de balanceo desde el extremo del morro. Las cargas del extremo en voladizo del morro de lanzamiento deben ser compensadas por el peso del puente, manteniendo el equilibrio, situando el centro de gravedad atrás del rodillo de lanzamiento.

$$X = \frac{(5.58t \times 30') + (30.32t \times 105')}{35.90t} = 93.34 \text{ piés.}$$

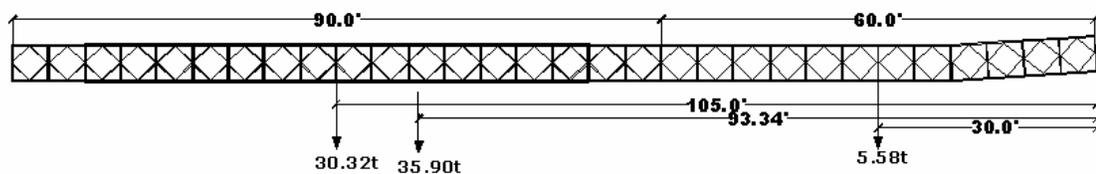


Figura 4.32 Ejemplo 4.1 Morro de lanzamiento puente Bailey D.S.90'R.4.M-2.

Distancia entre los rodillos de lanzamiento y aterrizaje: $90' - 7' = 83$ piés.

Por lo tanto, el morro de lanzamiento estará sobre los rodillos de aterrizaje antes que el centro de gravedad alcance los rodillos de lanzamiento con una distancia mayor que 10 piés.

La flecha producida por el morro de lanzamiento de la tabla 4.2 es de 20 pulgadas. Insertar un par de eslabones de morro detrás del segundo módulo del morro de lanzamiento para producir un alzamiento de 27 pulgadas.

4.6.11.1.2 Ejemplo 4.2. Cálculo para el lanzamiento de un puente Bailey de 70 piés Doble Doble dos traveseros por módulo, ancho estándar ensanchado (D.D.2.M-2) plataforma de madera.

Peso del puente. De la Tabla 3.3 al peso del puente se resta el peso de los emparrillados metálicos y tablonés de madera.

Peso del puente: $7 \times (4.36 - (0.58 + 0.50)) = 22.96$ toneladas.

Peso del morro de lanzamiento. Se estima la longitud del morro de lanzamiento dividiendo la cantidad de módulos del puente terminado entre dos y aumentar uno o dos paneles para equilibrar los pesos.

Peso del morro: $\frac{7}{2} + 1 = 5$ módulos S.S. = $5 \times 0.93t = 4.65$ toneladas.

Peso total sobre el rodillo de lanzamiento: $22.96 + 4.65 = 27.61$ toneladas.

Punto de balanceo desde el extremo del morro. Las cargas del extremo en voladizo del morro de lanzamiento, deben ser compensadas por el peso del puente, situando el centro de gravedad atrás del rodillo de lanzamiento.

$$X = \frac{(4.65t \times 25') + (22.96t \times 85')}{27.61t} = 74.89 \text{ piés.}$$

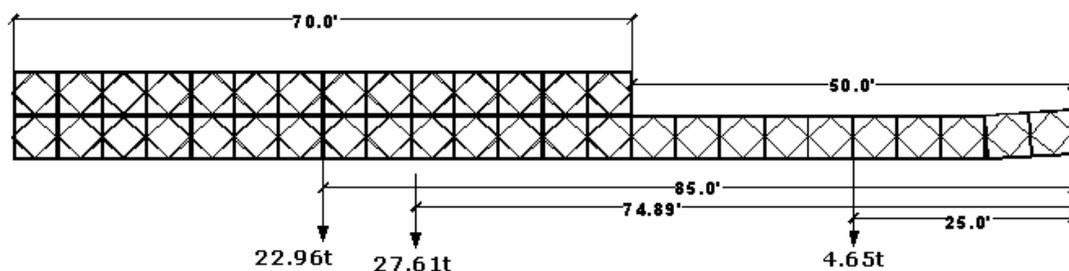


Figura 4.32 Ejemplo 4.2 Morro de lanzamiento de puente Bailey D.D.70'.M-2.

Distancia entre los rodillos de lanzamiento y aterrizaje: $70 - 7' = 63$ piés.

Por lo tanto el morro estará sobre los rodillos de aterrizaje antes que el centro de gravedad alcance los rodillos de lanzamiento con una distancia mayor que 11 piés.

La flecha producida por el morro de lanzamiento de la tabla 4.2 es de $8 \frac{1}{2}$ pulgadas.

Insertar un par de eslabones de morro detrás del primer módulo del morro de lanzamiento para producir un alzamiento de $13 \frac{1}{2}$ pulgadas.

Tabla 4.6 Modulación y longitud del morro de lanzamiento para puentes metálicos modulares de ancho estándar Bailey⁴⁰.

Modulación y longitud del puente	Peso del puente (t).	Modulación y longitud del morro de lanzamiento	Peso del morro de lanzamiento.(t)	Distancia entre centro de gravedad y voladizo	Flecha producida y contraflecha
D.S. 50'	8.25	S.S. 50'	4.20	58'-43'	6''-13.5''
D.S. 60'	9.90	S.S. 50'	4.20	63.6'-53'	8.5''-13.5''
D.S. 70'	11.55	S.S. 60'	5.04	75.2'-63'	12''-13.5''
D.S. 80'	13.20	D.S.10'-S.S.60'	6.47	86.2'-73'	16''- 27''
D.S. 90'	14.85	D.S.20'-S.S.60'	7.97	97.0'-83'	20''- 27''
D.S. 100'	16.50	D.S.20'-S.S.60'	7.97	102.3'-93'	25''- 27''
T.S. 50'	11.10	S.S.40'	3.36	54.5'-43'	6''- 13.5''
T.S. 60'	13.32	S.S.50'	4.20	66.8'-53'	8.5''- 13.5''
T.S. 70'	15.54	S.S.50'	4.20	72.3'-63'	12''-13.5''
T.S. 80'	17.76	S.S.60'	5.04	88.5'-73'	16''- 27''
T.S. 90'	19.98	D.S.10'-S.S.60'	6.47	96.1'-83'	20''- 27''
T.S.100'	22.20	D.S.20'-S.S.60'	7.90	107.56'-93'	25''- 27''
D.D. 60'	16.92	S.S. 50'	4.20	69.29'-53'	6.5''- 13.5''
D.D. 70'	19.74	S.S. 50'	4.20	74.47'-63'	8.5''- 13.5''

⁴⁰ Nota: los cálculos de la tabla 4.6, se han realizado considerando la distancia entre rodillos de lanzamiento y aterrizaje igual a la longitud del puente menos 7 piés (2.13m) por el adelanto de los rodillos a las placas de apoyo. El peso del puente es considerado sin emparrillados.

D.D. 80'	22.56	S.S. 60'	5.04	87.0'-73'	11''-13.5''
D.D. 90'	25.38	S.S. 60'	5.04	92.57'-83'	14''- 27''
D.D. 100'	28.20	D.S.10'-S.S.60'	6.47	104.6'-93'	17''- 27''
D.D. 110'	31.02	D.S.20'-S.S.60'	7.90	116.63'-103'	21''-27''
D.D. 120'	33.84	D.S.30'-S.S.60'	9.33	128.54'-113'	25''- 27''
D.D. 130'	36.66	D.S.30'-S.S.60'	9.33	133.83'-123'	30''- 40''
D.D. 140'	39.48	D.D.10'- D.S.30'-S.S.60'	11.93	144'-133'	36''- 40''
T.D. 100'	39.60	D.S.10'-S.S.60'	6.47	108.5'-93'	17''- 27''
T.D. 110'	43.56	D.S.10'-S.S.60'	6.47	113.7'-103'	21''- 27''
T.D. 120'	47.52	D.S.20'-S.S.60'	7.90	126.4'-113'	25''- 27''
T.D. 130'	51.48	D.S.30'-S.S.60'	9.33	139.0'-123'	30''- 40''
T.D. 140'	55.44	D.S.30'-S.S.60'	9.33	144.3'-133'	36''- 40''

4.6.11.2 Lanzamiento y bajada de los puentes metálicos modulares.

El lanzamiento del puente metálico modular, una vez armado, se inicia cuando se ha revisado cuidadosamente el ensamble correcto del puente, con el morro y nariz de lanzamiento, ver figura 4.34. Cerciórese que estén bien apretados todos los pernos, antes de lanzar la estructura. Este procedimiento inicial estará aprobado por el ingeniero responsable y supervisor.

Un procedimiento que se adopta, con frecuencia, es: montar varios módulos del morro y nariz de lanzamiento con la estructura del puente, de manera parcial, desplazando la estructura hacia delante una porción del claro, montar otra longitud de la estructura y desplazar una porción más, teniendo especial cuidado al desplazar la estructura hacia delante, que nunca se permita que el centro de gravedad de la longitud montada se acerque más que la distancia de un panel, a los rodillos del extremo delantero del lanzamiento.

Se debe programar el lanzamiento, en las condiciones circundantes y climáticas que garanticen la seguridad del personal y de la estructura. Para el lanzamiento se debe poseer fuerza de tracción de aproximadamente una décima parte del peso de la estructura para mover la estructura sobre un plano de lanzamiento a nivel. La fuerza se aplica sobre la línea central de la estructura o simétricamente con respecto a ella, ya que de lo contrario la estructura se descentraría. Una máquina capaz de empujar y detener en cualquier momento el proceso, puede ser una retroexcavadora, un cargador o una pala mecánica, ver figura 4.35.

Se debe tener una última revisión de la posición correcta de los rodillos de montaje en donde tendrá movimiento el puente, con sus niveles de soporte, alineamiento y los rodillos de aterrizaje, los cálculos debidamente revisados de la posición del centro de gravedad, considerado la colocación o no de contrapesos en la parte posterior de la estructura para mayor seguridad durante el lanzamiento.



Figura 4.34 Nariz de lanzamiento.

Para el lanzamiento del puente, se debe tener dispuestas todas las estrategias de trabajo con personal de experiencia en montaje, para la revisión de alineamiento y rotación de los rodillos de lanzamiento. Toda la atención se centra en la estabilidad del movimiento del puente, detectando cualquier falla en el alineamiento y nivelación del puente, teniendo observadores en el morro de lanzamiento, rodillos y líneas guías durante este proceso, para que el ingeniero responsable del montaje pueda tener el control total de las distintas operaciones se realicen correctamente, sin riesgos. Cuando exista alguna falla en el movimiento sobre los rodillos debido al vuelco, desviación o atascadura de estos, se debe detener el lanzamiento y utilizar gatos de carraca para levantar el lateral del puente en el extremo del rodillo a ajustar. Durante el lanzamiento, la estructura puede perder la línea guía de lanzamiento y desplazar su parte delantera del punto de aterrizaje, debe ajustarse el alineamiento de la estructura inicialmente con la maquinaria de empuje, sino fuese, suficiente utilizar un empuje lateral mediante gatos de carraca o tirando de la estructura mediante un tacleen con capacidad de 10 toneladas de un extremo, hasta lograr el correcto alineamiento sobre el eje central de la estructura.

En el momento de la llegada de la nariz de lanzamiento, al extremo opuesto, puede ser necesario el ajuste de los rodillos de aterrizaje, en su altura. Si ha la llegada queda demasiado alta, de forma que cuando se alcance el punto de equilibrio descienda con demasiada fuerza, en algunos casos, en que la longitud y peso del puente pudiera presentar complicaciones, puede ser necesario tener un cargador, un camión grúa o alguna maquinaria que pueda ajustar la llegada de la nariz de lanzamiento.

Una vez ajustados los rodillos de aterrizaje, continuar con el lanzamiento hasta que la sección del puente quede correctamente alineada sobre sus posiciones de apoyo. Ningún tramo del morro de lanzamiento se retira, hasta que el puente quede correctamente alineado. Se desmonta entonces el morro de lanzamiento y se colocan los postes finales faltantes en el extremo de llegada.

La bajada del puente, sobre sus apoyos, se inicia cuando los postes finales que se hayan colocados, queden directamente sobre los Apoyos de cojinete (BB.19) de las placas de asiento, la bajada se realiza mediante los gatos hidráulicos de 15 ó 25 toneladas de capacidad ajustados a los postes finales sobre placas de asiento (ver figura 4.35) iniciando con el extremo trasero del puente, hasta asentarlos sobre los apoyos de cojinete, retirando los rodillos de lanzamiento.



Figura 4.35 Lanzamiento de puente Bailey D.D.70' M-2. Presa Cerrón Grande.

Si el puente ha de descenderse a larga distancia, será preciso realizar la elevación con gatos de levantamiento en etapas. Elevarlo primero en la parte posterior y calzarlo, luego al frente y nuevamente atrás, alternadamente, hasta completar la operación, ver figura

4.36. Cerciorarse que en cada etapa de elevación con gatos de levantamiento, la pendiente longitudinal del puente no exceda una gradiente de 1 en 100. Además, no se debe soportar ambos extremos del puente sobre gatos de levantamiento. Al mismo tiempo, debe utilizarse empaquetaduras de apoyos formadas por emparrillados, cuarterones, paneles ajustados continuamente, en cuanto la altura, de forma que siempre quede justamente debajo de la estructura, formando un apoyo de seguridad durante el manejo de la estructura.

En puentes de 100 piés o de mayor longitud, el peso adicional hace necesario el uso de cuatro gatos de carraca (EN.1046) en cada extremo del puente.

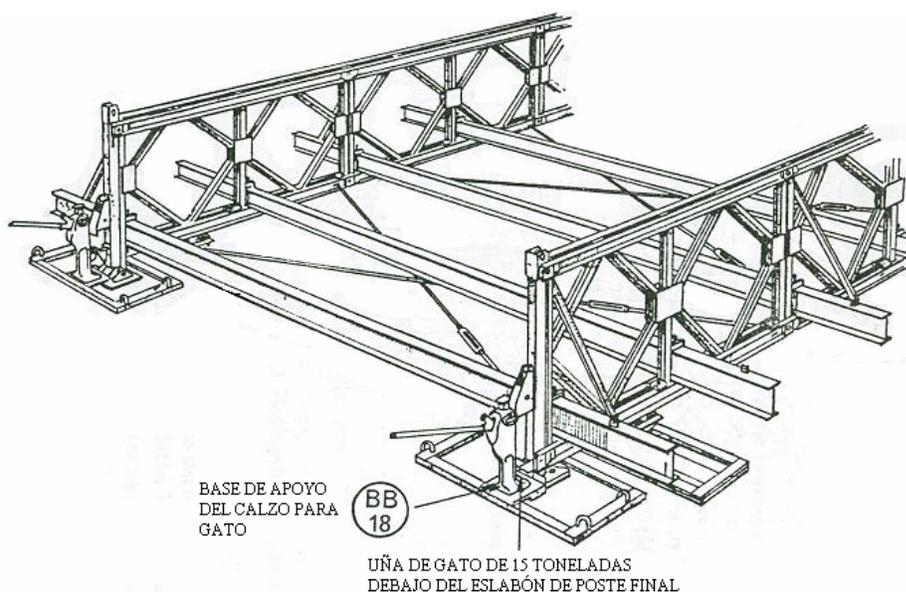


Figura 4.36 Bajada de puente Bailey.

4.6.12 Montaje de calzada.

Además de garantizar la fácil circulación de los vehículos sobre el puente, también su capacidad de carga, según las exigencias del tránsito promedio diario, debiendo escoger

entre la utilización de una calzada de madera, para un puente de provisional con cargas de ejes menores que 11 toneladas, o utilizar calzada de acero, asfalto o concreto para cargas mayores que esta. El montaje de calzada inicia con la colocación de los emparrillados planos y de botones sobre los traveseros de una forma longitudinal, ver figura 4.37.



Figura 4.37 Montaje de emparrillados planos y de botones.

4.6.12.1 Montaje de calzada de madera.

Habiendo montado los emparrillados, se colocan trece durmientes como cama inferior de madera resistente a la intemperie con o sin tratamiento, debe tener un mínimo de duramen o madera de corazón como se indica en AASHTO M 168⁴¹. Cualquier otra opción debe ser a criterio del supervisor, preferiblemente de conacaste, con longitud del ancho total de la calzada del puente, asegurándose que las espigas de los extremos

⁴¹ Unidad Ejecutora de Conservación Vial. COVIAL. 2002. Guatemala. Especificaciones especiales para actividades de mantenimiento contratadas a base de precios unitarios.

encajen entre los emparrillados de botones, estos impiden que los durmientes se muevan lateral o longitudinalmente.

Tan pronto como los durmientes están completos, se colocan, entonces, las trincas guardalado (BB.13), como guardallantas laterales que puede ser de madera o metálico, a lo largo del borde, encima de los botones del emparrillado. Las cuatro ranuras de la Trinca guardalado (guardallantas) encajan sobre los cuatro botones del emparrillado. A continuación se inserta la cabeza T de un Perno de trinca (BB.10), hacia abajo, a través de cada ranura de la trinca guardalado y dentro del botón tipo palastro. Las tuercas se ajustan mejor con una Llave de manivela (BB.34). Debe asegurarse, que los cuatro pernos que sujetan cada trinca guardalado, estén correctamente colocados en su lugar antes de ajustar las tuercas. La cama superior de madera, debe ser colocada paralelamente al eje central de la vía del tránsito vehicular, consiste en la colocación de tres tablones colocados en cada carrilera, con una distancia interior entre 2.25 piés (0.70m) a 3 piés (0.91), cada tablón con un ancho mayor que 12 pulgadas (30.48m), fijado firmemente a la cama inferior, ver figura 4.38.



Figura 4.38 Calzada de madera.

4.6.12.2 Montaje de calzada de acero.

La calzada de acero para puentes metálicos modulares, consiste en el montaje de láminas de acero lagrimada, soldadas a los emparrillados lisos y de botones, colocadas de manera intercalada en posición longitudinal y transversal, completados con guardalados metálicos, ver figura 4.39



Figura 4.39 Montaje de calzada de acero.

4.7 Fijación final de los puentes metálicos modulares.

Es conveniente que las placas de asiento queden empotradas en el muro de retención del estribo, para mantener una seguridad del no movimiento de las placas, ver figura 4.40. Debe revisarse el asentamiento de los postes finales sobre los apoyos de cojinete garantizando el apoyo del peso de la estructura sobre las placas de asiento, así como el aseguramiento de que todos los conectores de la estructura del puente hayan sido apretados y revisados mediante una inspección responsable del ingeniero encargado de la recepción de la estructura y el responsable del montaje.

El puente debe ser sometido a una carga de prueba antes de la apertura al tráfico de vehículos, con la carga viva provocada por el paso de un vehículo cargado con un peso similar al de diseño o mayor al propuesto para el servicio del puente, revisando en ese momento nuevamente los componentes, ruidos, vibración y conectores de la estructura, ver figura 4.41.



Figura 4.40 Empotramiento de placas de apoyo en cabezal de concreto reforzado.



Figura 4.41 Puentes Bailey TSR 100' M-2 en el Boulevard del Ejercito, probando su resistencia con una carga de 35 toneladas.

Antes de la apertura, debe garantizarse el buen uso del puente concientizando a los usuarios con información mediante boletines y señalización, colocando centinelas luminosas, letreros de la cercanía al puente, letreros con restricción del peso máximo vehicular y velocidad de circulación que debe ser entre 10 a 20 km/h, ver figura 4.42, letreros de un vehiculo a la vez sobre el puente y en un sentido, colocación de túmulo a la entrada del puente a una distancia no menor de 25 metros, para asegurar la disminución de velocidad, disminución del empuje por la aceleración de los vehículos y disminución de la carga centrífuga producida por la cercanía de una curva de la carretera a la entrada del puente, protección de los peatones colocando enrejados en la parte interior del puente o colocando pasarelas en los extremos.



Figura 4.42 Señalización de puentes metálicos modulares.

CAPÍTULO V

GUÍA PARA EVALUAR EL BUEN ESTADO

DE LOS PUENTES METÁLICOS

MODULARES

CAPÍTULO V
GUÍA PARA EVALUAR EL BUEN ESTADO DE
LOS PUENTES METÁLICOS MODULARES.

5.1 Inventario de los puentes metálicos modulares en El Salvador.

Los puentes metálicos modulares del país, han sido colocados bajo responsabilidad y control del Ministerio de Obras Públicas, dentro de los cuales se encuentran algunos de carácter provisional y otros permanentes, ver inventario de puentes en las tablas 5.1, 5.2 y 5.3, ver Anexo C, según los fabricantes y tipos de puentes, Bailey, Mabey Compact 200, y Acrow Panel, respectivamente.

5.2 Determinación del buen estado de los puentes metálicos modulares.

5.2.1 Inspección.

Es un levantamiento periódico, cada 6 meses o un año, de las condiciones físicas que tiene el puente metálico modular y su punto de emplazamiento, estando en funcionamiento, tal que permita identificar los daños o cambios en la estructura, debido a las condiciones a las que está siendo sometida, en lo que va de su permanencia funcionando, conociendo con esto, la condición del estado actual de los puentes metálicos modulares, como resultado de realizar una o más inspecciones a la estructura, funcionando, los aspectos a describir durante la inspección se reportan en el siguiente orden:

5.2.1.1 Datos generales:

- Número de la inspección.
- Nombre del puente.
- Ubicación del puente.
- Posición de la estructura y orientación.
- Hora y fecha de la inspección.
- Realizadores de la inspección.
- Tipo de puente.
- Tipo de modulación.
- Longitud y ancho del puente.
- Tipo de calzada.
- Estribos y su separación internamente o canal libre.
- Tramo natural que cubre el puente.

5.2.1.2 Determinación de las condiciones y estado en que se encuentra sometida la estructura, aplicando la siguiente metodología, para obtener la información requerida.

a) Observación directa. Para esto, es importante tener una vista curiosa o sospechosa. Por ejemplo:

1. Calles de acceso a la estructura.

- Pavimentadas.
- No pavimentadas.

2. Zonas de riesgo cercanas al punto de emplazamiento, ver figura 5.1.

- Taludes o laderas.
- Bordos de talud con viviendas.
- Socavación.
- Erosión.



Figura 5.1 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.

- Tipos de señalizaciones en el lugar de la estructura.
 - Preventivas.
 - Informativas.
 - Otras.
- Túmulos disipadores de velocidad de entrada y salida a la estructura.
- Drenajes de las rampas de acceso, ver figura 5.2.
 - Canaletas.
 - Badén.
 - Bajadas, diámetro de descarga.



Figura 5.2 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.

- Disipadores de energía que protejan las cimentaciones de la estructura.
- Cableado de energía eléctrica cercanos a la estructura, ver figura 5.3.
 - Postes cercanos.
 - Cables, tensores.
 - Anclajes.



Figura 5.3 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.

- Red de tuberías que pueden pasar por la estructura, ver figura 5.4.
 - Tubería de agua potable.
 - Tubería de aguas negras.
 - Tubería de aguas lluvias.

- Tubería de otro tipo de descarga.
- Otros elementos dependiendo de la estructura.



Figura 5.4 Puente Mabey Compact 200, Los Ángeles, DS - 110', Apopa.

- Máximas crecidas del cauce, ver figura 5.5.
- Huellas.
- Nivel de aguas máximas (NAM).
- Nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME).



Figura 5.5 Puente Bailey, La Barra, TS - 200', Metapán.

- Guardaniveles en la cama de agua del cauce.

b) Entrevista directa en el lugar de inspección. Es importante saber preguntar a las personas que habitan la zona y los que viven muy cercanos al puente, para poder obtener los datos o información que se requiere. Por ejemplo:

- Tiempo de la estructura en el sitio, los años que tiene de estar funcionando, esto para comparar vida útil y periodo de diseño.
- Horas de mayor tráfico en la estructura.
- Tipos de vehículos que transitan con mayor carga.
- Accidentes de tránsito ocurridos en la estructura, número y tipos.
- Última fecha de mantenimiento a la estructura.
- Tipo de caudal que circula aguas arriba del punto de emplazamiento.
 - Sólidos en suspensión o consistencia observada al hacer prueba de caída del chorro de agua con un rocío.
 - Color del flujo (grado de contaminación).
 - Malos olores (fetidos).
- Máxima crecida del cauce, huella o altura máxima.
- Daños observados.
- Colonias vecinas y su ambiente.
- Condiciones peatonales.
- Factores y condiciones de seguridad de la estructura, ver figura 5.6.
- Tipos de vandalismos más frecuentes ahí en el puente o cercanos a el.



Figura 5.6 Puente Mabey Compact 200, Los Ángeles, DS - 110', Apopa.

- c) Toma directa de datos, utilizando equipo y herramientas manuales, tales como: GPS, manual, cinta métrica, marcador, hilo nylon, nivel de pita, nivel de caja, cartabón, brochuelo, espátula, lazo, machete, para sacar datos importantes del punto de emplazamiento, de la propia estructura, y de sus partes. Considerando los siguientes aspectos importantes:
- Condiciones de pintura de la estructura, verificando todas las piezas, ya que es muy importante para aumentar su vida útil.
 - Condiciones que tienen cada una de las piezas del puente (ver cuadro de formulario de inspección, tabla 5.9 Clasificación de daños).
 - Revisión de las articulaciones y puntos de arriostamientos. Es importante que la persona que realiza la inspección, siempre tenga a la mano herramientas y piezas de arriostamiento como: pernos de cordón, pernos de trinca No.1, pernos de arriostamiento y pasadores para bulón, para agilizar el mejor funcionamiento de la estructura y evitar que por un

reajuste de una pieza, se tenga que volver a realizar una visita especial a la estructura.

- Revisar las vibraciones y ruidos que se generan, tanto en la parte superior e inferior de la estructura; esto con la aplicación de cargas, y chequear con qué tipo de cargas se generan. Si estas son altas, medias o bajas, de acuerdo con el tipo de vehículo que pase cargado durante se mantenga haciendo la inspección.
- Revisar las deflexiones de la estructura, ver figura 5.7.



Figura 5.7 Puente Bailey, La Barra, TS - 200', Metapán.

- Condiciones en que se encuentra la madera del lecho, buena, regular, deteriorada, mal estado.
- Estado en que se encuentra de la superficie de rodadura del puente, bueno, regular, malo.
- Sellos de juntas, en la unión de la rampa de acceso (losa de aproximación) y la calzada del puente en ambos extremos.
 - Terraplén.

- Terraplen invertido.
- Viga.
- Otros.

d) Tomar fotografías generales y de detalles, y focalizarlas en puntos de interés para representar, de mejor forma, las diferentes condiciones que se tienen de la estructura y su entorno. Esto, es importante para la realización de informes de las condiciones en que se encuentran las estructuras. Los puntos generales que se pueden establecer en una inspección son, por ejemplo:

- Piezas, conectores o el elemento que se considere con detalles importantes para describir el estado actual del puente.
- Tipo de calzada y daños superficiales y laterales.
 - Puntos de entrada, salida y central.
 - Daños, desperfectos, eventos, fenómenos locales en la estructura.
- Geometría y posición actual.
- Tipos de daños.
- Tipo de drenajes.
- Desperfectos de la estructura.
- Viviendas cercanas.

5.2.2 Diagnóstico.

Obtener datos de referencia importantes, al hacer la visita de campo, para un diagnóstico, como puntos generales que den un perfil del estado o condiciones en que se encuentra la estructura y su entorno, y las condiciones que prevalezcan para la permanencia de la estructura, en el lugar, emplazada, funcionando.

5.2.2.1 Condiciones del punto de emplazamiento, a tomar en cuenta en un diagnóstico:

1. Señalización en la zona. Se espera que hayan dos tipos de señales, en ambos extremos del puente.
 - Señalización informativa, con la capacidad o carga máxima y velocidad máxima; podría ser informando “seda el paso”, ver figura 5.8.



Figura 5.8 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.

- Señalización visual, para prevenir y evitar accidentes; por ejemplo, que hayan colocados centinelas, en los extremos del puente, ver figura 5.9.



Figura 5.9 Puente Bailey, Eureka, TSR – 100', San Salvador.

2. Parámetros del cauce, dimensiones:

Se toman alturas, para establecer los criterios de máximas crecidas del río, huellas, estas dos son:

- a. Altura de nivel del agua a la calzada.
- b. Altura de nivel de la cama de agua a la calzada.

Para esto, es recomendable tomar dos medidas entre los dos laterales, entre caras y donde se considera el claro de la estructura para el estribo, ver figura 5.10.



Figura 5.10 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.

Es importante, tomar en cuenta datos visuales, generales, como la huella del arrastre del cause, como punto de referencia de alta crecida, ver figura 5.11.



Figura 5.11 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.

3. Condiciones permanentes del flujo en la fecha de inspección.
 - a. Velocidad.
 - b. Caudal.
4. Identificar el tipo de caudal en la fecha de inspección, de preferencia determinar su valor (m^3/s).
 - a. Caudal ecológico.
 - b. Caudal de aguas poluidas.
 - c. Altamente corrosivos.

5.2.2.2 Condiciones de la superestructura, a tomar en cuenta en un diagnóstico:

1. Tipo de modulación, según el tipo de puente y las cargas a las que este es sometida. Depende del tipo de carga que reciba, puede ser necesario un

reforzamiento o reajuste en la modulación del puente.

2. Tipo de calzada:
 - a. Madera.
 - b. Asfalto.
 - c. acero.
3. Condiciones de los elementos de arriostramiento.
4. Funcionamiento.
 - a. Paso vehicular (realizando conteos).
 - b. Paso peatonal.
5. La geometría que conforma toda la estructura, su condición actual: horizontal, vertical, y su deformación según vista general, ver figura 5.12.



Figura 5.12 Puente Bailey, La Barra, TS - 200', Metapán.

5.2.2.3 Condiciones de la subestructura, a tomar en cuenta en un diagnóstico:

1. Tipo de cimentación.
2. Estribos.
 - a. Cabezales y asiento.

- b. Cuerpo o muro.
 - c. Bases.
 - d. Aletones ambos lados, cada uno.
 - e. Juntas.
 - f. Acoples del sistema del estribo.
3. Pilas.
 4. Apoyos y bases de apoyo.
 5. Áreas de influencia.
 6. Problemas locales del punto de emplazamiento.

5.2.3 Evaluación.

Para evaluar, hay que diagnosticar, decir las condiciones que se tienen actualmente, tomando en cuenta lo siguiente:

- Condiciones de la estructura, después del montaje y durante el funcionamiento.
- Historia del funcionamiento de la estructura.
- Proyecciones, si se cumplieron o no, cómo se hicieron.

El proceso de evaluación estructural, considerará las condiciones de diseño, tanto del punto de emplazamiento como de la estructura:

1. Condición de la losa de aproximación, sirve de protección de la superficie de rodadura del puente y de los estribos.

2. Condiciones de la calzada, en la superficie de rodadura, a lo largo de esta, así mismo la estructura de la calzada en su espesor, tomando en cuenta si es de lámina lagrimada, asfalto, de concreto u otro y los soportes más bajos del lecho inferior.
3. Zonas de debilidad en cortante y flexión, que se encuentran en los extremos y en el punto medio de la estructura.
 - Establecer los puntos locales y sus mecanismos de funcionamiento.
 - Estimar las deflexiones con que se cuente.
4. Tipo de vehículo que genera la mayor vibración.
5. Clasificación del grado de daño en la pintura, según escala de atributos.
6. Análisis de las aguas, el estado de contaminación, si es leve, promedio o severo; dependiendo de esto, se considerará la utilización de anticorrosivos o antiabrasivos.
7. El tipo de emanaciones: fétidas, medianamente fétidas, altamente fétidas.

5.3 Mantenimiento de los puentes metálicos modulares.

Para controlar el estado o condición de un puente, es importante, disponer de información actualizada y de la historia de esta estructura, la descripción de la zona en que esté ubicado el punto de emplazamiento de ésta, formando parte indispensable para el buen control del puente. Se llevan a cabo las inspecciones necesarias para hacer una evaluación lo más objetiva posible de la estructura y su entorno. Estos datos son necesarios para establecer qué tipo de mantenimiento requiere el puente, preventivo o correctivo.

Es primordial, mencionar la importancia de la utilización de señales al realizar cualquier tipo de mantenimiento, como medida de seguridad, tanto para el que realiza el mantenimiento como para los transportistas, ver figura 5.13. De igual forma, la importancia de tener en el sitio del mantenimiento, el equipo y materiales para llevar a cabo esa actividad. Se presenta un listado de los equipos y materiales necesarios para realizar el mantenimiento de un puente metálico modular, tales como los siguientes:

Equipos.

- Cepillo de alambre.
- Raspadores.
- Unidad de chorro de agua.
- Brochas.
- Aspersores.
- Llaves para pernos.
- Destornilladores o desarmadores.
- Martillo de bola con mango de acero.
- Engrasadora.
- Bomba.
- Manguera.

Materiales.

- Pintura anticorrosiva e impermeabilizante.
- Pintura alucolor.
- Solventes.

- Lubricante.
- Pernos.
- Arandelas.
- Roscas.
- Lijas.
- Agua potable (si fuere necesario).

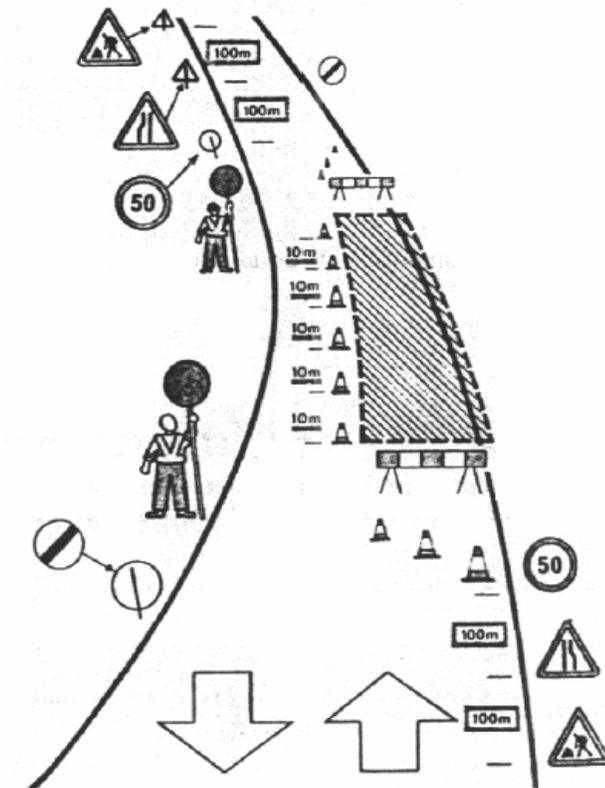


Figura 5.13 Disposición de señales temporales en la reparación de calzadas no pavimentadas.

5.3.1 Mantenimiento preventivo.

Es el que se hace para alargar o conservar la vida útil del puente. Son actividades que se realizan al menos cada seis meses, cuando los materiales de los elementos estructurales comienzan a presentar algún tipo de deterioro. Algunos criterios para realizar este tipo de mantenimiento en un puente, son los siguientes:

1. Pintura de los elementos del puente. Preguntar a un especialista químico o mecánico, el tipo de pintura a aplicar, el espesor requerido, dependiendo de las sustancias a las que esté sometido el acero, ya que estas son muy abrasivas, tales como sulfatos, nitratos, carbonatos, etc., ver figura 5.14.



Figura 5.14 Puente Bailey, Eureka, TSR – 100', San Salvador.

Algunos problemas que se pueden disminuir o evitar en el acero, con la aplicación de pintura anticorrosiva en los elementos del puente son:

- Corrosión general, es el ataque más o menos uniforme en toda la superficie expuesta, con variaciones mínimas en la profundidad del daño. Se pueden usar recubrimientos especiales para minimizar el ataque de la corrosión.

- Agrietamientos por corrosión y esfuerzos, es una falla corrosiva en la que se forman las grietas de un componente, bajo la acción combinada de esfuerzos mecánicos y un medio ambiente agresivo.
- Picaduras, que son una parte localizada de corrosión en la que el ataque está confinado en muchas cavidades pequeñas en la superficie del metal. Las cavidades que se forman pueden variar en cantidad, tamaño y forma.
- Las áreas afectadas por la corrosión deberán limpiarse hasta que queden libres de suciedad y óxido. Esta labor se llevará a cabo, cepillando los elementos con cepillos de cerdas de alambre, con arena o agua a presión, etc.

Una vez realizada la limpieza total de los miembros corroídos, se prosigue con la colocación de las capas de pintura (es primordial revisar las indicaciones de aplicación de los fabricantes de la pintura). La mayoría de las capas de revestimiento de puentes, se pueden aplicar con brocha, rodillo o aspersor, pero la gran mayoría de ellas son aplicadas por el método convencional de aspersor de aire atomizador.

2. Ajustar en los elementos de arriostramiento, por ejemplo, verificar la permanencia de los conectores con sus respectivos pasadores, ver figura 5.15.

Los elementos de arriostramiento están expuestos con mucha frecuencia a aflojamientos, deslizamientos y desgaste, generados por la vibración y rozamiento entre los elementos, lo cual causa distorsión y aumenta la vulnerabilidad de la estructura a la falla por fatiga.



Figura 5.15 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.

Examinar las conexiones con pernos para determinar si hay pernos flojos, y doblados o pandos, para lo cual, se inspeccionarán las roscas. De igual forma, los bulones, si presentan deslizamientos, se colocaran en su lugar por medio de golpes con almádana o martillo, verificando su posición y debido pasador colocado.

3. Buen estado de la superficie de rodadura, dependiendo del tipo de material superficial y la del que esté constituida, es necesario verificar el estado de la superficie de rodadura y su anverso, así como la cara reversa o de apoyo en los durmientes, o los emparrillados, ver figura 5.16.



Figura 5.16 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.

En las rodaduras de superficie de madera, se tiene mayor cuidado con la durabilidad de este material, ya que depende del mayor o menor contenido de resinas, aceites, etc. Se tienen dos tipos de agentes de degradación de la madera: los agentes abióticos y los agentes bióticos.

Los agentes abióticos son: la humedad, la luz del sol, los cambios bruscos de temperatura, el fuego y los agentes bióticos. Son los insectos xilófagos, los hongos xilófagos, los xilófagos marinos y las bacterias.

La humedad, provoca hinchazón y aumenta la probabilidad de ataques de insectos y hongos. También, puede provocar la aparición de grietas al volverse a secar.

El sol, provoca una degradación superficial que vuelve la madera grisácea y los cambios bruscos climáticos son los causantes principales de la aparición de grietas.

Los hongos, causan pérdida de resistencia mecánica, ablandamientos o desintegración de la madera. Al utilizar un punzón observe que saltan astillas con facilidad y que son pequeñas.

Para evitar la acción de los agentes de degradación de la madera, se utilizan protectores químicos que pueden dividirse en dos clases:

Protectores hidrosolubles. Son soluciones acuosas de materias insecticidas, fungicidas o retardantes del fuego. Se emplean generalmente para madera en contacto directo con el suelo y para protección contra el fuego.

Protectores orgánicos. Son los que más se emplean en madera de construcción, pues no son solubles en agua y su poder de penetración es mayor. Están formados por productos químicos con propiedades insecticidas, fungicidas y repelentes al agua,

disueltos en productos derivados del petróleo, por ejemplo, alquitrano, carbolíneo, etc.

En capa de rodadura de concreto asfáltico, se pueden presentar los diferentes tipos de problemas, tales como: piel de cocodrilo, ondulaciones, fisuras y depresiones o baches y hasta roturas.

- Piel de Cocodrilo, se caracteriza por una serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm. El fisuramiento empieza en la parte inferior de las capas asfálticas, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanzan su valor máximo, cuando el pavimento es solicitado por una carga. Las fisuras se propagan a la superficie, inicialmente, como una serie de fisuras longitudinales paralelas; luego por efecto de la repetición, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo. Ocurren necesariamente en áreas sometidas al mayor tránsito, como las huellas de canalización del tránsito.
- Fisuras en bloque, es una serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio, mayor que 30 cm, con una área variable de 0.10 m² a 9.0 m². La fisura en bloque, se presenta normalmente en una gran área del pavimento y algunas veces ocurren solamente en las áreas no afectadas por el tráfico. Son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de

temperatura, por ejemplo, 17° a 43°. La ausencia de tráfico tiende a acelerar la formación de éstas grietas de contracción.

- Bache, consiste en una desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares. Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de una parte de la superficie del pavimento, originando un bache.
- Hundimiento, consiste en una depresión o descenso de la superficie del pavimento en una área localizada de este. Los hundimientos, son causados por asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción o falta de continuo mantenimiento a los drenes. La heterogeneidad constructiva puede provocar, desde simples descensos de nivel, hasta insuficiencia de espesor o estabilidad de los materiales.

La reparación de estos problemas se logra, quitando la capa superficial hacia abajo hasta el piso y extendiendo lateralmente hacia el interior de la capa superficial sana. El corte se hace cuadrado o rectangular con caras rectas y verticales. Retirar toda el área dañada, hasta dejar limpio el piso y las paredes de la capa sana. Luego aplique

un riego de liga al piso y a las caras verticales. Resanar con un asfalto en caliente, mezclado en planta de grado denso y compactarse a la misma elevación de la superficie vecina. Para el caso de los hundimientos, mejorar la base con material selecto para evitar futuras deformaciones en estos sitios.

Los pasos a seguir para la realización del mantenimiento de la capa de rodadura de mezcla asfáltica, en un puente, son los siguientes:

- Identificar el perímetro del área dañada.
- Marcar el perímetro de corte.
- Cortar verticalmente la capa hasta alcanzar el piso.
- Extraer el material dañado mediante el uso de picos y palas u otra herramienta mecánica.
- Limpiar el piso y las paredes verticales hasta quedar libres de polvo u otro contaminante.
- Aplicar un riego de liga asfáltica al piso y a las paredes verticales.
- Colocar la mezcla asfáltica suplente.
- Compactar hasta la elevación de la superficie vecina.
- Retiro de señales, equipo y toda la basura.

El material y equipo a utilizar en este tipo de mantenimiento es:

- Marcadores.
- Cortadora.
- Picos, palas, barras, escobas, brochas, etc.

- Rodillo compactador.
 - Carretillas.
 - Mezcla asfáltica.
 - Emulsión asfáltica (liga asfáltica).
4. Garantizar el buen estado de las señalizaciones, para el buen uso del puente y evitar accidentes, ver figura 5.17.



Figura 5.17 Puente Bailey, Santa Marta, DS - 90', San Jacinto.

5. Limpieza general, del punto de emplazamiento y de la estructura, ver figura 5.18.



Figura 5.18 Puente Bailey, La Barra, TS - 200', Metapán.

6. La vigilancia, seguridad y cuidado de la estructura, respecto a la conservación del buen estado del puente, en general, por daños de la población, usuarios, peatones, tránsito vehicular, y demás factores antrópicos y los que provocan el ambiente.

5.3.2 Mantenimiento correctivo.

Este se hace cuando los daños de la estructura o en el punto de emplazamiento son mayores, por ejemplo, la sustitución de piezas o reparación, el reforzamiento o, en el mayor de los casos, cambio parcial o total de la estructura. Son actividades que se realizan en períodos no mayores que dos años, con el propósito de preservar la estructura en condiciones óptimas de funcionamiento. Algunos criterios para la realización de este tipo de mantenimiento, en un puente Bailey, son los siguientes:

1. Control de efectos o fenómenos locales en la estructura, para establecer la necesidad de reparar o sustituir la pieza; esos fenómenos pueden ser:
 - a. Por funcionamiento de la estructura.
 - Retorcimiento.
 - Alaveo.
 - Severidad, flambeo, deformaciones (giro o desplazamiento).
 - Roturas.
 - Fisuramientos.

- Grietas.
- Escamamientos, previo a la fisura.
- Chequear los elementos más susceptibles al pandeo o aplastamiento.

b. Por vandalismo.

- Golpes.
- Quebraduras.
- Aplastamiento.
- Filoneado o intento de corte, cuando se notan incisado con sierra, hacha, machete, u otro instrumento filoso, rasgaduras en agujeros de conectores.
- Sobamamiento de conectores.
- Falta de arandelas, tuercas, tornillos, pernos, pasadores.
- Doblamiento o rotura de conectores.
- Cortadura de piezas y conectores.
- Desbastado o desgaste propiciado.
- Picaduras o salpicaduras.
- Piezas arrancadas.
- Raspones.
- Abolladuras.

- Ahoyamientos.
2. Corrosión del acero expuesto.
 3. Degradación de la pintura.
 4. Pérdida de pernos o remaches, o accesorios de conectores.
 5. Astillamiento de las piezas.
 6. Sustitución de piezas debido a accidentes. Es importante establecer señales de daños. Considerar la necesidad de apuntalamientos eventuales, fortuitos.
 7. Estudio del tránsito, indicará, si la capacidad real de la estructura, para soportar las cargas de tráfico, durante su funcionamiento, es la requerida, o debido al aumento de carga, es necesario realizar reforzamientos.
 8. Garantizar el buen estado de todas las cimentaciones de la estructura, estribos, base de estribos, columna de estribos, cabezales, pilotes, aletones, muros.
 9. Bases de las cimentaciones: socavamiento, licuación, tubificación.
 10. Estado de los durmientes, debido a la contaminación, estos tienden a pudrirse o a ser objeto de ataque por vandalismo.
 11. Verificar las flechas o deflexiones mayores, revisando que la deflexión no sea mayor que 1.5 cm por cada 10 pies de longitud de la estructura en su máxima deflexión; de lo contrario, se establece la utilización de cordones de refuerzo para la rigidización de la estructura.
 12. Verificar las deflexiones máximas de la estructura.

13. Verificar el buen funcionamiento de los drenajes laterales. Si no los tiene, es de vital importancia la realización de estos, para garantizar que no se den problemas de erosión y socavación en las cimentaciones.

5.4 Formulario para la inspección de los puentes metálicos modulares.

Se presenta la forma y los criterios, para rellenar el formulario de inspección de los puentes metálicos modulares, con los datos generales necesarios, y los que sirven para establecer el tipo de mantenimiento que requiere la estructura, ver Anexo D.

5.4.1.1 Fecha, hora y día de la inspección.

1.2 Número de la inspección.

1.3 Nombre del puente.

1.4 Realizadores de la inspección, colocar el nombre completo de los técnicos o profesionales que la realizan.

1.5 Tipo de puente, colocar en la casilla el nombre del tipo de puente.

1. Puente Bailey.

2. Puente Acrow Panel.

3. Puente Mabey Compact.

1.6 Modulación, según los diferentes tipos de modulación presentados, colocar el nombre completo.

1. Simple Simple.

2. Simple Simple Reforzado.

3. Doble Simple.

4. Doble Simple Reforzado.
5. Triple Simple.
6. Triple Simple Reforzado.
7. Doble Doble.
8. Doble Doble Reforzado.
9. Triple Doble.
10. Triple Doble Reforzado.
11. Triple Triple.
12. Triple Triple Reforzado.

1.7 Ubicación del puente, colocar la carretera, municipio y departamento.

1.8 Posición del puente (con GPS o altímetro).

1. Coordenadas en latitud.
2. Coordenadas en longitud.
3. Elevación.

1.9 Longitud total del puente. Es la distancia comprendida entre el inicio y el final del puente, si el puente es de varios vanos, la longitud total es la suma de las longitudes de todos los vanos, se colocará en la casilla la longitud medida en metros y en la otra casilla el número de módulos que lo forman. En la figura 5.19, se ilustra el inicio y final de un puente.



Figura 5.19 Puente Bailey, El Pipil, DD - 80', San Pablo Tacachico.

- 1.10 Ancho de la calzada. Define la superficie sobre la cual circulan los vehículos, a lo largo del puente, está medida entre guardallantas, se colocará en la casilla el ancho medido en metros y en la otra casilla el tipo de ancho, según las tablas 2.1, 2.2 y 2.3, según el tipo de puente, Bailey, Mabey Compact o Acrow Panel, respectivamente. En la figura 5.20, se ilustra el ancho de calzada en metros, ancho de 3.80 m.

- 1.11 Total de vanos. Especificar de cuántos vanos está compuesto el puente y para cada tramo especificar la longitud (luz entre apoyos). En la figura 5.20, se ilustra un puente tipo Acrow – Doble Doble Reforzado de tres vanos. Se especificarán estos datos en la parte de observaciones, con su longitud en metros.



Figura 5.20 Puente Acrow Panel, Citalá, TDM - 430', Chalatenango.

- 1.12 Tipo de calzada o capa de rodadura (tablero), es el material superficial sobre el cual circulan los vehículos, los más comunes son: concreto, asfalto, madera, balastro o tableros metálicos.
- 1.13 Ángulo de esviajamiento. Es el ángulo formado entre una línea imaginaria, paralela al eje del río o viaducto y eje del puente, por lo general, es un ángulo recto, si no lo es, determine el ángulo de la siguiente manera: colocándose en la estación inicial del puente observe si el puente está inclinado hacia la derecha, o izquierda guiado por el eje de la calle, esto significa, que el ángulo de esviaje es menor que 90° grados, estime el ángulo (80° ó 70° , etc.). Si el puente está inclinado hacia la izquierda, significa que el ángulo de esviaje es mayor que 90° grados, estime el ángulo (100° ó 110° , etc.). Se especificarán estos datos en la parte de observaciones, anótese el ángulo.

5.4.2 Punto de Emplazamiento.

2.1 Estructuras cercanas.

- Calles de acceso.
- Terraplenes.
- Taludes.
- Señalización.
- Túmulos.

2.2 Drenajes.

- Canaletas.
- Bajadas.
- Disipadores de energía.

2.3 Estructuras existentes.

- Cables de electricidad.
- Red de tubería de agua potable.
- Red de tubería de aguas negras.

2.4 Condiciones.

- Caudal.
- Contaminación del flujo.
- Tránsito vehicular.

- Tránsito peatonal.
- Seguridad de la zona.

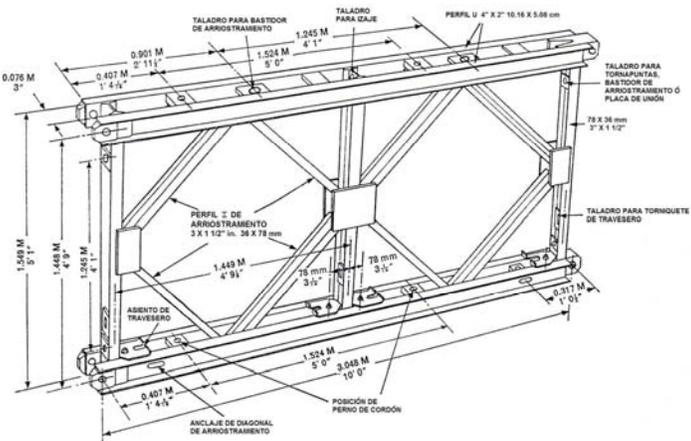
5.4.3 Superestructura.

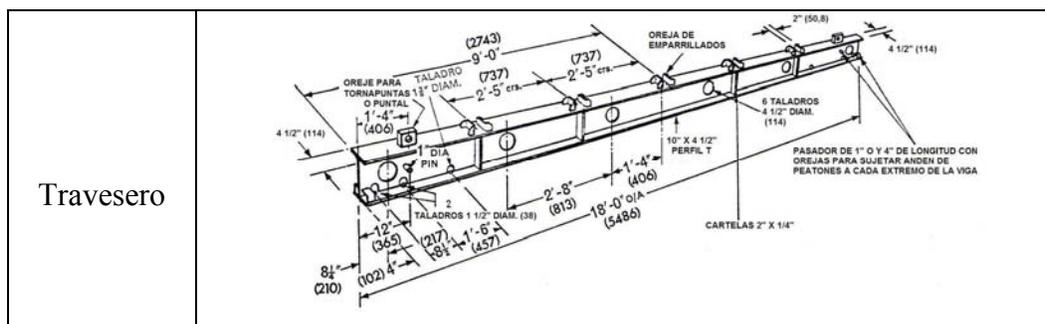
Parte del puente que sirve para salvar el claro y sobre el cual fluye el tránsito, está formada por elementos principales y secundarios.

3.1 Elementos Principales.

Es el elemento de transferencia de carga entre la super estructura y la infraestructura que está apoyado en sus dos extremos y soporta el peso propio del resto de la superestructura (carga muerta) y el tránsito (carga viva), los elementos principales son los que se ilustran en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Elementos modulares principales de los puentes Bailey.

Elemento	Figura
Panel	 <p>The technical drawing illustrates a Bailey bridge panel with various dimensions and components labeled. Key dimensions include: 0.076 M (3"), 0.407 M (1' 4 1/4"), 0.901 M (2' 11 1/4"), 1.045 M (3' 4 1/4"), 1.524 M (5' 0"), 1.449 M (4' 9 1/4"), 1.524 M (5' 0"), 3.048 M (10' 0"), 0.317 M (1' 0 1/4"), 1.219 M (4' 0"), 1.448 M (4' 9"), 1.219 M (4' 0"), 0.407 M (1' 4 1/4"), and 0.317 M (1' 0 1/4"). Components labeled include: TALADRO PARA BASTIDOR DE ARROSTRAMIENTO, TALADRO PARA CAJE, PERFIL U 4" X 2" 10.16 X 5.08 cm, TALADRO PARA TORNAPUNTA, BASTIDOR DE ARROSTRAMIENTO O PLACA DE UNIÓN, TALADRO PARA TORNQUETE DE TRAVESERO, ANCLAJE DE DIAGONAL DE ARROSTRAMIENTO, POSICIÓN DE PERNO DE CORDÓN, and ASIENTO DE TRAVESERO. Material specifications include PERFIL I DE ARROSTRAMIENTO 3 X 1 1/2" IN. 36 X 78 mm and 78 X 38 mm 3" X 1 1/2".</p>



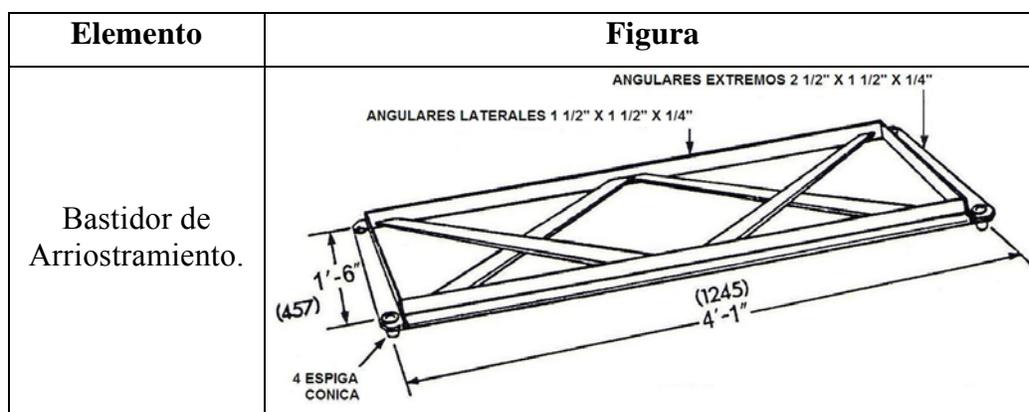
3.2 Elementos Secundarios.

Son elementos complementarios de la superestructura, siendo necesarios para la estabilidad de la estructura y posibilitan el tránsito seguro por el puente.

3.2.1 Elementos de Unión o Arriostramiento.

Permiten mantener a los elementos estructurales en su posición correcta, se usan generalmente en las estructuras metálicas, ver tabla 5.2.

Tabla 5.2 Elementos modulares secundarios de los puentes Bailey.



<p>Tornapuntas o Puntal.</p>	
<p>Bulón.</p>	
<p>Pasador.</p>	
<p>Torniquete de Travesero.</p>	
<p>Perno de Cordón.</p>	

<p>Perno de Trinca No.1</p>	
<p>Perno de Arriostamiento.</p>	
<p>Placa de unión.</p>	
<p>Diagonal de Arriostamiento.</p>	

3.2.2 Elementos de calzada.

Es parte del tablero exclusivamente destinada al tránsito. Losa o tablero, es el elemento sobre el cual se transita, ver tabla 5.3.

Tabla 5.3 Elementos modulares de calzada de los puentes Bailey.

Elemento	Figura
Rampa de Acceso.	
Rampa Plana.	
Rampa de botones.	
Pedestal de Rampa 1 y 2	

3.2.3 Calzada vehicular.

Son los elementos internos, sobre los cuales se coloca la estructura que funciona como capa de rodadura, ver tabla 5.4.

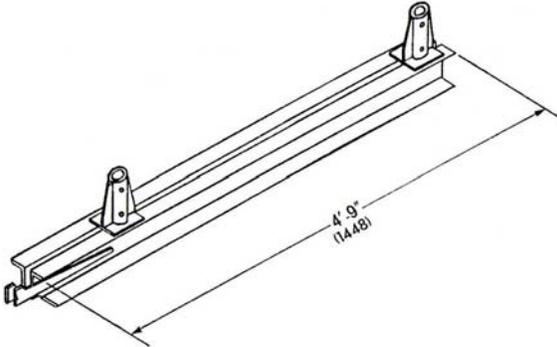
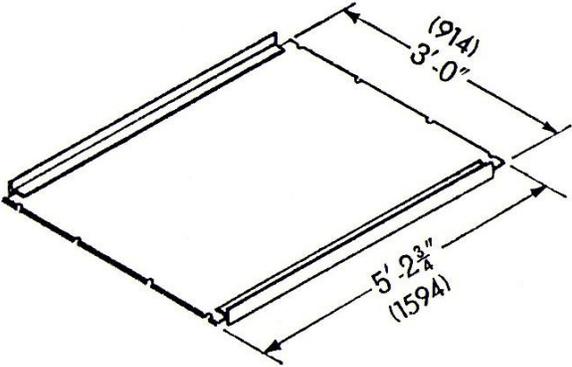
Tabla 5.4 Elementos modulares internos de calzada de los puentes Bailey.

Elemento	Figura
Trinca guardalado.	
Tablón estándar.	
Emparrillados planos.	
Emparrillados de botones.	

3.2.4 Calzada peatonal.

- Ancho de ménsula de andén.
Ancho de acera izquierda y acera derecha. Anote el ancho de las dos aceras, medidas desde el borde más lejano hasta la unión de la calzada, en metros.
- Altura ménsula de andén.
Altura de ménsula de andén, de baranda izquierda y baranda derecha, medida en metros, desde la parte inferior de la baranda vehicular, hasta la parte más sobresaliente de la misma, ver tabla 5.5

Tabla 5.5 Elementos modulares de calzada peatonal de los puentes Bailey.

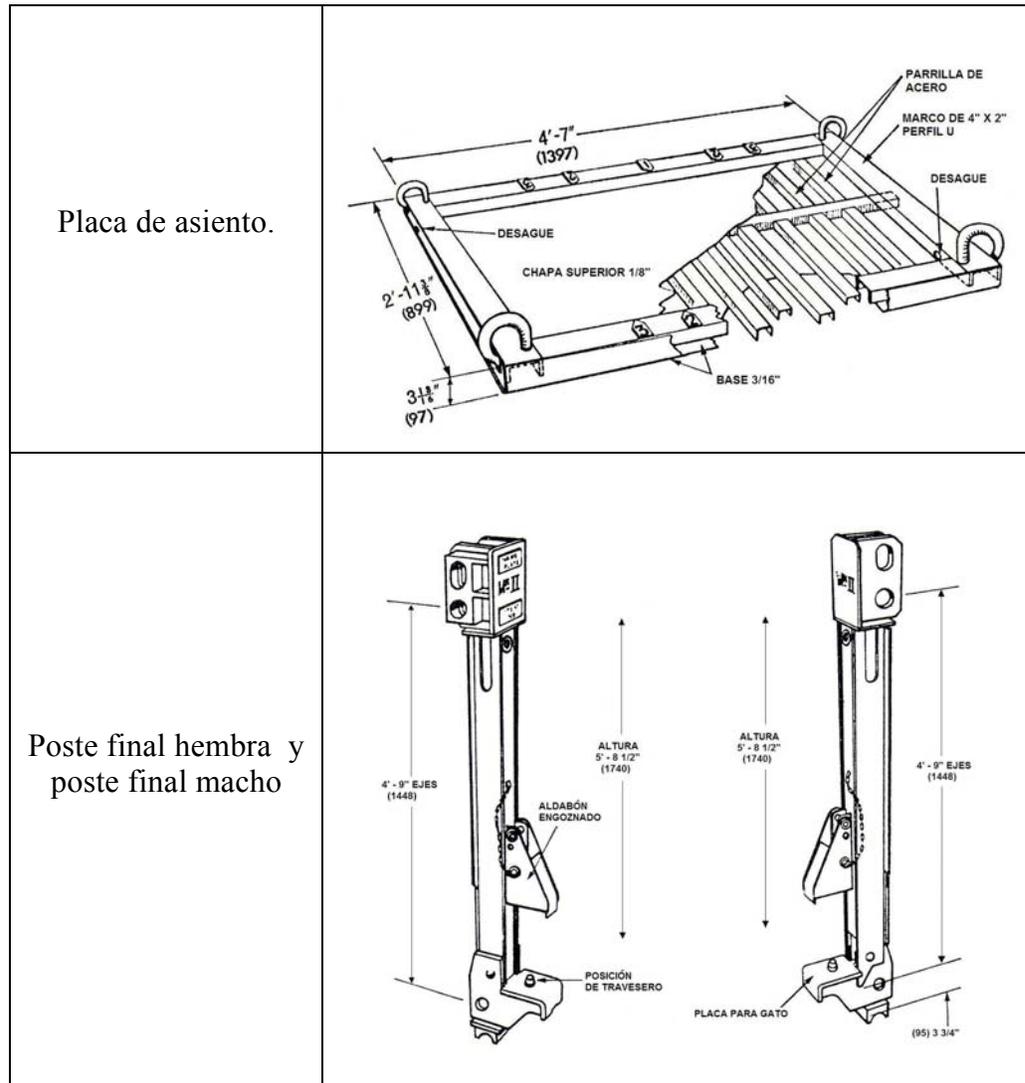
Elemento	Figura
Ménsula de andén para peatones.	
Plancha cuadriculada de acero.	

<p>Módulo de madera.</p>	
<p>Pasamanos para vías de peatones.</p>	

3.2.5 Elementos de apoyo, son los elementos que absorben las cargas vehiculares, impuestas a la estructura, y las transmiten a las cimentaciones del puente, ver tabla 5.6.

Tabla 5.6 Elementos modulares de apoyo de los puentes Bailey.

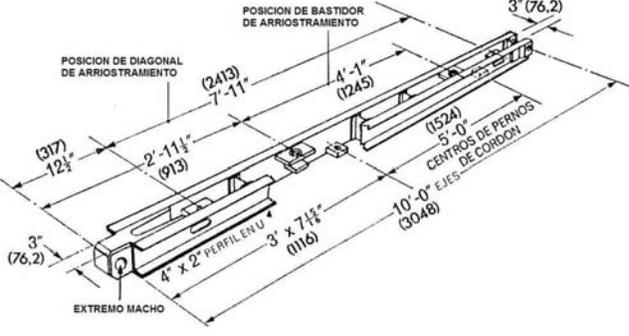
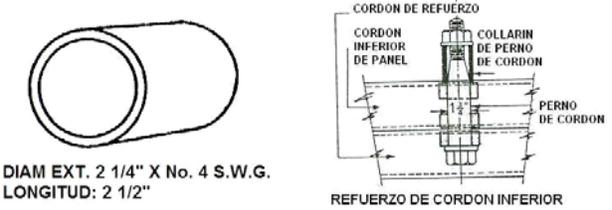
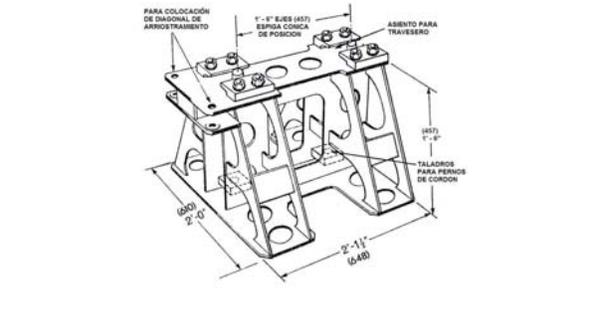
Elemento	Figura
<p>Apoyo de cojinete.</p>	



3.2.6 Elementos de refuerzo.

Son elementos que sirven para rigidizar la estructura, y le dan mayor resistencia por capacidad de carga del puente, ver tabla 5.7.

Tabla 5.7 Elementos modulares de refuerzo de los puentes Bailey.

Elemento	Figura
Cordón de Refuerzo.	 <p>Technical drawing of a reinforcement cord. Labels include: POSICION DE BASTIDOR DE ARRIOSTRAMIENTO, POSICION DE DIAGONAL DE ARRIOSTRAMIENTO, 3" (76.2), 4'-1" (1245), 3' x 7 1/4" (116), 10'-0" EJES DE CORDON (3048), 5'-0" CENTROS DE PERNOS DE CORDON, 4' x 2" PERFIL EN U, 3" x 7 1/4" (116), 2'-11 1/2" (913), 7'-11" (2413), 12 1/2" (317), and EXTREMO MACHO.</p>
Collarín de Perno de Cordón.	 <p>Technical drawing showing a collar and a cord nut assembly. Labels include: CORDON DE REFUERZO, CORDON INFERIOR DE PANEL, COLLARIN DE PERNO DE CORDON, PERNO DE CORDON, and REFUERZO DE CORDON INFERIOR. Dimensions: DIAM EXT. 2 1/4" X No. 4 S.W.G. LONGITUD: 2 1/2".</p>
Soporte para el Arriostamiento Superior.	 <p>Technical drawing of a support for the upper bracing. Labels include: PARA COLOCACION DE DIAGONAL DE ARRIOSTRAMIENTO, 1'-8" EJES (487) ESPES CORMA DE POSICION, ASIENTO PARA TRAVESERO, 1'-8" (487), TALADROS PARA PERNOS DE CORDON, 2'-11" (648), and 2'-0" (600).</p>

5.4.4 Subestructura.

Son los apoyos del puente, pueden ser de varios tipos y estar ubicados tanto en los extremos del puente como en tramos intermedios (conocido como vanos o claros). A los apoyos de los extremos se les denominará estribos y a los centrales como pilas. Ver tabla 5.8.

4.1 Cimentaciones.

Son las estructuras que reciben las cargas de la super estructura y la trasladan al suelo, ver tabla 5.8.

Tabla 5.8 Elementos de cimentaciones para los Puentes Modulares.

Elemento	Descripción
Estribos	Es la parte superior del apoyo que se encarga de transmitir las cargas al suelo.
Base del estribo	Es la parte inferior del apoyo y se encarga de transmitir las cargas al suelo o a los pilotes.
Columnas de estribo	Estructura que transmite las cargas a la base del apoyo, se las usa en los apoyos abiertos.
Pantalla del estribo	Estructura que transmite las cargas a la base.
Pilotes	Sirven para llegar a los estratos apropiados para cimentación cuando estos se hallan a grandes profundidades y los materiales que lo constituyen generalmente son acero o concreto armado.
Muros de ala	Se los construye a ambos costados de los estribos y su función es la contener el relleno del terraplén.
Viga de cabezal	Estructura que transmite las cargas a las columnas o pantallas de estribos.

4.2 Rampa de accesos.

Se encuentran inmediatamente antes y después del puente, esta puede ser: metálica, asfalto, concreto, balasto o madera.

4.3 Calzada.

Es la que se encarga de recibir directamente las cargas de los vehículos que transitan sobre la estructura, ubicada en la parte central de la súper estructura. Puede ser metálica, asfalto, concreto o madera.

5.4.5 Deflexiones.

Por medio de medición directa en la superestructura se obtienen las deflexiones de la estructura. Levantamiento de las medidas por módulos, y estableciendo la deflexión máxima en metros, colocándolo en la casilla estipulada en el formulario de inspección, colocando en la parte inferior la máxima deflexión presentada, presentando según el caso, en la parte de observaciones y recomendaciones, los criterios del técnico o profesional encargado de la inspección, para estimar qué tipo de mantenimiento se requiere, tomando en cuenta el criterio de la relación de deflexión permisible de 1.5 centímetros por módulo.

5.4.6 Clasificación de daños.

Los daños en los puentes metálicos modulares, se inspeccionan en tres partes, el punto de emplazamiento, la super estructura y la subestructura. La calificación de los daños, determina la condición en que se encuentran cada una de las partes y elementos, que constituyen la estructura. En la inspección, es muy importante el

criterio de los técnicos o profesionales que la realizan, respecto al riesgo que puede presentar la estructura para los usuarios.

Para reportar los daños en cada una de las partes de la estructura y su entorno, se consideran los siguientes atributos calificativos, ver tabla 5.9. Los cuales se consideraran para complementar el formulario de inspección, que servirá para determinar qué tipo de mantenimiento necesita el puente, preventivo o correctivo.

Forma de llenado del formato de inspección, en la parte de clasificación de daños. Se trasladará el número, que corresponde a la parte o elemento de estructura, al cuadro de grado de daños, según el atributo calificativo. Correspondiendo 5 casillas para cada atributo; si se presentan más de 5 elementos por atributo, se considerará en el espacio de observaciones.

Se sumarán en forma unitaria, por el grado de daño, obteniendo un sub total de daños. Esto se realizará en las tres partes, para posteriormente, sumar los sub totales por grado de daño, obteniendo el total de daños por su grado. Luego se sumarán los tres grados, obteniendo el total final de daños. Con este dato, según el rango de daños, establecemos el tipo de mantenimiento requerido.

En la parte del esquema de ubicación, se hace un esquema de las carreteras y lugares cercanos al lugar en que se encuentra ubicado el puente, para facilitar su control de ubicación.

Los espacios para detalles, se utilizaran para plantear esquemas o detallar de daños a considerar, de mayor importancia, por cada una de las tres partes del puente.

Tabla 5.9 Clasificación de daños.

Clasificación de Daños			
PUNTO DE EMPLAZAMIENTO			
Rodadura	Bueno	$7 < 10$	Carreteras de acceso con superficie de rodadora estable.
	Regular	$5 < 7$	Carreteras de acceso con superficies tratadas, sin mayores problemas de tránsito.
	Malo	< 5	Carreteras de acceso con superficies no tratadas, que generan problemas de tránsito.
Erosión	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Presenta, pero puede ser tratada de forma fácil en el lugar.
	Malo	< 5	Presenta grandes daños, es necesario realizar obras civiles.
Deslizamiento	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Presenta, pero puede ser tratada de forma fácil en el lugar.
	Malo	< 5	Presenta grandes daños, es necesario realizar obras civiles.
Hundimiento	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Presenta, pero puede ser tratada o reparada en el lugar.
	Malo	< 5	Presenta grandes hundimientos, es necesario realizar obras civiles.
Limpieza	Bueno	$7 < 10$	Si presenta.
	Regular	$5 < 7$	No presenta, pero puede ser omitida.
	Malo	< 5	No presenta, pero es de suma urgencia realizar un chapeado del área.

Existente	Bueno	7 < 10	Se encuentra en buen estado físico.
	Regular	5 < 7	Su estado no afecta la funcionabilidad de la estructura.
	Malo	< 5	Se encuentra en mal estado físico, pueden causar daños a la estructura.
Faltante	Bueno	7 < 10	No presenta.
	Regular	5 < 7	Falta la parte, pero no es funcional.
	Malo	< 5	Falta la parte, pero es vital para la funcionabilidad de la estructura.
SUPER ESTRUCTURA			
Clase de daño	Estado	Calificación	Descripción
Pintura	Bueno	7 < 10	No requiere pintura.
	Regular	5 < 7	Óxido, corrosión moderada, requiere partes de pintura, necesita un retoque.
	Malo	< 5	Corrosión excesiva, restauración completa de pintura.
Fisura	Bueno	7 < 10	No presenta o presenta pequeñas fisuras superficiales.
	Regular	5 < 7	Pequeñas fisuras internas, requieren sellado.
	Malo	< 5	Fisuras grandes, requieren tratamiento de sellado.
Agrietamiento	Bueno	7 < 10	No presenta o presenta pequeños agrietamientos superficiales.
	Regular	5 < 7	Pequeños agrietamientos internos, requieren sellado.
	Malo	< 5	Fisuras grandes, requieren el cambio de la pieza.

Desgaste	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Desgaste moderado, requiere reacomodo.
	Malo	< 5	Desgaste excesivo, requieren el cambio de la pieza.
Retorcedura	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Moderada, sin riesgos funcionales.
	Malo	< 5	Retorcedura grande, requiere reparación o sustitución.
Aplastamiento	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Aplastamiento moderada, requiere tratamiento.
	Malo	< 5	Aplastamiento grande, requiere extraer la pieza y enderezarla.
Zafadura	Bueno	$7 < 10$	Zafadura del elemento, pero no es fácil de reacomodar.
	Regular	$5 < 7$	Moderada, depende de la funcionabilidad del elemento.
	Malo	< 5	Zafadura del elemento, pero es difícil de reacomodar.
Limpieza	Bueno	$7 < 10$	Si presenta.
	Regular	$5 < 7$	No presenta, pero puede ser omitida.
	Malo	< 5	No presenta, pero es de suma urgencia realizar un chapeado del área.
Faltante	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Falta del elemento, pero no es imprescindible.
	Malo	< 5	Falta del elemento, pero es imprescindible.

SUB ESTRUCTURA			
Clase de daño	Estado	Calificación	Descripción
Fisura	Bueno	7 < 10	Fisuras pequeñas, que por el lugar localizada, no generan problemas para la estructura.
	Regular	5 < 7	Fisuras mas visibles, que por el lugar localizada, no generan problemas para la estructura.
	Malo	< 5	Fisuras visibles, que por el lugar localizada, generan problemas para la estructura.
Agrietamiento	Bueno	7 < 10	Agrietamientos pequeñas, que por el lugar localizada, no generan problemas para la estructura.
	Regular	5 < 7	Agrietamientos mas visibles, que por el lugar localizada, no generan problemas para la estructura.
	Malo	< 5	Agrietamientos visibles, que por el lugar localizada, generan problemas para la estructura.
Asentamiento	Bueno	7 < 10	No presenta.
	Regular	5 < 7	Presenta en estructuras cercanas al punto de emplazamiento.
	Malo	< 5	Presenta en las cimentaciones de la estructura.
Socavación	Bueno	7 < 10	No presenta.
	Regular	5 < 7	Presenta en estructuras cercanas al punto de emplazamiento.
	Malo	< 5	Presenta en las cimentaciones.

Erosión	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Presenta, pero puede ser tratada de forma fácil en el lugar.
	Malo	< 5	Presenta grandes daños, es necesario realizar obras civiles.
Desgaste	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Presenta desgastes, necesitando realizar resanes de la parte afectada.
	Malo	< 5	Presenta desgastes, necesitando realizar obras en todo lo afectado.
Corrosión	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Presenta oxido, requiere pintura en algunas partes.
	Malo	< 5	Corrosión excesiva, requiere raspar, retirar pintura, base, pintura completa.
Deformación	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Deformación moderada, requiere de métodos empíricos llegue a su estado normal.
	Malo	< 5	Deformación grande, requiere de métodos especiales de obra civil.
Bache	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Presenta baches, se pueden resanar por partes afectadas.
	Malo	< 5	Presenta grandes baches, requiere del recarpeteo de la rodadura.

Piel de Cocodrilo	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Presenta piel de cocodrilo, se pueden resanar las partes afectadas.
	Malo	< 5	Presenta un área del 30% del problema en la rodadura, requiere del recarpeteo de la rodadura.
Astillamiento	Bueno	$7 < 10$	No presenta.
	Regular	$5 < 7$	Presenta, pero no afecta la parte involucrada.
	Malo	< 5	Presenta, pero afecta la parte involucrada, necesitando restitución.
Podrido	Bueno	$7 < 10$	No presenta partes podridas.
	Regular	$5 < 7$	Presenta partes podridas que no afecta la parte involucrada.
	Malo	< 5	Presenta partes podridas, que afectan la parte involucrada, necesitando restitución.
Limpieza	Bueno	$7 < 10$	Si presenta.
	Regular	$5 < 7$	No presenta, pero puede ser omitida.
	Malo	< 5	No presenta, pero es de suma urgencia realizar un chapeado del área.
Existente	Bueno	$7 < 10$	Si presenta.
	Regular	$5 < 7$	No presenta, pero no es funcional.
	Malo	< 5	No presenta, pero es vital para el funcionamiento de la estructura.
Faltante	Bueno	$7 < 10$	Si presenta.
	Regular	$5 < 7$	Falta de la parte, pero no es imprescindible.
	Malo	< 5	Falta de la parte, pero es imprescindible.

CAPÍTULO VI
ANÁLISIS DE RESULTADOS,
CONSIDERACIONES,
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONSIDERACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Análisis de resultados.

La investigación realizada sobre la aplicación de puentes metálicos modulares en El Salvador, ha permitido el análisis de criterios del diseño, la utilización práctica como proyecto de obra de paso y la funcionalidad para las exigencias de vehiculares en El Salvador.

El criterio de diseño, se forma en crear vigas rígidas, mediante la utilización de módulos de acero aligerados arriostrados, estandarizados, intercambiables, reforzables, reutilizables, ensamblado con bulones y pernos para un montaje manual, estas vigas permiten la sustentación de una calzada vehicular acorde a las necesidades de dimensión y carga vehicular como obra de paso provisional o permanente.

En la práctica de puentes Bailey, las vigas son de alma llena, con paneles rígidos, arriostrados en forma de diamante, en ellos los cordones superiores e inferiores son los patines y las diagonales el alma. Los paneles están conectados con bastidores de arriostamiento, reforzados lado a lado a través de tensores. La resistencia de la viga es directamente proporcional al número de paneles, y el reforzamiento con el cordón del panel hace incrementar el área efectiva de cada patín de la viga.

Los paneles se conectan extremo a extremo con bulones, cuyo efecto de esfuerzo local⁴² no es tomado en cuenta.

Los fabricantes de piezas para puentes Bailey, Mabey compact y Acrow Panel, con el peso propio de la estructura, han establecido la fuerzas cortantes máximas, de diseño, ver figura 6.1, indica, que la capacidad de absorber fuerzas cortantes depende de la modulación que contengan las vigas y el número de paneles que la integran. Así, en un puente Bailey, respecto a un Mabey Compact, con la misma modulación de vigas, las fuerzas cortantes son diferentes. La capacidad al cortante disminuye al incrementar la luz del tramo, entonces, se toma el criterio de selección del puente que soporta una fuerza cortante, mayor que el peso del vehículo de diseño HS20-44 ó T3-S3, 32 toneladas y 41 toneladas respectivamente, y el factor de reducción mínimo de 0.4 para fuerzas de trabajo, por seguridad estructural. La figura 6.1, compara esta fuerza cortante producida, contra la proporcionada por los fabricantes de puentes metálicos modular al imponerle la carga HS20-44 (AASHTO 32 toneladas) ó T3-S3 (SIECA, 41 toneladas), para diseño de la fuerza cortantes especificada por el fabricante, puede llevarse por ejemplo hasta 60% de ella, pero nunca al 100%.

Ejemplo explicativo: un puente Doble Doble Bailey de 100 piés, tiene una capacidad cortante de 79 toneladas y está limitado al paso de vehículos menores que 30 toneladas.

Se tiene entonces, un factor de seguridad al 50%, según el criterio del diseñador.

⁴² Como sistema general, en un análisis generalizado, en la simplificación o idealización a partir del modelo, estos esfuerzos se pueden considerar hasta cierto punto, despreciables. Sin embargo, localmente se requiere de análisis de efectos locales tomando en cuenta transmisión puntual según la zona que se trate, efecto de fricción, composición y desgaste de material y su interacciones entre sí o parcial, etc., tomando en cuenta la mayoría de micro variables y según el caso de interés habrá que hacerlo para completo estudio.

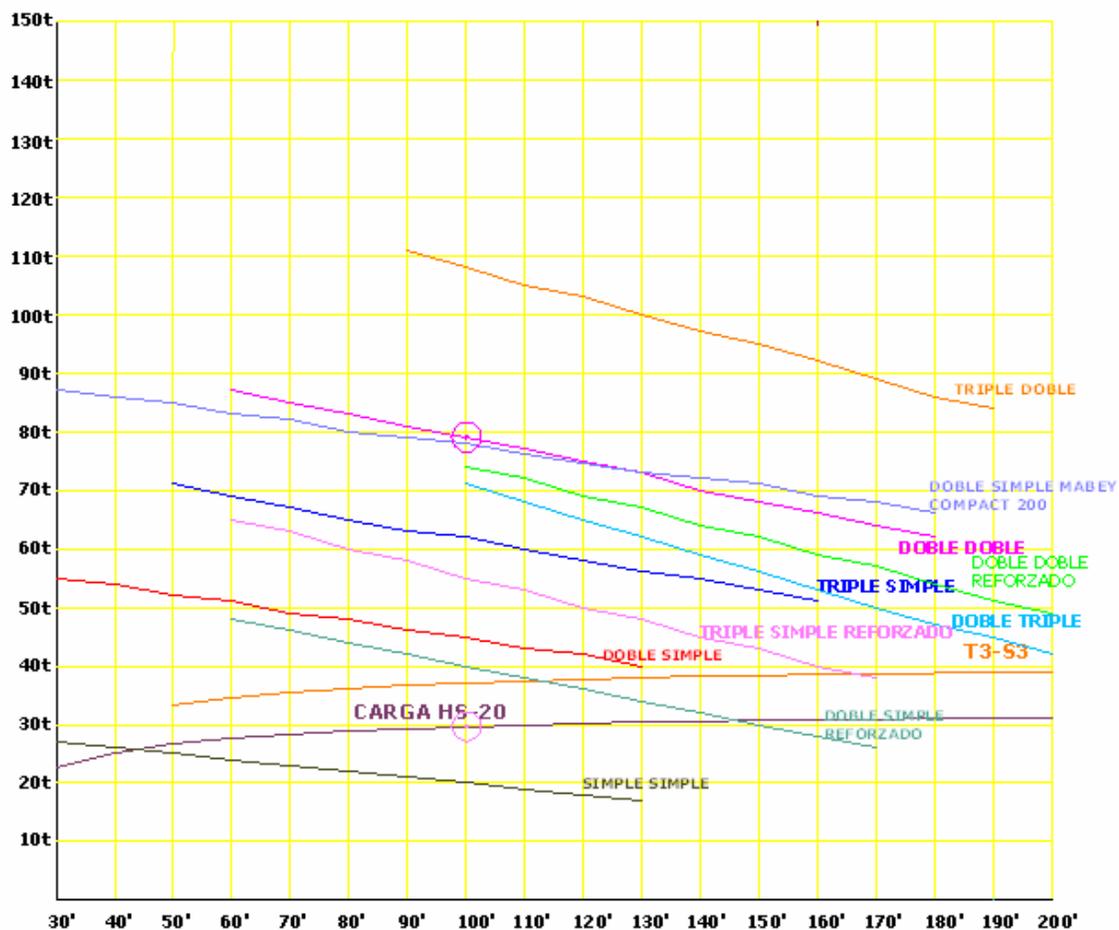


Figura 6.1 Capacidad a la fuerza cortante en los puentes metálicos modulares utilizados en El Salvador.

Similarmente, el momento flexionante depende de la modulación de paneles que constituyan las vigas de los fabricantes y la longitud del puente, ver figura 6.2, esta capacidad al momento flexionante disminuye por el aumento de la luz del puente. La figura 6.2 compara el momento flexionante producido por los vehículos de peso máximo utilizados en el país, HS-20 con un peso de 32 toneladas y T3-S3 adoptado por la SIECA con un peso de 41 toneladas contra los momentos flexionante máximos proporcionados

por los fabricantes en las modulaciones de vigas, por tanto, se tiene una comparación de concordancia respecto a los puentes utilizados en el país, de acuerdo con su longitud y un margen de comparación para la planificación de una modulación con salvaguardo de su capacidad flexionante, sometido a carga.

El momento flexionante de una modulación y longitud dada, aumenta con el cordón reforzado que incrementa el área de acero del patín, por tanto, el momento de inercia. Sin embargo, este incrementa la carga muerta, debido al cordón de refuerzo que reduce la capacidad cortante de la misma estructura, ver figura 6.1.

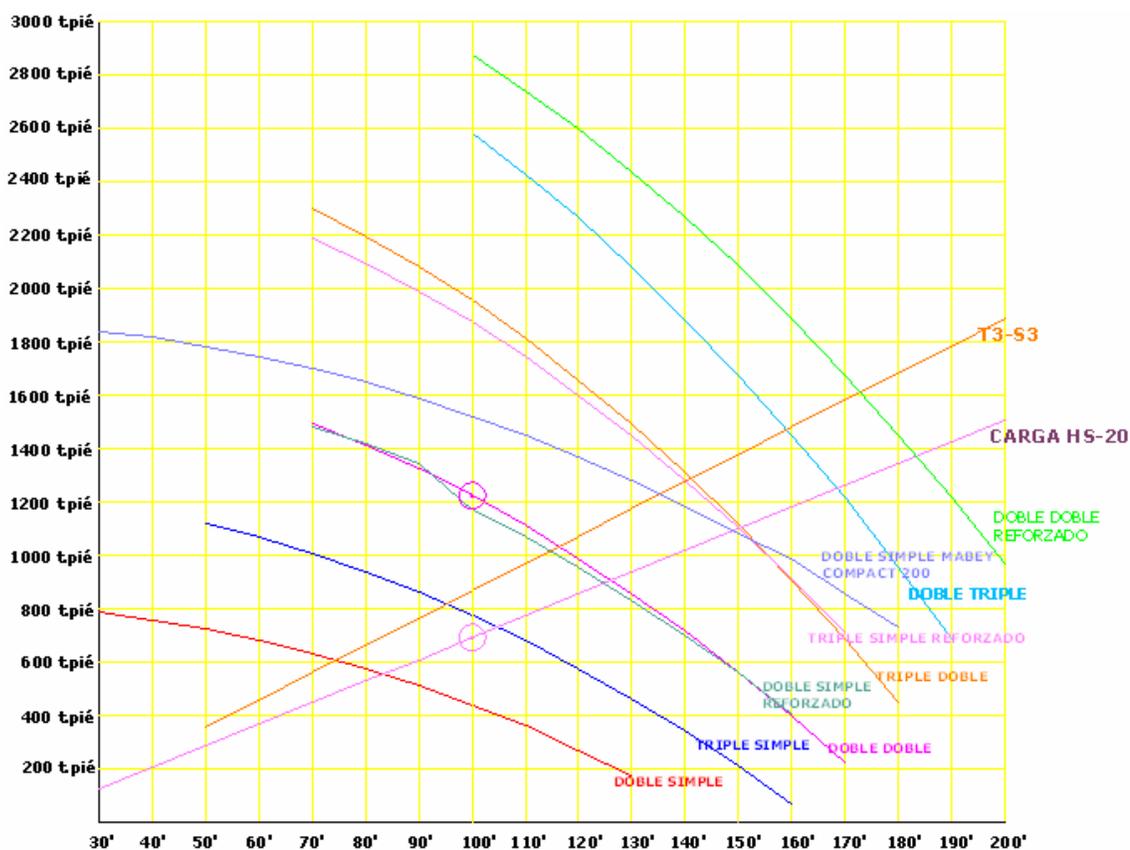


Figura 6.2 Capacidad de momento flexionante de puentes metálicos modulares utilizados en El Salvador.

Ejemplo explicativo: un puente Doble Doble Bailey de 100 piés, tiene una capacidad al momento flexionante de 1,223 ton.pié, un vehículo HS20-44 de 30 toneladas le produce un momento a la flexión de 700 ton.pié., se tiene entonces, un factor de seguridad de 42.8% de fuerzas cortantes reservadas para las cargas imprevistas.

En las modulaciones de los puentes metálicos modulares, para los vehículos de diseño comunes en el país, combinan la capacidad a la fuerza cortante y momento flexionante, de manera que satisfagan las exigencias de servicio, garantizando la seguridad de la estructura. En el país, la práctica del diseño de los puentes metálicos modulares, existentes, se basa en el criterio de carga, o peso del vehículo de 20 toneladas y 30 toneladas, ver tabla 6.1, según el tipo de puente requerido y longitud, tomando en cuenta el tiempo de vida útil de la estructura, deterioro por la cantidad de usos, reparaciones por daños, y seguridad.

Tabla 6.1 Peso vehicular máximo (toneladas) sobre los puentes metálicos modulares utilizados en El Salvador.

Pies	Bailey										
	D. S. M. C ^m .	D. S. B.	T. S. B.	D. S. R. B.	D. D. B.	T. S. R. B.	T. D. B.	D. T. B.	D. D. R. B.	T. T. B.	T. D. R. B.
10	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	30	-	30	-	30	-	-	-	-	-
40	-	30	-	30	-	30	-	-	-	-	-
50	-	30	30	30	-	30	-	-	-	-	-
60	-	20	30	-	-	30	-	-	-	-	-
70	-	20	30	-	-	30	-	-	-	-	-
80	-	20	30	-	30	30	-	-	-	-	-
90	30	20	-	-	30	30	30	30	30	-	-
100	30	-	-	-	30	-	30	30	30	30	30
110	30	-	-	-	30	-	30	30	30	30	30
120	30	-	-	-	-	-	30	30	-	30	30
130	30	-	-	-	-	-	-	30	-	30	30
140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

^m Puente Mabey Compact 200.

El análisis del lanzamiento de los puentes metálicos modulares, se basa en el aseguramiento de la posición del centro de gravedad detrás de los rodillos de lanzamiento, garantizando el estado de voladizo del morro de lanzamiento y el puente. La figura 6.3 ilustra las distancias y pesos a considerar para el cálculo de las condiciones de lanzamiento y la tabla 6.2 resume un estudio de la longitud, modulación y flecha de morro de lanzamiento, que se forman, para el montaje de diferentes puentes metálicos modulares.

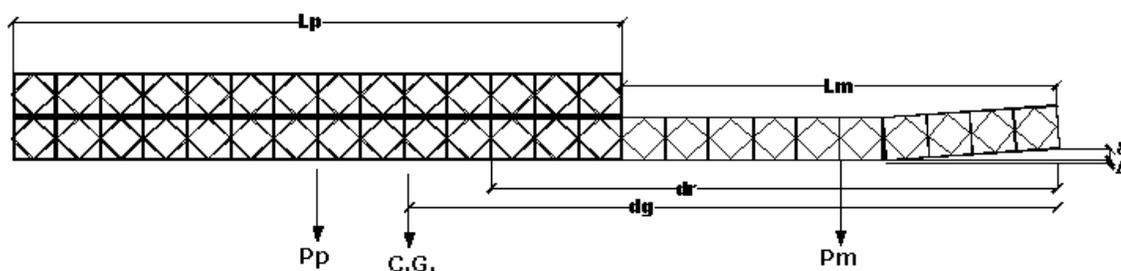


Figura 6.3 Esquema del puente y el morro de lanzamiento.

L_p : longitud del puente.

P_p : peso del puente.

L_m : longitud del morro de lanzamiento.

P_m : peso del morro de lanzamiento.

Δ : flecha producida.

δ : contraflecha producida.

Tabla 6.2 Modulación, longitud y flecha del morro de lanzamiento para puentes metálicos modulares Bailey, ver figura 6.3.

Modulación y longitud del puente (pies)	Peso del puente (toneladas)	Modulación y longitud del morro de lanzamiento (pies)	Peso del morro de lanzamiento (toneladas)	Distancia entre centro de gravedad y voladizo (pies)	Flecha producida y contraflecha (pulgadas)
Lp	Pp	Lm	Pm	dg - dr	$\Delta - \delta$
D.S. 50'	8.25	S.S. 50'	4.20	58'-43'	6''-13.5''
D.S. 60'	9.90	S.S. 50'	4.20	63.6'-53'	8.5''-13.5''
D.S. 70'	11.55	S.S. 60'	5.04	75.2'-63'	12''-13.5''
D.S. 80'	13.20	D.S.10'-S.S.60'	6.47	86.2'-73'	16''- 27''
D.S. 90'	14.85	D.S.20'-S.S.60'	7.97	97.0'-83'	20''- 27''
D.S. 100'	16.50	D.S.20'-S.S.60'	7.97	102.3'-93'	25''- 27''
T.S. 50'	11.10	S.S.40'	3.36	54.5'-43'	6''- 13.5''
T.S. 60'	13.32	S.S.50'	4.20	66.8'-53'	8.5''- 13.5''
T.S. 70'	15.54	S.S.50'	4.20	72.3'-63'	12''-13.5''
T.S. 80'	17.76	S.S.60'	5.04	88.5'-73'	16''- 27''
T.S. 90'	19.98	D.S.10'-S.S.60'	6.47	96.1'-83'	20''- 27''
T.S.100'	22.20	D.S.20'-S.S.60'	7.90	107.56'-93'	25''- 27''
D.D. 60'	16.92	S.S. 50'	4.20	69.29'-53'	6.5''- 13.5''
D.D. 70'*	19.74	S.S. 50'	4.20	74.47'-63'	8.5''- 13.5''
D.D. 80'	22.56	S.S. 60'	5.04	87.0'-73'	11''-13.5''
D.D. 90'	25.38	S.S. 60'	5.04	92.57'-83'	14''- 27''
D.D. 100'	28.20	D.S.10'-S.S.60'	6.47	104.6'-93'	17''- 27''
D.D. 110'	31.02	D.S.20'-S.S.60'	7.90	116.63'-103'	21''-27''
D.D. 120'	33.84	D.S.30'-S.S.60'	9.33	128.54'-113'	25''- 27''
D.D. 130'	36.66	D.S.30'-S.S.60'	9.33	133.83'-123'	30''- 40''
D.D. 140'	39.48	D.D.10'- D.S.30'-S.S.60'	11.93	144'-133'	36''- 40''
T.D. 100'	39.60	D.S.10'-S.S.60'	6.47	108.5'-93'	17''- 27''
T.D. 110'	43.56	D.S.10'-S.S.60'	6.47	113.7'-103'	21''- 27''
T.D. 120'	47.52	D.S.20'-S.S.60'	7.90	126.4'-113'	25''- 27''

T.D. 130'	51.48	D.S.30'-S.S.60'	9.33	139.0'-123'	30''- 40''
T.D. 140'	55.44	D.S.30'-S.S.60'	9.33	144.3'-133'	36''- 40''

* Ejemplo explicativo, de la utilización de la Tabla 6.2. Se necesita conocer la longitud, modulación y flecha del morro de lanzamiento de un puente Doble Doble de 70 piés dos traveseros por módulo, ancho estándar, plataforma de madera. Los siguientes resultados se encuentran en la Tabla 6.2.

Peso del puente. De la Tabla 3.3 al peso del puente se resta el peso de los emparrillados metálicos y tablonés de madera. Longitud y modulación del puente D.D.70 piés (Lp).

Peso del puente: $7 \times (3.77 - (0.53 + 0.42)) = 19.74$ toneladas (Pp).

Peso del morro de lanzamiento. Se estima la longitud del morro de lanzamiento dividiendo la cantidad de módulos del puente terminado entre dos y aumentar uno o dos paneles para equilibrar los pesos.

Peso del morro: $\frac{7}{2} + 1 = 5$ módulos S.S. = $5 \times 0.84t = 4.2$ toneladas (Pm).

Peso total sobre el rodillo de lanzamiento: $19.74 + 4.2 = 23.94$ toneladas.

Punto de balanceo desde el extremo del morro. Las cargas del extremo en voladizo del morro de lanzamiento, deben ser compensadas por el peso del puente, situando el centro de gravedad atrás del rodillo de lanzamiento.

$$X = \frac{(4.2t \times 25') + (19.74t \times 85')}{23.94t} = 74.47 \text{ piés (dg).}$$

Distancia entre los rodillos de lanzamiento y aterrizaje: $70 - 7' = 63$ piés (dr).

Longitud y modulación del puente S.S. 50 piés (Lm).

La flecha producida por el morro de lanzamiento de la Tabla 4.2 es de $8 \frac{1}{2}$ pulgadas (Δ). Insertar un par de eslabones de morro detrás del primer módulo del morro de lanzamiento para producir un alzamiento de $13 \frac{1}{2}$ pulgadas (δ).

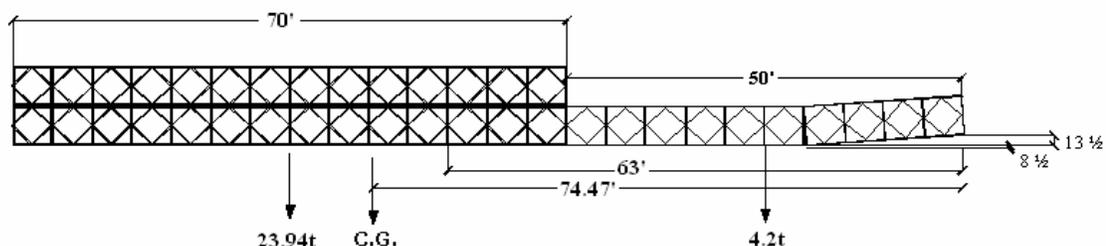


Figura 6.4 Análisis de aplicación de Tabla 6.2 en el cálculo de la modulación, longitud y flechas del morro de lanzamiento.

6.2 Consideraciones.

En los puentes metálicos modulares, se denota lo siguiente:

1. En el país se han construido puentes Bailey, Mabey Compact 200, y Acrow panel, provisionales y permanentes. Estructuras rígidas en tramos muy cortos, con el fin de habilitarlos durante emergencia, por ejemplo, caminos interrumpidos, habilitar el paso, etc. Su uso es de suma utilidad, cuando a corto tiempo se establece o restablece un paso para peatones o vehículos.
2. El criterio de selección, se basa en experiencias de aplicación, capacidad para portar cargas, deflexión, calzada y mantenimiento. La selección, es también, en base al tipo de puente modular a montar, Bailey, Mabey Compact 200 o Acrow Panel. El sistema Bailey resiste menos al intemperismo que el Mabey Compact, que tiene gran

resistencia a la intemperie, por sus mayores propiedades galvanizadas; Acrow Panel, es un nuevo sistema para uso temporal.

3. Durante la historia de los puentes metálicos modulares, han sido enfocados para la aplicación de forma provisional, con el inicio de los puentes metálicos modulares tipo Bailey. Con su modificación y actualización, al mejorar las desventajas del Bailey, se logra un tipo de puente de aplicación temporal, que se puede utilizar en cualquiera de los casos, en que es necesaria la comunicación vial, por medio del uso de un puente metálico modular Mabey Compact 200.
4. Estos se crearon para resistir cargas de vehículos militares, basados en paneles modulares, constituyendo vigas de acero de alta resistencia, en el sistema estructural, está basado en el principio de la viga de alma llena, para cualquier fabricante, esto facilita adoptar el más conveniente, al caso a resolver, técnicamente, en costos, necesidades de la población, con sus propósitos a futuro. También, las fuerzas cortantes y momentos flexionantes máximos producidos por la carga del vehículo de diseño, se calculan a partir del criterio, cargas de servicio, o imposición de cargas máximas extraordinarias, puntuales, por cada eje, sobre una viga con momento de inercia constante. Estos esfuerzos, al compararlos con los esfuerzos tabulados por los fabricantes, si son menores, se aprueba la modulación de vigas del tipo de puente que satisface las necesidades de carga factorizadas, que garantizan su funcionamiento en el lugar de emplazamiento. Los puentes Bailey soportan menos carga que los puentes Mabey Compact 200 y Acrow Panel, respecto a esfuerzos por cortante y momento flexionantes, se tendrá en cuenta, que cualquier vía del país, se

puede considerar expuesta al tránsito de peso extraordinario, y sobrepasar el soporte de carga de está. El vehículo puede pesar hasta 40 toneladas, por lo que, el tránsito se proyectará a futuro, para evitar rediseños a corto plazo, por aumento de cargas recibidas en las estructuras y el incremento del tránsito, por la eventualidad de utilización de esta vía, como ruta en casos de desastre, reparaciones de otra vía. Las piezas, paneles, bastidores, traveseros, cordones, tensores, tornapuntas, se fijan con bulones, pines y pernos, haciéndolos vulnerables a la sustracción o pérdidas de alguna de ellas, debido a las vibraciones, impacto por las cargas que pasan y el vandalismo.

5. En el país se construyen con superficie de rodadura metálica, asfalto, madera o concreto, según las disposiciones de carga a las que será sometida la superestructura.
6. Los estribos para puentes metálicos modulares, retienen el talud y portan la estructura de apoyo simple o la superestructura, su emplazamiento garantiza la protección de los apoyos.
7. En El Salvador, las señalizaciones son restrictivas en las cargas máximas de imposición a la estructura, según el Ministerio de Obras Públicas, es 20 toneladas.
8. Las inspecciones de los puentes metálicos modulares, es necesario que se realicen periódicamente, cada 6 meses o un año, para conocer las condiciones físicas que tiene la estructura y su entorno, y las condiciones que prevalecen para la permanencia de la estructura, en el lugar emplazado, funcionando en ese momento, con ello se prosigue con el mantenimiento preventivo, haciéndolo cada 6 meses el que se hace para alargar o conservar su vida útil, ya sea Bailey, Mabey Compact 200

o Acrow Panel. El mantenimiento correctivo se hace cuando los daños de la estructura o del punto de emplazamiento son mayores, como, la sustitución de piezas o reparación, reforzamiento, o en el mayor de los casos, cambio parcial o total de estructura. Son actividades que se realizan en períodos no mayores que dos años. El monitoreo de estos, está a cargo del Ministerio de Obras Públicas o en conjunto con Alcaldías y comunidades beneficiadas.

6.3 Conclusiones.

1. En cualquiera de los casos a resolver con puentes metálicos modulares, en la práctica, los Mabey Compact 200 son los que mejores ventajas presentan, sin que se sobrepase la carga máxima, 30 toneladas en límite de peso para vehículo HS20-44, AASHTO y T3-S3 de 41 ton de la SIECA; sin sobrepasar este peso, ni la longitud de 140 piés del vano. Cualquier otro vehículo de mayor peso, debe buscar una vía alterna, para la seguridad de la estructura., vehículo y personas usuarias.
2. Los puentes metálicos modulares, se han instalado en el país, generalmente por causas críticas, urgencias o emergencias, para desarrollar o modernizar áreas o zonas, desastres naturales o provocados, beneficiando a poblados áreas de producción, etc., seleccionadas convenientemente entre Bailey, Mabey Compact 200, Acrow Panel, según tipo y cargas de proyecto, justificadamente. En cualquier caso, son prácticos, la solución más rápida al paso vehicular y peatonal, funcionales para vías de emergencia, su estructura es fija y rígida, fácil de instalar con paneles modulares y conectores sencillos en el ensamble y montaje, capaces de absorber

carga de hasta 41 toneladas vehículo T3-S3, SIECA 2000. Todas estas ventajas tecnológicas dan al sistema de administración de puentes, SAP, las opciones alternativas de aplicación, en planificación e inversión vial o puentista. Además su inspección periódica, evaluación oportuna y mantenimiento o reemplazo a tiempo, de piezas dañadas, zafadas o faltantes, prevé la falla de la estructura, evita accidentes, evitan pérdidas de vidas humanas, animales y materiales. El reapriete y buen estado de las piezas modulares y accesorios, controlan la deformación y evitan fatiga, colapso de la estructura o cualquier fenómeno local que pueda manifestarse por el funcionamiento o influencia en el medio donde está emplazado.

6.4 Recomendaciones.

1. A los fabricantes de sistemas de puentes metálicos modulares, actualizar los procesos de selección, montaje y construcción, de acuerdo con el avance tecnológico, para facilitar la selección de estos y hacer más eficiente los tiempos de montaje, aumentar la capacidad para absorber cargas en la estructura y disminuir el mantenimiento.
2. A los diseñadores, la utilización de modulaciones de doble altura en longitudes mayores que 80 piés para reducir la flecha y vibración con el paso de los vehículos, la utilización de calzada de acero para los puentes existentes y futuros, actualizarse con la nueva tecnología de los puentes metálicos modulares, teoría, montaje, construcción, diseño de estribos.

3. Al Ministerio de Obras Públicas, Alcaldías e instituciones, la promoción en la utilización de los puentes metálicos modulares, como respuesta rápida y viable en proyectos de obra de paso emergentes o planificados. Al Ministerio de Obras Públicas, elaborar normativas institucionalizadas de inspección, evaluación y procedimientos de ejecución para la conservación de puentes metálicos modulares.
4. Al Ingeniero encargado del montaje y lanzamiento, que asuma efectivamente su labor, aplicando el plan de seguridad ocupacional, dotando y obligando el uso de guantes, cascos, fajas, botas con cubos de acero, arnés, etc. 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, ajustándose, sólo a la decisión del jefe responsable. Es importante, que durante el montaje se acaten todas las medidas de seguridad, e instrucciones técnicas para responder en el momento de cualquier imprevisto en su lanzamiento. El montaje debe garantizar, que al final del lanzamiento, todos los arriostramientos queden fijamente asegurados, debido a que todos sus ensambles son de fácil manipulación y se puede dar lugar a vandalismo, por lo que se tiene que tener un control y chequeo constante de las estructuras.
5. A supervisores, para la entrega final del puente, antes de ponerlo en servicio, la prueba de carga, requerirá, definirla desde la formulación del proyecto, para poder exigir la utilización del equipo apropiado respecto a la aprobación de la estructura como buena obra. En su totalidad, verificar ajustes y reaprietes para su correcto

funcionamiento. El reapriete del arriostramiento inferior es fundamental, para evitar el ladeo y eventual fallo de la estructura con el paso del tránsito.

6. A la escuela de ingeniería civil de la UES, realizar estudios actualizados, de costos de los puentes metálicos modulares, formando costos índices de cada una de las piezas componentes y de toda la estructura, para proyectos sociales e institucionales, proyectando una estructura como beneficio social. Realizar un estudio más exhaustivo de la evaluación de criterios de inspección de un puente metálico modular, ver formulario anexo, para avanzar con una mejor propuesta de este formato, por medio de capacitaciones, para unificar criterios, en la orientación de un criterio base, para determinar los riesgos que pueden presentar la estructura y sus usuarios. Así mismo, proponer una estructura de puente metálico modular propio, donde las piezas puedan ser fabricadas en el país.
7. A la comunidad que utiliza o solicita un puente metálico modular, que protejan contra daños, sobreesfuerzos por el paso de vehículos de peso mayor que lo estipulado. A las Alcaldías, la colocación de estos puentes para desarrollo local, en el beneficio social.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Arenas de Pablo, Juan J. 1981. Concepción de puentes. Editores técnicos asociados. Edición Española, Enrolles París. Capítulo II. Diversos tipos de puentes.
2. AASHTO. 1994. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, p 21.
3. Bailey, Donald Coleman. Manual Bailey Y Uniflote 1970, Thos Storey (Engineers). Inglaterra.
4. Bertran, George E. 1962. Ensayos de suelos fundamentales para la construcción. Madrid.
5. Braja Das. Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta edición. Editorial Thomson.
6. Crespo Villalaz, Carlos. 1993. Mecánica de suelos y cimentaciones Editorial Limusa, cuarta edición. México.
7. Gutiérrez Ríos, Ramón. 2004. Plan de seguridad y Salud. Cuarta Edición. Madrid. <http://www.tecnocom.biz/docs/CMAPRL5>.
8. [Hhttp://www.nireland.com/brigeman/chronology](http://www.nireland.com/brigeman/chronology).
9. Leclair Raúl. 2004. Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. Manual centroamericano. SIECA. Guatemala.
10. Mabey & Johnson Ltd. Manual para puentes compact 200. Inglaterra.
11. Mendoza Maldonado, Wilson Francisco y otros. 2003 Manual del mantenimiento rutinario y preventivo de puentes en El Salvador. Trabajo de Graduación. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. UES. S.S.

12. Merrit, Frederick. 1989. Manual del Ingeniero Civil. Tercera edición. Tomo III. Mc Graw Hill.
13. Ministerio de Obras públicas de El Salvador. 1998. Levantamiento del inventario nacional de carreteras.
14. Ministerio de Obras Públicas. 1994. Norma técnica para el diseño de cimentaciones y estabilidad de taludes. Reglamento para la Seguridad Estructural de las construcciones. El Salvador.
15. Ministerio de Obras Públicas. 1986. Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de El Salvador, (R.E.D.S.E.S). El Salvador.
16. Normas Británicas British Estándar (BSS). BSS.968, BSS.15, B.S. 153, B.S. 978.
17. Parada, Carlos Eduardo y otros. 2001. Diseño de puente entre Guarneća y Potrero Sula sobre le río Lempa, Texistepeue, Santa Ana. Trabajo de Graduación. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. UES. S.S.
18. Pérez Guerra, Gustavo. 1982. Sobre fundaciones para edificios. Sociedad Venezolana de mecánica de suelos e ingeniería. Venezuela.
19. SIECA. 2000. Manual Centroamericano de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 2. Criterios de diseño de carreteras. Guatemala.
20. Sowers y Sowers. 1983. Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones. Primera edición. Editorial Limusa. México.
21. STAA. 1982. Surface Transportation Assistance Act.

22. Togño. 1969. Ferrocarriles. Capítulo IV. Representación y servicios de Ingeniería. México
23. Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL). 2002. Especificaciones especiales para actividades de mantenimiento contratados a base de precios unitarios. Guatemala.
24. Zavala A, José Efraín. 1976. Determinación del Coeficiente de rugosidad “n” de Manning para ríos de El Salvador. Seminario de Graduación. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. UES. S.S.

ANEXO A

TABLAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE

Tabla A.1 Fuerzas cortantes admisibles para carga viva, en toneladas.

Bailey ancho estándar – plataforma de madera.

Pies	S. S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	27	55	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	26	54	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	25	52	24	71	-	-	-	-	-	-	-	-
60	24	51	22	69	48	87	65	-	-	-	-	-
70	23	49	21	67	46	85	63	-	-	-	-	-
80	22	48	20	65	44	83	60	-	-	-	-	-
90	21	46	19	63	42	81	58	111	-	-	-	-
100	20	45	18	62	40	79	55	108	71	74	97	102
110	19	43	17	60	38	77	53	105	68	72	93	98
120	18	42	15	58	36	75	50	103	65	69	90	95
130	17	41	14	56	34	73	48	100	62	67	86	92
140	-	-	-	55	32	70	45	97	59	64	82	88
150	-	-	-	53	30	68	43	95	56	62	78	85
160	-	-	-	51	28	66	40	92	53	59	75	82
170	-	-	-	-	26	64	38	89	50	57	71	78
180	-	-	-	-	-	62	36	86	47	54	67	75
190	-	-	-	-	-	-	-	84	45	51	63	71
200	-	-	-	-	-	-	-	-	42	49	60	68

Tabla A.2. Momentos flectores admisibles para carga viva, en toneladas por pié.

Bailey ancho estándar – plataforma de madera.

Pies	S. S.	D. S.	S. S. R	T. S.	D. S. R	D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	407	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	387	785	802	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	370	759	781	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	347	725	754	1116	-	-	-	-	-	-	-	-
60	319	683	720	1067	1484	-	-	-	-	-	-	-
70	286	633	680	1008	1420	1493	2188	2299	-	-	-	-
80	249	576	634	940	1347	1414	2096	2198	-	-	-	-
90	206	511	582	863	1264	1323	1991	2083	-	-	-	-
100	158	439	524	777	1170	1223	1875	1956	2583	2881	4025	4443
110	105	359	460	681	1068	1112	1745	1815	2430	2747	3827	4268
120	47	271	390	577	956	990	1604	1660	2263	2601	3610	4076
130	-	176	313	464	833	858	1450	1492	2081	2442	3375	3868
140	-	-	-	342	701	716	1284	1311	1885	2270	3122	3642
150	-	-	-	210	560	562	1106	1116	1674	2086	2849	3400
160	-	-	-	70	408	398	915	907	1448	1888	2557	3142
170	-	-	-	-	-	224	712	686	1218	1678	2257	2867
180	-	-	-	-	-	40	496	450	954	1455	1918	2575
190	-	-	-	-	-	-	-	202	685	1220	1567	2266
200	-	-	-	-	-	-	-	-	402	972	1203	1941

Tabla A.3 Fuerzas cortantes admisibles para carga viva, en toneladas.

Bailey ancho estándar – plataforma de acero con asfalto.

Pies	S. S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	25	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	24	52	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	22	49	21	69	-	-	65	-	-	-	-	-
60	21	48	19	66	45	-	62	-	-	-	-	-
70	19	45	17	64	42	81	60	11	-	-	-	-
80	18	44	16	61	40	79	57	109	-	-	-	-
90	16	41	14	59	37	76	54	106	-	-	-	-
100	15	40	13	57	35	74	51	103	66	69	92	97
110	-	37	11	55	33	71	48	99	62	66	87	92
120	-	36	9	52	30	69	45	97	59	63	84	89
130	-	-	7	50	27	66	42	93	55	60	79	85
140	-	-	-	48	25	63	40	90	52	57	75	81
150	-	-	-	46	22	60	37	87	48	54	70	77
160	-	-	-	43	20	58	34	84	45	51	67	74
170	-	-	-	41	-	-	31	80	41	48	62	69
180	-	-	-	38	-	-	28	77	38	45	58	66
190	-	-	-	-	-	-	-	-	35	41	53	51
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	50	58

Tabla A.4. Momentos flectores admisibles para carga viva, en toneladas por pié.

Bailey ancho estándar – plataforma de acero con asfalto.

pies	S.S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	406	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	395	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	376	774	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	350	739	761	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	316	694	723	1085	-	-	-	-	-	-	-	-
60	274	638	675	1022	1439	-	2223	-	-	-	-	-
70	225	572	619	947	1359	1432	2127	2238	-	-	-	-
80	169	496	554	860	1267	1334	2016	2118	-	-	-	-
90	106	411	482	763	1164	1223	1891	1983	-	-	-	-
100	33	314	400	652	1045	1098	1750	1831	2458	2756	3900	4318
110	-	208	309	530	917	961	1594	1664	2279	2576	3676	4117
120	-	91	210	397	776	810	1424	148	2083	2421	3430	3896
130	-	-	101	253	622	647	1239	1281	1870	2231	3164	3677
140	-	-	-	93	459	471	1039	1056	1640	2025	3130	3397
150	-	-	-	-	279	281	825	835	1393	1805	2568	3119
160	-	-	-	-	88	78	595	587	1128	1568	2237	2822
170	-	-	-	-	-	-	351	325	857	1317	1896	2506
180	-	-	-	-	-	-	91	45	549	1050	1513	2170
190	-	-	-	-	-	-	-	-	235	770	1117	1796
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	472	703	1441

Tabla A.5 Fuerzas cortantes admisibles para carga viva, en toneladas.

Bailey ancho estándar ensanchado – plataforma de madera.

Pies	S. S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	25	54	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	24	52	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	22	50	21	69	-	-	-	-	-	-	-	-
60	21	48	20	67	45	84	63	-	-	-	-	-
70	20	46	19	65	43	82	60	-	-	-	-	-
80	18	44	17	62	40	80	57	-	-	-	-	-
90	17	42	16	60	38	77	54	107	-	-	-	-
100	16	40	14	58	36	75	51	104	70	69	97	98
110	-	39	13	56	34	73	49	101	67	68	93	94
120	-	36	11	54	32	70	46	99	64	65	89	91
130	-	35	9	51	30	68	43	95	61	62	85	87
140	-	-	-	49	27	65	40	92	58	59	81	83
150	-	-	-	47	25	63	37	90	55	57	77	80
160	-	-	-	-	23	61	34	88	52	54	74	76
170	-	-	-	-	20	59	32	84	49	51	70	72
180	-	-	-	-	-	-	-	80	46	48	66	68
190	-	-	-	-	-	-	-	-	43	45	62	65
200	-	-	-	-	-	-	-	-	40	43	58	62

Tabla A.6. Momentos flectores admisibles para carga viva, en toneladas por pié

Bailey ancho estándar ensanchado – plataforma de madera.

píes	S.S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	406	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	397	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	380	778	794	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	358	745	768	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	330	707	735	1090	-	-	-	-	-	-	-	-
60	288	650	696	1032	1452	-	-	-	-	-	-	-
70	245	594	642	967	1375	1450	2146	2240	-	-	-	-
80	200	520	588	888	1290	1360	2040	2145	-	-	-	-
90	140	444	515	802	1192	1227	1927	2010	-	-	-	-
100	70	348	447	695	1094	1138	1794	1868	2500	2803	3967	4362
110	-	265	373	587	965	1014	1648	1714	2330	2640	3718	4168
120	-	110	280	465	833	875	1435	1538	2141	2487	3490	3959
130	-	76	200	340	707	723	1316	1357	1936	2291	3404	3732
140	-	-	-	185	567	555	1133	1086	1708	2136	2942	3488
150	-	-	-	93	394	387	880	879	1487	1908	2637	3230
160	-	-	-	-	218	180	700	688	1231	1687	2349	2938
170	-	-	-	-	52	18	482	460	845	1452	1994	2641
180	-	-	-	-	-	-	-	197	547	1148	1642	2324
190	-	-	-	-	-	-	-	-	380	944	1260	1985
200	-	-	-	-	-	-	-	-	95	670	865	1627

Tabla A.7 Fuerzas cortantes admisibles para carga viva, en toneladas.

Bailey ancho estándar ensanchado – plataforma de acero con asfalto.

Pies	S. S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	25	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	24	52	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	22	49	21	67	-	-	-	-	-	-	-	-
60	21	48	19	65	45	-	61	-	-	-	-	-
70	19	45	17	63	42	81	58	112	-	-	-	-
80	18	44	16	59	40	78	54	109	-	-	-	-
90	16	41	14	57	37	76	51	106	-	-	-	-
100	15	40	13	55	35	73	48	103	65	69	90	95
110	-	37	11	52	32	70	45	99	61	66	85	90
120	-	36	9	50	29	68	42	97	57	63	82	87
130	-	-	7	47	27	65	39	93	54	59	77	83
140	-	-	-	45	24	62	35	90	50	56	73	79
150	-	-	-	-	21	59	32	86	47	53	68	75
160	-	-	-	-	19	57	29	83	43	50	65	71
170	-	-	-	-	-	-	27	79	40	47	60	67
180	-	-	-	-	-	-	23	-	36	44	56	63
190	-	-	-	-	-	-	-	-	34	41	50	59
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	47	55

Tabla A.8. Momentos flectores admisibles para carga viva, en toneladas por pié.

Bailey estándar ensanchado – plataforma de acero con asfalto.

píes	S.S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	402	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	395	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	376	772	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	349	735	760	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	315	688	722	1080	-	-	-	-	-	-	-	-
60	276	630	670	1016	1431	-	2215	-	-	-	-	-
70	224	663	612	938	1350	1424	217	2227	-	-	-	-
80	167	485	553	849	1258	1324	2005	2105	-	-	-	-
90	102	398	480	749	1150	1210	1876	1694	-	-	-	-
100	30	297	398	636	1032	1088	1733	1808	2430	2747	3870	4310
110	-	188	307	512	898	948	1576	1638	2247	2587	3642	4100
120	-	69	180	374	757	792	1397	1448	2049	2408	3390	3880
130	-	-	87	220	593	625	1210	1250	1828	2212	3105	3635
140	-	-	-	105	421	445	1002	1030	1575	2020	2810	3395
150	-	-	-	-	238	247	790	784	1338	1782	2510	3095
160	-	-	-	-	44	39	554	537	1071	1543	2175	2830
170	-	-	-	-	-	-	298	269	775	1270	1815	2460
180	-	-	-	-	-	-	42	-	283	1020	1420	2130
190	-	-	-	-	-	-	-	-	152	733	1030	1750
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	431	600	1380

Tabla A.9 Fuerzas cortantes admisibles para carga viva, en toneladas.

Bailey extra ancho - plataforma de madera

Pies	S. S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	24	53	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	23	51	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	21	49	20	68	-	-	-	-	-	-	-	-
60	20	46	19	65	44	83	-	-	-	-	-	-
70	18	44	17	63	42	80	58	-	-	-	-	-
80	17	42	15	60	39	78	55	-	-	-	-	-
90	15	40	14	58	37	75	52	105	-	-	-	-
100	14	38	12	56	34	72	49	101	70	68	97	96
110	-	36	10	53	32	70	46	98	67	65	93	92
120	-	34	9	51	29	67	42	95	64	62	89	88
130	-	-	7	48	27	64	40	92	61	59	85	84
140	-	-	-	46	24	62	37	88	58	56	81	80
150	-	-	-	-	21	59	34	85	55	53	77	76
160	-	-	-	-	19	57	31	8/2	52	50	74	72
170	-	-	-	-	-	-	28	79	49	47	70	68
180	-	-	-	-	-	-	-	-	46	44	66	63
190	-	-	-	-	-	-	-	-	43	40	62	60
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	58	57

Tabla A.10. Momentos flectores admisibles para carga viva, en toneladas piés

Bailey extra ancho – plataforma de madera.

Píes	S.S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	406	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	395	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	376	772	791	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	345	735	760	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	315	688	721	1079	-	-	-	-	-	-	-	-
60	273	629	673	1012	1431	-	-	-	-	-	-	-
70	224	561	617	934	1348	1420	2114	2225	-	-	-	-
80	167	481	552	843	1252	1319	200	2101	-	-	-	-
90	102	392	478	741	1144	1204	1869	1962	-	-	-	-
100	30	291	396	626	1023	1076	1724	1805	2421	2734	3859	4292
110	-	180	304	499	889	934	1563	1633	2235	2569	3624	4086
120	-	58	205	360	743	778	1387	1444	2030	2388	3373	3860
130	-	-	96	209	584	609	1195	1238	1808	2192	3096	3613
140	-	-	-	46	412	426	955	1016	1568	1981	2798	3347
150	-	-	-	-	227	230	766	778	1311	1753	2477	3062
160	-	-	-	-	30	21	529	523	1035	1510	2134	2757
170	-	-	-	-	-	-	276	251	742	1251	1796	2432
180	-	-	-	-	-	-	-	-	431	977	1382	2087
190	-	-	-	-	-	-	-	-	102	687	973	1723
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	381	542	1339

Tabla A.11 Fuerzas cortantes admisibles para carga viva, en toneladas.

Bailey extra ancho - plataforma de acero con asfalto.

Pies	S. S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	25	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	24	51	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	22	49	21	66	-	-	-	-	-	-	-	-
60	21	47	19	63	45	-	59	-	-	-	-	-
70	19	45	18	61	42	81	56	110	-	-	-	-
80	18	43	17	58	40	78	52	106	-	-	-	-
90	16	41	14	55	37	76	49	103	-	-	-	-
100	15	39	13	53	35	73	46	99	65	69	106	92
110	-	37	11	49	32	70	42	95	61	66	101	87
120	-	34	7	47	29	68	39	91	57	63	97	83
130	-	-	6	44	27	65	36	88	54	59	92	79
140	-	-	-	-	24	62	33	84	50	56	88	75
150	-	-	-	-	21	59	29	80	47	53	83	70
160	-	-	-	-	-	-	26	77	43	50	79	66
170	-	-	-	-	-	-	23	73	40	47	75	63
180	-	-	-	-	-	-	-	-	36	44	70	58
190	-	-	-	-	-	-	-	-	33	41	66	54
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	61	50

Tabla A.12 Momentos flectores admisibles para carga viva, en toneladas por pié

Bailey extra ancho – plataforma de acero con asfalto.

Pies	S.S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	402	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	395	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	376	772	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	349	735	760	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	315	688	722	1080	-	-	-	-	-	-	-	-
60	245	630	659	1014	1431	-	2215	-	-	-	-	-
70	224	560	610	936	1348	1421	2115	2223	-	-	-	-
80	167	480	502	846	1253	1320	2002	2100	-	-	-	-
90	102	393	480	745	1143	1206	1872	1958	-	-	-	-
100	30	290	397	555	949	1077	1728	1800	2420	2745	3855	4302
110	-	180	306	505	890	937	1570	1628	2235	2582	3620	4092
120	-	60	150	366	745	672	1291	1323	2035	2401	3365	3864
130	-	-	65	210	580	612	1200	1228	1810	2203	3090	3617
140	-	-	-	-	410	432	990	1003	1570	1998	3795	3352
150	-	-	-	-	225	232	775	768	1310	1768	2465	3067
160	-	-	-	-	-	-	538	506	850	1380	1925	2584
170	-	-	-	-	-	-	280	228	740	1258	1755	2422
180	-	-	-	-	-	-	-	-	235	998	1365	2082
190	-	-	-	-	-	-	-	-	110	708	965	1720
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	403	525	1330

Tabla A.13 Fuerzas cortantes admisibles para carga viva, en toneladas.

Mabey Compact 200 anchura estándar – plataforma de acero.

Piés	S. S.	S. S. R.	D. S.	D. S. R. 1.	D. S. R. 2.	T. S.	T. S. R. 2	T. S. R. 3.	Q. S.	Q. S. R. 3.	Q. S. R. 4.
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	44	-	87	-	-	133	-	-	178	-	-
40	43	-	86	-	-	131	-	-	176	-	-
50	42	41	85	62	84	129	106	128	174	149	172
60	41	40	83	61	82	127	104	125	172	147	169
70	39	39	82	59	80	126	102	123	170	144	166
80	38	37	80	57	78	124	100	121	168	141	163
90	37	36	79	56	77	122	98	119	166	139	161
100	36	35	78	54	75	121	96	116	164	136	158
110	35	34	76	53	73	119	94	114	162	134	155
120	34	33	75	51	71	117	92	112	160	131	152
130	33	31	73	49	70	116	90	110	158	129	150
140	32	30	72	48	68	114	88	107	156	126	147
150	31	29	71	46	66	112	85	105	154	124	144
160	30	28	69	45	64	110	83	103	152	121	142
170	29	27	68	43	62	109	81	101	150	119	139
180	28	25	66	42	61	107	79	98	148	116	136
190	-	-	-	-	59	-	77	96	-	113	133
200	-	-	-	-	-	-	-	94	-	-	131

Tabla A.14 Momentos flectores admisibles para carga viva, en toneladas por pié.

Mabey Compact 200 anchura estándar – plataforma de acero.

Piés	S. S.	S. S. R.	D. S.	D. S. R. 1.	D. S. R. 2.	T. S.	T. S. R. 2	T. S. R. 3.	Q. S.	Q. S. R. 3.	Q. S. R. 4.
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	813	-	1840	-	-	2473	-	-	3304	-	-
40	793	-	1817	-	-	2444	-	-	3270	-	-
50	770	1601	1784	2801	3815	2408	4064	4888	3225	5699	6565
60	744	1568	1745	2759	3769	2359	4006	4826	3169	5626	6489
70	711	1528	1703	2706	3710	2303	3940	4753	3103	5544	6400
80	672	1483	1650	2647	3645	2241	3862	4671	3028	5449	6299
90	626	1430	1587	2578	3569	2168	3776	4573	2943	5341	6184
100	580	1374	1522	2503	3487	2086	3677	4468	2847	5220	6056
110	524	1312	1450	2421	3395	1998	3569	4350	2742	5085	5912
120	465	1240	1368	2329	3293	1899	3451	4222	2627	4940	5755
130	400	1164	1279	2230	3182	1749	3320	4081	2503	4780	5587
140	331	1083	1184	2125	3064	1679	3182	3930	2369	4609	5403
150	259	997	1082	2011	2936	1555	3031	3766	2221	4426	5206
160	177	902	989	1886	2801	1423	2870	3592	2066	4229	4993
170	-	803	859	2742	2654	1282	2703	3408	1899	4019	4770
180	-	699	734	1617	2500	1131	2522	3211	1725	3796	4531
190	-	-	-	1473	2339	-	2329	3005	-	3559	4281
200	-	-	-	-	2165	-	-	2785	-	-	4016

Tabla A.16 Momentos flectores admisibles para carga viva, en toneladas por pié

Mabey Compact 200 anchura extra – plataforma de acero.

Piés	S. S.	S. S. R.	D. S.	D. S. R. 1.	D. S. R. 2.	T. S.	T. S. R. 2	T. S. R. 3.
10	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-
30	803	-	1637	-	-	2467	-	-
40	781	-	1607	-	-	2431	-	-
50	751	1578	1568	2395	3222	2385	4042	4868
60	711	1539	1522	2342	3166	2332	3976	4799
70	669	1486	1467	2280	3097	2267	3897	4718
80	620	1430	1401	2211	3021	2191	3809	4622
90	561	1365	1328	2129	2933	2106	3710	4514
100	498	1293	1246	2040	2835	2011	3599	4393
110	426	1211	1158	1942	2726	1906	3474	4258
120	347	1125	1059	1834	2608	1791	3340	4114
130	266	1026	951	1716	2480	1667	3192	3953
140	173	925	837	1588	2339	1532	3031	3783
150	75	814	712	1450	2188	1387	2860	3599
160	-	695	581	1305	2031	1230	2677	3402
170	-	571	440	1148	1860	1066	2483	3192
180	-	436	436	984	1679	892	2276	2969
190	-	295	-	810	1486	-	2057	2736
200	-	144	-	-	1286	-	-	2486

ANEXO B

TABLAS DE PESO DE PUENTES

METÁLICOS MODULARES

Tabla B.1 Peso de puentes metálicos modulares Bailey, ancho estándar con plataforma de madera⁴³. Peso dado en toneladas.

Pies	S. S.	D. S.	S. S. R.	T. S.	D. S. R.	D. D.	T. S. R.	T. D.	D. T.	D. D. R.	T. T.	T. D. R.
10	3.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	5.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	7.28	9.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	9.28	12.1	11.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	11.3	14.7	13.4	17.9	-	-	-	-	-	-	-	-
60	13.3	17.3	15.9	21.0	22.5	-	28.8	-	-	-	-	-
70	15.3	19.9	18.3	24.2	25.9	28.1	33.3	36.4	-	-	-	-
80	17.3	22.5	20.7	27.4	29.4	31.9	37.8	41.3	-	-	-	-
90	19.3	25.1	23.2	30.6	32.8	35.6	42.3	46.2	-	-	-	-
100	21.3	27.7	25.6	33.7	36.3	39.4	46.7	51.1	55.3	48.0	72.7	64.1
110	-	30.3	28.0	36.9	39.8	43.2	51.2	56.0	60.7	52.6	79.8	70.3
120	-	32.9	30.4	40.0	43.2	46.9	55.7	60.9	66.0	57.3	86.9	76.5
130	-	-	32.9	43.2	46.7	50.7	60.1	65.9	71.4	61.9	93.9	82.8
140	-	-	-	-	50.1	54.5	64.6	70.8	76.7	66.5	101	88.9
150	-	-	-	-	53.6	58.3	69.1	75.7	82.1	71.2	108	95.2
160	-	-	-	-	-	-	73.5	80.6	87.5	75.8	115	101
170	-	-	-	-	-	-	78.0	85.5	92.8	80.4	122	108
180	-	-	-	-	-	-	-	-	98.2	85.0	129	114
190	-	-	-	-	-	-	-	-	103	89.7	136	120
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	94.3	143	126

⁴³ Incluye el peso de los postes finales (BB.66) y (BB.59), las placas de asiento (BB.31) y dos traveseros por módulo.

Tabla B.2 Peso de piezas de puentes metálicos modulares.

No.		Peso kgs
BB.1	Panel	270
BB.2	Bastidor	18
BB.3	Tornapuntas	8
BB.4	Bulón	3.2
BB.5	Travesero	214
BB.6	Torniquete travesero	3.4
BB.7	Emparrillados planos	84
BB.8	Emparrillados de botones	86
BB.9	Perno de cordón	4.1
BB.10	Perno de trinca	0.8
BB.11	Perno de arriostamiento	0.55
BB.13	Trinca guardalado	30
BB.14	Tablón estándar	36
BB.15	Diagonal de arriostamiento	30
BB.18	Calzo para Gato	16
BB.19	Apoyo de cojinete	32
BB.23	Pedestal de rampa 1	43
BB.24	Rampa plana	164
BB.25	Rampa de botones	168
BB.26	Llave de carraca	7
BB.29	Placa de unión	1.5
BB.31	Placa de asiento	182
BB.32	Llave de boca	2
BB.34	Llave de manivela	0.75
BB.38	Tablón de unión	28
BB.40	Postes de conexión macho	65
BB.41	Postes de conexión hembra	70
BB.54	Solera de rodillo plano	13.5
BB.58	Rodillo plano	53
BB.59	Rodillo basculante	92
BB.60	Solera de rodillo basculante	45
BB.62	Poste final hembra	66
BB.63	Poste final macho	59
BB.65	Eslabón de morro de lanzamiento	20
BB.68	Poste de unión hembra	88
BB.69	Poste de unión macho	92
BB.70	Eslabón de unión	16
BB.73	Soporte para arriostamiento superior	67
BB.83	Gato de cordón	45

BB.105	Travesero estándar ensanchado	296
BB.106	Tablón estándar ensanchado	41
BB.107	Diagonal de arriostramiento estándar ensanchado	32
BB.108	Pedestal de rampa 2	45
BB.128	Viga de balanceo	280
BB.130	Bulón de panel sin cabeza	3
BB.133	Travesero extra ancho	297
BB.134	Diagonal de arriostramiento extra ancho	33
BB.135	Extensión de la diagonal de arriostramiento extra ancho	11
BB.140	Bastidor de arriostramiento extra ancho	18
BB.141	Tablón de unión	80
BB.144	Tablón extra ancho	90
BB.146	Poste final extra ancho macho	56
BB.147	Poste final extra ancho hembra	66
BB.150	Cordón de refuerzo	96
BB.151	Collarín de perno de cordón	0.75
BB.154	Viga de distribución	111
BB.155	Placa de unión de viga de distribución	16
BB.161	Cordón de refuerzo corto	18
BB.166	Eslabón de unión	18
TSBB.652	Viga de cumbrera	47
EN1046	Gato de Carraca	58

ANEXO C

INVENTARIO DE LOS PUENTES

METÁLICOS MODULARES

EN EL SALVADOR

Tabla 5.10 Puentes metálicos modulares tipo Bailey.

PUENTES METÁLICOS MODULARES TIPO BAILEY				
No.	NOMBRE	LONGITUD		UBICACIÓN
		PIES	METROS	
1	Pipil	DD - 80'	24.39	San Juan Opico, San Pablo Tacachico, Hda. Talcualuya, Zona Franca, Dpto. La Libertad.
2	El Jute	DS - 80'	24.39	Cantón Montegrande, Dpto. San Miguel.
3	Arenales	TS - 70'	21.34	Plan de Pino, Ciudad Delgado, Dpto. San Salvador.
4	La Barra	TS - 200'	60.96	Cantón Tecomapa, Metapán, Dpto. Santa Ana.
5	San Francisco	TS - 120'	36.58	Colonia San José, San Francisco Gotera, Dpto. Morazán.
6	Guajoyo	TS - 120'	36.58	Sobre Río Guajoyo, San Antonio Pajonal, Dpto. Santa Ana.
7	Pequeña Inglaterra	DS - 30'	9.15	Comunidad Pequeña Inglaterra, Ciudad Arce, Dpto. Santa Ana.
8	Tahuilapa	TS - 90'	27.43	Tramo Metapán - Santa Rosa Guachipilin, Dpto. Santa Ana.
9	Anal Arriba	SS - 70'	21.34	Tramo Nahuilingo, Cantón Anal Arriba, Dpto. Sonsonate.
10	Santa Marta	DS - 90'	27.43	Colonia California, Barrio San Jacinto, Dpto. San Salvador.
11	Torola II	DS - 80'	24.39	Ruta Cacaopera - Joateca, Dpto. Morazán.

12	La Bolsa	DD - 100'	30.49	Cantón Santa Barbara, Municipio de Tecoluca, Dpto. San Vicente
13	Atiocoyo	SS - 30'	9.15	Tramo Quezaltepeque - Atiocoyo, Dpto. La libertad.
14	El Cachal	DS - 80'	24.39	Municipio de Jayaque, Dpto. La Libertad.
15	El Platanillo	DS - 50'	15.24	Cantón Platanillo, Municipio de Quezaltepeque, Dpto. La Libertad.
16	El Pedregal	DS - 80'	24.39	CA:1 Km. 82, Dpto. San Vicente.
17	Las Cañas I	DS - 30'	9.15	Antigua Calle a Tonacatepeque, Soyapango, Dpto. San Salvador.
18	El Cega	DD - 130'	39.63	Ramal (Santa Ana - Sonsonate) - El Cega, Dpto. Sonsonate.
19	Santa Margarita	DS - 90'	27.44	Ciudad Delgado - Cuscatancingo, Dpto. San Salvador.
20	San Sebastián	TS - 110'	33.53	Santa Rosa de Lima - San Sebastián, Dpto. La Unión
21	Tres Ceibas	DS - 70'	21.34	Cantón Tres Ceibas, Municipio de Apopa, Dpto. San Salvador.
22	Javillal	TS - 50'	15.24	Canton plan del lago, Cantón javillal, coatepeque, Dpto. Santa Ana.
23	Ciudad Dolores	DD - 100'	30.48	Ciudad Dolores, Cantón San Juan, Dpto. Cabañas.
24	Pequeña Inglaterra	DS - 30'	9.15	Ciudad Arce, comunidad pequeña Inglaterra, Dpto. La libertad.
25	Cerron Grande	DD - 70	21.34	Cerron Grande, Dpto. Cabañas.
26	Palacios	DS - 60'	18.29	San José Guayaval, cantón palacios, Dpto. Cuscatlan.

Tabla 5.11 Puentes metálicos modulares tipo Mabey Compact 200.

PUNTES METÁLICOS MODULARES TIPO MABEY COMPACT 200				
No.	NOMBRE	LONGITUD		UBICACIÓN
		PIES	METROS	
1	San Laureano	DS - 40'	12.19	Cantón San Laureano, Ciudad Delgado, Dpto. San Salvador.
2	La Zorra	DS - 40'	12.19	CA:2 Km. 80, Ramal (El playon – Tecoluca), Dpto. San Vicente.
3	Santa Emilia	DS - 120'	36.58	Ramal (CA:12 - Cantón Santa Emilia), Dpto. Sonsonate.
4	Marimba	DS - 80'	24.39	Ramal (CA:12 - Cantón Talcomunca), Dpto. Sonsonate.
5	Vidaurre	DS - 90'	27.44	Ramal (CA:2 - San Francisco Javier), Dpto. Usulután.
6	San Diego II	DS - 90'	27.45	Ramal Concepcion Batres - Hda. Nueva, Dpto. Usulután.
7	Copinola	DS - 90'	27.46	Ramal (CA: 2 Guaymango) Cantón El Zarzal, Dpto. Ahuachapan.
8	Agua Caliente	DS - 80'	24.39	CA:1 Ciudad Arce - Col. Palo Blanco, Dpto. La Libertad.
9	Tomayate	DS - 80'	24.39	Comunidad La Junta - Los Tres Tikales, Apopa, Dpto. San Salvador.
10	Santa Lucia	DS - 50'	15.24	Cantón Agua Caliente, Quezaltepeque, Dpto. La Libertad.
11	La Vega	DS - 60'	18.29	Tejutla - San Francisco Morazán, Dpto. Chalatenango.
12	Tiquirin	DS - 80'	24.39	Anamoros - Lislique, Dpto. Unión.
13	Sunzacuapa	DS - 90'	27.44	Cantón El Salamo - Acajutla, Dpto. Sonsonate.

14	El Sillero	DS - 90'	27.44	Cantón El Tránsito - Tonacatepeque, Dpto. San Salvador.
15	El Obraje	DS - 90'	27.44	Plan del Mango - Rosario de Mora, Dpto. San Salvador.
16	Segura	DS - 50'	15.24	Cantón Florida - Canton San Antonio Segura, Aguilares, Dpto. San Salvador.
17	Orcoyo	DS - 50'	15.24	Cantón San Sebastián - Planes de las Delicias, Olocuilta, Dpto. La Paz.
18	Altina	DS - 80'	24.39	Cantón San Francisco del Monte, Ilobasco, Dpto. Cabañas.
19	Guaycume	DS - 50'	15.24	Ramal CA:4 Km. 20 - Cantón Joya Grande, Apopa, Dpto. San Salvador.
20	El Amatal	DS - 70'	21.34	Potrero Sula - Nueva Concepción, Dpto. Chalatenango.
21	Tamasha	DS - 50'	15.24	CA: 2 La Palma - Santa Elena, San Francisco Menendez, Dpto. Ahuachapan.
22	Tierra Colorada	DS - 70'	21.34	Canton Tierra Colorada - San Julian, Dpto. Sonsonate.
23	La Paterna	DS - 40'	12.19	Municipio de San Miguel de Mercedes, Dpto. Chalatenango.
24	Los Ángeles	DS - 110'	33.53	Apopa - Quezaltepeque, Comunidad Los Ángeles, Dpto. San Salvador.
25	Casa Presidencial	DS - 80'	24.39	Alameda Manuel Enrique Araujo, acceso interno, Dpto. San Salvador.
26	Moropala	TDR - 60'	18.29	CA-2, Playa El Espino, Canton Moropala, Dpto. San Miguel.
27	Cabaña	DS - 40'	12.19	Troncal del norte, Ingenio la cabaña, Dpto. San Salvador.

Tabla 5.12 Puentes metálicos modulares tipo Acrow Panel.

PUENTES METALICOS MODULARES TIPO ACROW PANEL				
No.	NOMBRE	LONGITUD		UBICACIÓN
		PIES	METROS	
1	Citalá	TDM - 430'	131.10	CA: 4 Citalá, Dpto. Chalatenango.
2	Pasaquina	TS - 130'	39.63	Santa Rosa de Lima - Pasaquina, Dpto. Unión.
3	El Toril	DD - 110'	33.53	Cantón San Laureano, Ciudad Delgado, Dpto. San Salvador.
4	Villa Centenario	SS - 80'	24.39	CA:1 Acajutla - Guaymango, Comunidad Villa Centenario, Dpto. Sonsonate.
5	El Carrizo	DS - 60'	18.29	Ilobasco, Cantón Oratorio, Dpto. de Cabañas.
6	Siemens (U.J.M.D)	TD - 90'	27.44	Retorno Carretera Panamericana, Antigua Cuscatlan, Dpto. San Salvador.

ANEXO D

FORMULARIO PARA LA INSPECCIÓN DE LOS PUENTES METÁLICOS MODULARES

FECHA		HORA		DÍA		INSPECCIÓN No.	
NOMBRE DEL PUENTE							
REALIZADA POR NOMBRE Y APELLIDO							
TIPO DE PUENTE		BAILEY		ACROW PANEL		MABEY COMPACT	
MODULACION							
UBICACIÓN							
POSICIÓN		LATITUD		LONGITUD		ELEVACIÓN	
LONGITUD				CANTIDAD DE MODULOS			
ANCHO				TIPO DE ANCHO			
TIPO DE CALZADA		ACERO		ASFALTO		CONCRETO	
						MADERA	
1º CALIFICACIÓN		BUENO		REGURAL		MALO	
		7 < 10		5 < 7		< 5	
PUNTO DE EMPLASAMIENTO							
Estructuras Cercanas		Atributos Calificativos del Punto de Emplazamiento		Grado de Daño			
1. Calles de Acceso		Pavimentadas		1		2	
2. Terraplenes		Erosión					
3. Taludes		Deslizamiento					
4. Señalización		Hundimiento					
5. Túmulos		Limpieza					
		Existente					
		Faltante					
Drenajes		Sub-Total					
6. Canaleta		Total					
7. Bajadas							
8. Disipadores de Energía							
Estructuras Existentes		Atributos Calificativos de la Super Estructura		Grado de Daño			
9. Cables de electricidad		Pintura		1		2	
10. Red de tubería de A. P.		Fisura					
11. Red de tubería de A. N.		Agrietamiento					
13. Guerdaniveles		Desgaste					
Condiciones del flujo		Retorcadura					
14. Caudal		Aplastamiento					
15. Contaminación		Zafadura					
16. Tránsito vehicular		Limpieza					
17. Tránsito peatonal		Faltante					
18. Seguridad		Sub-Total					
		Total					
SUPER ESTRUCTURA							
Elementos Principales		Atributos Calificativos de la Sub estructura		Grado de Daño			
1. Panel		Fisura		1		2	
2. Travesero		Agrietamiento					
Elementos de unión		Asentamiento					
3. Bastidor de Arriostamiento		Socavación					
4. Tornapuntas		Erosión					
5. Bulón		Desgaste					
6. Pasador		Corrosión					
7. Torniquete de Travesero		Deformación					
8. Perno de Cordón		Bache					
9. Perno de Trinca		Piel de cocodrilo					
10. Perno de Arriostamiento		Astillamiento					
11. Placa de Unión		Podrido					
12. Diagonal de Arriostamiento		Limpieza					
Elementos de Calzada		Existente					
15. Rampa de Acceso		Faltante					
16. Rampa Plana		Sub-Total					
17. Rampa de Botones		Total					
18. Pedestal de Rampa							
19. Emparrillados Planos							
20. Emparrillados de Botones							
Total Final por Grado de Daño							
Total Final							

Elementos de calzada vehicular		ESQUEMA DE UBICACIÓN	Nº de Modulo	Deflexión por Modulos Lateral Derecho	Deflexión por Modulos Lateral Izquierdo
21. Trinca Guarda Lado					
22. Tablón Estándard			2		
23. Emparrillados Planos			3		
24. Emparrillado de Botones			4		
Elementos de calzada peatonal			5		
25. Tablero de Via para Peatones			6		
27. Pasamano p/ Via de Peatones			7		
Elementos de apoyo			8		
28. Apoyo de Cojinete			9		
29. Placa de Asiento			10		
30. Poste Final Hembra			11		
31. Poste Final Macho			12		
Elementos de refuerzo			13		
32. Cordón de Refuerzo			14		
33. Collarin de Perno de Cordón			15		
34. Soporte para el Arrios. Sup.			16		
SUB ESTRUCTURA			17		
Cimentación			18		
1. Estribos			19		
2. Base de Estribos			20		
3. Columna de Estribos			21		
4. Cabezal			22		
5. Pilotes			23		
6. Aletones			24		
7. Muros		DETALLES DE OBSERVACIONES			
Rampa de Acceso			25		
8. Metálico			26		
9. Asfalto			27		
10. Concreto			28		
11. Balasto			29		
12. Madera			30		
Calzada			31		
13. Metálico			32		
14. Asfalto			33		
15. Concreto			34		
16. Madera			35		
Otros			36		
17. Sello de Juntas			37		
			38		
			39		
			36		
			Max.		

TIPO DE MANTENIMIENTO	RANGO DE DANO	
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	>= 310 < 465	
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	>= 155 <= 310	
NO REQUIERE MANTENIMIENTO	>= 0 <= 155	

OBSERVACIONES

RECOMENDACIONES