

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



**MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS PARA
PAVIMENTOS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO EN
EL SALVADOR, UTILIZANDO CONCRETO HIDRAULICO
SIMPLE Y EMULSIONES ASFALTICAS**

PRESENTADO POR:

CARLOS MAURICIO BONILLA SOLÍS

CARLOS AMÍLCAR DUBÓN URBINA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2008

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL :

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

MSc. ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

Título:

**MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS PARA PAVIMENTOS DE
BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO EN EL SALVADOR, UTILIZANDO
CONCRETO HIDRAULICO SIMPLE Y EMULSIONES ASFALTICAS**

Presentado por:

**CARLOS MAURICIO BONILLA SOLÍS
CARLOS AMÍLCAR DUBÓN URBINA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES
ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES**

San Salvador, Julio de 2008.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a DIOS, por brindarnos la fortaleza y la orientación divina para poder culminar con éxito nuestro trabajo de graduación.

A nuestros padres por estar con nosotros en las buenas y en las malas y por animarnos a no rendirnos ante las adversidades.

A la Universidad de El Salvador por ayudarnos en nuestra formación académica y profesional.

A las Empresas e Instituciones que nos brindaron su apoyo de manera desinteresada y oportuna, les agradecemos infinitamente por su colaboración en la realización de este Trabajo de Graduación:

- Universidad de El Salvador (UES).
- Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOPTVDU)
- Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).
- Asfaltos de Centroamérica, S.A. (ASFALCA, S.A.)
- Asocio Temporal Constructora MECO-CAABSA, S.A. de C.V.
- Multipav, S.A. de C.V.
- Dimarti, S.A. de C.V.

A los profesionales de las Instituciones y Empresas, que nos tendieron la mano durante la elaboración de este Trabajo de Graduación, con su tiempo,

consejos, recomendaciones, correcciones, etc., les estamos muy agradecidos por otorgarnos su valioso apoyo:

- Ing. Jorge Rivera Flores
- Ing. Dilber Sánchez
- Ing. Edgar Alfredo Gavidia Paredes
- Ing. José Ranulfo Cárcamo y Cárcamo
- Ing. Carlos Antonio Quintanilla Rodríguez
- Ing. Carlos Mata Trigueros
- Ing. Cruz Aníbal Nájera Montoya
- Arq. Milton Enrique Bonilla Solís
- Ing. Dionisio Ramírez
- Ing. Carlos Flores
- Ing. Gilberto Lima
- Ing. Carmen Elena Fuentes Quijada
- Ing. David Mc Carthy
- Ing. Oscar Romero González
- Ing. Miguel Angel Lazo
- Ing. Manuel Gutiérrez
- Ing. Marco Martínez
- Ing. Jesús Lemus
- Ing. Manuel Cruz

A todas las personas que también se involucraron de una u otra manera y nos dieron su valioso apoyo durante el proceso de este trabajo, y sin el cual no habría sido posible culminarlo con éxito, les agradecemos muy cordialmente:

- Familia Bonilla Solís
- Familia Dubón Urbina
- Sr. Mercedes Rivera (ISCYC)
- Sr. Carlos David Villalobos
- Dr. Carlos Héctor Acevedo Oliva

Queremos agradecer de manera especial, por la orientación brindada, la cual nos ha servido como base y guía para el posterior desarrollo del mismo:

- AL ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES
- AL ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES
- AL ING. EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES
- AL ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ
- AL ING. CARLOS MATA TRIGUEROS
- AL ING. CRUZ ANÍBAL NÁJERA MONTOYA

Sin la valiosa colaboración de todas las personas involucradas no habría sido posible la culminación de este Trabajo de Graduación. Gracias a todos.

EL GRUPO.

DEDICATORIA

A DIOS: Por otorgarme la oportunidad de terminar mi carrera, y brindarme la suficiente fortaleza, para continuar, aún en los momentos más arduos.

A MIS PADRES: Humberto Bonilla Cisneros y Lidia Concepción Solís Albanez, quienes siempre han estado dándome su apoyo, especialmente en mi etapa académica. Gracias por su comprensión, sus consejos y su sabiduría.

A MIS HERMANOS: Joel Bonilla, Milton Bonilla y Nelson Bonilla, por su compañía, por estar siempre ayudándome y por transmitirme su experiencia, sobre todo para poder desenvolverme en esta vida.

A MIS DEMAS FAMILIARES: A quienes siempre recuerdo, y espero saludarlos y compartir gratos momentos con ustedes, nuevamente.

A MI COMPAÑERO DE TESIS: Carlos Dubón, quien no sólo compartió su tiempo, su esfuerzo, paciencia y tolerancia, muchas veces, sino también, ha sido un buen amigo y un excelente compañero, ya que sin su valioso apoyo no hubiéramos podido terminar este Trabajo.

A MIS MAESTROS: A todas aquellas personas, de las cuales fui su alumno en determinadas etapas de mi vida, y que compartieron sus conocimientos intelectuales y sus experiencias, les agradezco por ayudarme a lo largo de mi aprendizaje.

A MIS AMIGOS Y EX COMPAÑEROS: Gracias por “echarme una mano” cuando más los necesitaba. El camino que he recorrido ha sido largo, y aunque, el hecho de finalizar la Tesis no significa el final de este camino, siempre es grato poder contar con el aprecio y la compañía de los buenos amigos, para que la vida no sea tan solitaria y sea más llevadera.

A LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS EN GENERAL: Quisiera compartir con uds., una de las lecciones más importantes que haya podido aprender, y es que, para alcanzar una meta hay que ser perseverantes, aprender a ser disciplinados y ante todo, conservar la honestidad; estas son cualidades que nunca deben perderse en estos tiempos, aún en los momentos más difíciles.

MAURICIO BONILLA.

DEDICATORIA

A DIOS: Por permitirme culminar con éxito mi carrera y a no desfallecer ante los embates de la vida.

A MIS PADRES: Carlos Alberto Dubón Escalante y Maria Alicia Urbina Guardado de Dubón, por apoyarme en los momentos difíciles de mi carrera y de mi existencia.

A MI HERMANA: Alicia Rosaura Dubón Urbina por enseñarme a no rendirme y a seguir adelante no importando las adversidades

A MI TIA: Maria Juventina Urbina Guardado de Monge por ser como mi segunda Madre y por enseñarme de que siempre hay que tener fe en Dios.

A MI COMPAÑERO DE TESIS: Mauricio Bonilla, quien con su sacrificio, fortaleza y tolerancia pudimos finalizar exitosamente este Trabajo de Graduación.

A MIS AMIGOS: Camilo Choto, Carlos Acevedo, Rolando Samayoa, Letty Ortiz, Liz Hernández, Verónica Mancuso, por estar siempre cerca de mí y ayudarme cuando más los necesitaba.

CARLOS DUBON.

EN MEMORIA DE NUESTRO AMIGO Y COMPAÑERO ANGEL

TITO AYALA ALVAREZ

INDICE DEL CONTENIDO TEMATICO

CONTENIDO	Página
CAPITULO I	
1.1 Introducción	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Planteamiento del Problema	7
1.4 Alcances	8
1.5 Objetivos	9
1.5.1 Objetivo General	9
1.5.2 Objetivos Específicos	9
1.6 Limitaciones	10
1.7 Justificación	11
CAPITULO II	
2.1 Generalidades sobre Pavimentos	13
2.1.1 Definición y Finalidades de los Pavimentos. Elementos de Diseño	13
2.1.1.1 Finalidad de Tipo Estructural	13
2.1.1.2 Finalidad de Tipo Funcional	13
2.1.1.3 Finalidad del Pavimento en el Aspecto de la Seguridad	14
2.1.1.4 Partes que componen un Pavimento	15
2.1.2 Clasificación de Carreteras según el Ministerio de Obras Públicas (MOP).	18
2.1.2.1 Carreteras Especiales	18
2.1.2.2 Carreteras Primarias	19
2.1.2.3 Carreteras Secundarias	21
2.1.2.4 Carreteras Terciarias y Terciarias Modificadas	22
2.1.2.5 Carretera Rural Tipo A y B y Rural Modificada	24

2.1.2.6 Camino Vecinal	25
2.1.3 Clasificación de Calles y Carreteras según la Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA).	26
2.1.3.1 Autopistas Regionales	27
2.1.3.2 Troncales Sub-urbanas	29
2.1.3.3 Troncales Rurales	30
2.1.3.4 Colectoras Sub-urbanas	31
2.1.3.5 Colectoras Rurales	32
2.1.4 Pavimentos de Baja Intensidad de Tráfico Vehicular	33
2.1.4.1 Definición de ESAL	33
2.1.4.2 Definición de Pavimentos de Baja Intensidad de Tráfico	35
2.1.4.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)	35
2.2 Clasificación de los Pavimentos de acuerdo a su composición	37
2.2.1 Pavimentos Flexibles	37
2.2.1.1 Definición y Principales Características	37
2.2.1.2 Composición de los Pavimentos Flexibles	39
2.2.1.3 Capa de Rodamiento	39
2.2.1.3.1 Carpeta Asfáltica	39
2.2.1.3.2. Asfalto	40
2.2.1.3.3 Agregados	43
2.2.1.3.4 Clasificación de los Agregados	45
2.2.1.3.5 Fuentes de los Agregados	47
2.2.1.3.6 Clasificación de los Asfaltos	48
2.2.1.4 Mezclas Asfálticas	51
2.2.1.4.1. Mezcla Asfáltica en Caliente.	52
2.2.1.4.2. Mezcla Asfáltica en Frío.	52
2.2.1.4.3. Mezcla Porosa o Drenante.	53
2.2.1.4.4. Microaglomerados.	54
2.2.1.4.5. Masillas.	54
2.2.1.4.6. Mezclas de alto módulo	55
2.2.1.5 Emulsión Asfáltica.	56

2.2.1.5.1. Las Emulsiones.	56
2.2.1.5.2. Los Emulsificantes.	58
2.2.1.5.3. Tipos de Emulsiones Asfálticas.	59
2.2.1.5.4. Generalidades de las Emulsiones Asfálticas.	61
2.2.1.5.5. Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas.	63
2.2.1.5.6. Transporte y Almacenamiento.	65
2.2.2. Pavimentos Rígidos.	66
2.2.2.1. Definición y Principales Características.	66
2.2.2.2. Composición de los Pavimentos Rígidos.	68
2.2.2.3. Tipos de Pavimentos de Concreto Hidráulico.	69
A) Pavimentos de Concreto Simple	70
B) Pavimentos de concreto con refuerzo de acero y elementos de transferencia de carga	71
C) Pavimento de Concreto con Refuerzo de Acero Continuo	73
D) Pavimentos de Concreto Pretensado	74
E) Pavimentos de Concreto Reforzado con Fibras	75
2.2.2.4. Carpeta de Rodadura.	77
2.2.2.4.1. El Cemento Pórtland.	78
A) Tipos de Cemento	78
B) Composición Química del Cemento	80
C) Agregados finos para el Cemento Portland	82
D) Agregados gruesos para el Cemento Portland	82
2.2.2.4.2. Agregados	83
2.2.2.4.3. Agua.	83
2.2.2.4.5. Aditivos.	83
2.2.2.4.6. Terreno de Fundación – Cimiento.	84
2.2.2.4.7. Juntas.	85
A) De Dilatación.	86
B) De Construcción Longitudinal.	87
C) De Retracción – Flexión.	87

D) De Construcción Transversal.	88
2.2.2.4.8. Acero de refuerzo.	90
CAPITULO III	
3.0 MEZCLAS EN FRIO	93
3.1 Conceptos	93
3.1.1 Mezclas en Frío	93
3.1.2 Clasificación y usos granulométricos	94
3.1.3 Mezclas densas en frío	94
3.1.4 Mezclas abiertas en frío	95
3.2 Aspectos Básicos	97
3.2.1 Ventajas de las mezclas en frío	97
3.2.2 Limitaciones de las mezclas en frío	97
3.2.3 Composición de las mezclas en frío	98
3.3 Elaboración de la mezcla	101
3.3.1 Pasos previos para la construcción de mezclas en frío	101
3.3.2 Materiales	102
3.3.3 Construcción (In situ)	107
3.3.4 Construcción en planta central	115
3.4 Colocación de la mezcla	118
3.4.1 Extendido y compactación (Elaborado in situ)	118
3.4.2 Extendido y compactación (Elaborada en planta central)	121
3.5 Equipo Utilizado	123
3.5.1 Equipo para el mezclado in situ	123
3.5.2 Equipo para Plantas de mezclado	131
3.6 Pavimento de Concreto Hidráulico	135
3.7 Concepto.	135
3.8 Generalidades Referentes al Diseño Estructural de Pavimentos de Baja Intensidad de Tráfico	135
3.8.1 Ventajas de los Pavimentos de Concreto	141

3.8.2	Ámbito de Aplicación	142
3.8.3	Datos Para el Cálculo	142
3.8.4	Tipo de concreto	145
3.8.5	Obtención del Espesor de la Losa	146
3.8.6	Disposición de Juntas y Tamaño de las Losas	147
3.8.6.1	Juntas de contracción	148
3.8.6.2	Juntas de construcción	150
3.8.6.3	Juntas de dilatación	150
3.8.6.4	Pendientes Superficiales	152
3.8.7	Materiales	153
3.9	Elaboración de la Mezcla	158
3.9.1	Concreto mezclado en obra.	159
3.9.1.1	Dosificación.	159
3.9.1.2	Mezclado.	160
3.9.1.3	Recomendaciones generales para el mezclamiento en obra	162
3.9.2	Concreto suministrado por una planta de mezclas	162
3.10	Transporte y Colocación del Concreto Hidráulico	164
3.10.1	Transporte del Concreto	171
3.10.1.1	Transporte del Concreto Mezclado en una Central	174
3.10.2	Colocación del Concreto	177
3.10.2.1	Labores Previas	177
3.10.2.2	Colocación del Concreto	179
3.10.2.3	Vaciado del Concreto y las Condiciones atmosféricas	180
3.10.2.4	Vaciado del concreto en tiempo cálido	181
3.10.2.5	Vaciado del concreto en tiempo frío	181
3.10.2.6	Colocación del Concreto en tiempo de lluvia	182
3.10.2.7	Construcción de Juntas	183
3.11	Equipo Utilizado	191

CAPITULO IV

4.0 CONTROL DE CALIDAD	198
4.1 Conceptos y Aspectos Básicos	198
4.1.1 Inspección y Muestreo	201
4.2 Control de Calidad en las Vías Terrestres	202
4.3 Plan de Control de Calidad	204
4.3.1 Generalidades	205
4.3.2 Organización Técnica del Sistema de Control de la Calidad	208
4.3.3 Procedimientos de Construcción	216
4.3.4 Metodología del Plan de Control de Calidad	216
4.3.5 Comunicación durante El Desarrollo del Proyecto	217
4.3.6 Procedimientos de Control de la Calidad	217
4.3.7 Control Estadístico de la Calidad	225
4.3.8 Funcionamiento de Laboratorio de Suelos y Materiales	226
4.3.9 Tratamiento de la Información	229
4.3.10 Procedimientos de almacenamiento	232
4.4 Control de calidad en la construcción de los pavimentos con mezclas en frío	233
4.4.1 Especificaciones	235
4.4.2 Materiales	241
4.4.3 Elaboración de la mezcla	250
4.4.4 Transporte de la mezcla	253
4.4.5 Colocación de la mezcla	254
4.4.6 Compactación de la mezcla	256
4.4.7 Equipo Utilizado	259
4.5 Control de calidad en la construcción de los pavimentos de concreto	264
4.5.1 Especificaciones	266
4.5.2 Materiales	300
4.5.3 Elaboración de la mezcla	303

4.5.4 Transporte de la mezcla	305
4.5.5 Colocación y compactación del concreto	306
4.5.6 Formación de juntas y sellado	306
4.5.7 Curado	307
4.5.8 Descimbrado	308
4.5.9 Resistencia requerida	308
4.5.10 Integridad	309
4.5.11 Textura Superficial	310
4.5.12 Planeidad	310

CAPITULO V

5.0 Características Superficiales para la Evaluación de Pavimentos	313
5.1 Características Superficiales	316
5.1.1 Generalidades	316
5.2 Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	319
5.2.1 Definición	319
5.2.2 Generalidades	320
5.2.3 Características	321
5.2.4 Escala y Características del IRI	322
5.2.5 Determinación del IRI	324
5.2.5.1 Determinación del IRI en El Salvador	325
5.3 Índice de Serviciabilidad	328
5.4 Fundamentos de la Evaluación de Estado de los Pavimentos	330
5.4.1 Capa de Rodamiento con Mezcla Asfáltica	333
5.4.2 Capa de Rodamiento de Concreto hidráulico	333
5.5 Comportamiento de los Pavimentos	335
5.5.1 Etapa de Construcción	335
5.5.2 Etapa de Deterioro Lento y Poco Visible	335
5.5.3 Etapa de Deterioro Acelerado y de Fractura	336
5.5.4 Etapa de Descomposición Total	337

5.5.5 Deterioro de los Pavimentos	338
5.6 Fallas en Pavimentos Asfálticos	340
5.6.1 Ciclo de un Pavimento Flexible	340
5.6.2 Mecanismos de Deformación	342
5.7 Clasificación de las Fallas	344
5.7.1 Clasificación por Grupos	344
5.7.2 Clasificación por su Origen	345
5.8 Fallas en carpeta asfáltica	347
5.8.1 Tipos de fallas	347
5.9 Daños superficiales en pavimentos de concreto hidráulico	371
5.9.1 Cuadro Resumen de Fallas en Pavimentos Rígidos	371
5.9.2 Fisuras	372
5.9.2.1 Fisura Transversal o Diagonal	372
5.9.2.2 Fisura Longitudinal	374
5.9.2.3 Fisura de Esquina	375
5.9.2.4 Losas Subdivididas	377
5.9.2.5 Fisuras en Bloque	378
5.9.2.6 Fisuras Inducidas	379
5.9.3 Deformaciones en los Pavimentos de Concreto Hidráulico	380
5.9.3.1 Levantamiento de Losas	380
5.9.3.2 Dislocamiento	382
5.9.3.3 Hundimiento	383
5.9.4 Desintegraciones en los Pavimentos de Concreto Hidráulico	384
5.9.4.1 Descascaramiento y Fisuras Capilares	384
5.9.4.2 Pulimiento de la Superficie	386
5.9.4.3 Peladuras	387
5.9.4.4 Baches	388
5.9.5 Deficiencias de Juntas en los Pavimentos de Concreto Hidráulico	389
5.9.5.1 Deficiencias en Material de Sello	389
5.9.5.2 Despostillamiento	390

5.9.5.3 Fisuras por mal Funcionamiento de Juntas	392
5.9.6 Otros Deterioros en los Pavimentos de Concreto Hidráulico	393
5.9.6.1 Parchados y Reparaciones para Servicios Públicos	393
5.10 Evaluación Superficial del Pavimento	395
5.10.1 Daños Visuales en la Carpeta de Rodadura	395
CAPITULO VI	
6.1 CONCLUSIONES	399
6.2 RECOMENDACIONES	401
BIBLIOGRAFIA	406

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Contenido	Página
Figura 2.1 Sección Transversal de Una Vía	17
Figura 2.2 Fotografía de un Pavimento Flexible	37
Figura 2.3 Distribución de Cargas en un Pavimento Asfáltico.	38
Figura 2.4 Esquema básico de la estructura de un pavimento flexible	39
Figura 2.5 Esquema del refinamiento del asfalto	41
Figura 2.6 Diagrama Esquemático de una Emulsión	57
Figura 2.7 Representación Esquemática de una Emulsión Catiónica y una Emulsión Aniónica	58
Figura 2.8 Planta de Emulsiones	62
Figura 2.9 Quiebre de una Emulsión	63
Figura 2.10 Ruptura de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo	65
Figura 2.11 Fotografía de la Construcción de un Pavimento Rígido	67
Figura 2.12 Distribución de Esfuerzos en un Pavimento Rígido	68
Figura 2.13 Esquema básico de la estructura de un Pavimento rígido.	69
Figura 2.14 Pavimentos de Concreto Simple.	70
Figura 2.15 Pavimentos de Concreto Simple, con Pasadores	71
Figura 2.16 Pavimentos de Concreto con Refuerzo de Acero no Estructural	72
Figura 2.17 Pavimento de Concreto con Refuerzo de Acero Continuo	73

Figura 2.18.a	Pavimentos de Concreto Reforzado con Fibras	75
Figura 2.18.b	Fibras Metálicas que son utilizadas en el Concreto Reforzado	76
Figura 2.18.c	Fibras Metálicas que son utilizadas en el Concreto Reforzado	76
Figura 2.18.d	Adición de Fibras de Polipropileno que son utilizadas en el Concreto Reforzado	76
Figura 2.19	Junta de Dilatación.	86
Figura 2.20	Junta longitudinal de Construcción.	87
Figura 2.21	Junta longitudinal de Contracción.	88
Figura 2.22	Junta Transversal de Contracción.	88
Figura 2.23	Junta Transversal de Construcción	89
Figura 2.24	Pavimento de Concreto Simple con Dovelas.	91

CAPITULO III

Contenido	Página	
Figura 3.1	Superficie Imprimada	107
Figura 3.2	Esquema de un Camellón	109
Figura 3.3	Esquema del Funcionamiento de una Planta Asfáltica en Frío	117
Figura 3.4	Tolva para Descarga en Camiones	118
Figura 3.5	Extensión de la Mezcla	120
Figura 3.6	Compactación con Rodillo Neumático	121
Figura 3.7	Extendido, seguido de Compactación	122
Figura 3.8	Planta Móvil	125

Figura 3.9	Distribuidor de Asfalto	127
Figura 3.10	Motoniveladora	128
Figura 3.11	Rodillo Neumático	130
Figura 3.12	Rodillo Vibratorio	131
Figura 3.13	Banda sin fin	132
Figura 3.14	Camión de Volteo	133
Figura 3.15	Pavimentadora	134
Figura 3.16	Pavimentadora	134
Figura 3.17	Determinación de la Calidad de la Explanada	143
Figura 3.18	Esquema de la Variación de Espesores en el Pavimento de Concreto	147
Figura 3.19	Disposición de Juntas de Contracción	149
Figura 3.20	Juntas de Dilatación	150
Figura 3.21	Esquema de Pendientes Superficiales	153
Figuras 3.22 y 3.23	Mezcladora Manual de Concreto Hidráulico	161
Figuras 3.24 y 3.25	Planta de Mezclas Móvil. Dosifica y Mezcla el Concreto	164
Figuras 3.26 y 3.27	Planta Móvil para Mezclas de Concreto	164
Figura 3.28	Descarga y Distribución del Concreto	167
Figura 3.29	Texturizado Transversal	168
Figura 3.30	Curado Químico del Pavimento de Concreto	169
Figura 3.31	Acabado Superficial	170
Figuras 3.32 y 3.33	Acabado Superficial	170

Figura 3.34	Aserrado de las Juntas	170
Figura 3.35	Carretillas	172
Figura 3.36	Camión Mezclador	173
Figuras 3.37 y 3.38	Volquetas ó Camiones de Volteo	174
Figura 3.39	Ejecución de Juntas con Sierra de Disco	184
Figura 3.40	Sellado de las Juntas	188
Figuras 3.41 y 3.42	Formaleta para Losas	191
Figura 3.43	Reglas Vibratorias	193
Figura 3.44	Vibrador de Concreto	193
Figura 3.45	Terminado ó Acabado	194
Figura 3.46	Regla Manual ó Llana	195
Figura 3.47	Peine Metálico (Texturizado)	196
Figuras 3.48 y 3.49	Máquina cortadora de concreto para el aserrado de las Juntas	196

CAPITULO IV

Contenido	Página	
Figura 4.1	Organigrama del Control de Calidad	210
Figura 4.2	Diagrama de Proceso de Producción Común	218
Figura 4.3	Flujo de Información acerca de los materiales utilizados en la construcción de un pavimento	221
Figura 4.4	Banco de Agregados	233
Figura 4.5	Acopio de Materiales	234

Figura 4.6	Núcleos Extraídos del Pavimento	235
Figura 4.7	Medición de la Temperatura	241
Figura 4.8	Gráfico de la Correlación entre el Módulo de Rotura y la Resistencia a la Compresión del Concreto	268
Figura 4.9	Prueba de Revenimiento en Obra	269
Figura 4.10	Toma de Muestras para Ensayos de Flexión del Concreto	269
Figuras 4.11 y 4.12	Toma de Muestras para Ensayo de Flexión y Compresión del Concreto	270
Figura 4.13	Esquema sobre la realización del ensayo de planeidad	311

CAPITULO V

Contenido	Página
Figura 5.1. Perfilógrafo Longitudinal	318
Figura 5.2. Analizador de Perfil Longitudinal (APL)	318
Figura 5.3. Analizador de Regularidad Superficial (ARS)	318
Figura 5.4. Mays Ride Meter.	319
Figura 5.5. Representación gráfica del modelo "Cuarto de Carro".	321
Figura 5.6. Escala del IRI según el Banco Mundial	323
Figura 5.7. Características del Pavimento Según IRI	324
Figura 5.8. Deterioro de los pavimentos flexibles a través del tiempo	338
Figura 5.9. Comportamiento del Pavimento asfáltico de acuerdo a su edad	340
Figura 5.10. Fisura Piel de Cocodrilo (Tomada en Colonia Guadalcanal, Ciudad Delgado)	351
Figura 5.11. Fisura en Bloque (Tomada en Colonia Guadalcanal, Ciudad Delgado)	353

Figura 5.12. Fisura en Arco (Tomada de Catálogo de Daños, SIECA)	354
Figura 5.13. Fisura Transversal (Tomada en Colonia Guadalcanal, Ciudad Delgado)	355
Figura 5.14. Fisura Longitudinal (Tomada en Colonia Guadalcanal, Ciudad Delgado)	357
Figura 5.15. Ahuellamiento (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)	359
Figura 5.16. Corrimiento (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)	360
Figura 5.17. Corrugación (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)	361
Figura 5.18. Hinchamiento (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)	361
Figura 5.19. Hundimiento (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)	362
Figura 5.20. Bache (Tomada en Colonia Santalegría, Ciudad Delgado)	363
Figura 5.21. Peladura (Tomada en Colonia Guadalcanal, Ciudad Delgado)	364
Figura 5.22. Desintegración de Bordes (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)	365
Figura 5.23. Exudación de Asfalto (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)	366
Figuras 5.24 a, b y c. Fisuras Transversales o Diagonales en Losas de Concreto Hidráulico	373
Figuras 5.25 a, b y c. Fisuras Longitudinales en Losas de Concreto Hidráulico	375
Figuras 5.26 a y b. Fisura de Esquina	377
Figura 5.27. Losa Totalmente Subdividida	378
Figura 5.28. Fisuras en Bloque	379
Figura 5.29. Fisura Inducida	380
Figura 5.30. Levantamiento de losas, acompañada de rotura	381
Figura 5.31. Dislocamiento	383
Figura 5.32. Hundimiento acompañado de material sedimentado	384

Figura 5.33. Descascaramiento y Fisuras Capilares	385
Figuras 5.34 a y b. Pulimiento	387
Figura 5.35. Peladura formando cavidades	388
Figura 5.36. Bache con bordes irregulares	389
Figuras 5.37 a y b. Deficiencias en Material de Sello	390
Figuras 5.38 a y b. Despostillamiento	392
Figuras 5.39 a y b. Fisuras por mal Funcionamiento de Juntas	393
Figura 5.40. Parchados y Reparaciones para Servicios Públicos	394
Figura 5.41. Inventario de Inspección Visual de Daños Superficiales en un Pavimento Flexible	396
Figura 5.42. Inventario de Inspección Visual de Daños Superficiales en un Pavimento Rígido	397

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II

Contenido	Página
Tabla 2.1 Clasificación Especial	19
Tabla 2.2 Clasificación Primaria	20
Tabla 2.3 Clasificación Secundaria	21
Tabla 2.4a Clasificación Terciaria	22
Tabla 2.4b Clasificación Terciaria Modificada	23
Tabla 2.5 Clasificación Rural	24
Tabla 2.6 Clasificación Vecinal	25
Tabla 2.7 Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales	26
Tabla 2.8 Tipología de las Mezclas Asfálticas	51
Tabla 2.9 Cuadro Resumen. Clasificación de las Emulsiones Asfálticas	56
Tabla 2.10 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte)	61

CAPITULO III

Contenido	Página
Tabla 3.1 Dimensiones Recomendables y Máximas de las Losas de un Pavimento	149
Tabla 3.2 Tabla de Dureza de los Agregados más Comunes	186

INDICE DE TABLAS

CAPITULO IV

Contenido	Página	
Tabla 4.1 a	Requerimientos para Emulsión Asfáltica Aniónica	237
Tabla 4.1 b	Requerimientos para Emulsión Asfáltica Aniónica	238
Tabla 4.2	Requerimientos para Emulsiones Asfálticas Catiónicas	239
Tabla 4.3	Requisitos de Calidad para Emulsiones de Rotura Acelerada	240
Tabla 4.4	Temperaturas de Aplicación – Rangos en Grados Centígrados (°C)	240
Tabla 4.5	Rangos requeridos de Granulometría Densa para Pavimentos con Emulsión Asfáltica	244
Tabla 4.6	Muestreo y Ensayo para Mezcla Asfáltica Densa	245
Tabla 4.7	Rangos Requeridos de Granulometría Abierta para Pavimentos con Emulsión Asfáltica	246
Tabla 4.8	Muestreo y Ensayo para Mezcla Asfáltica Abierta	247
Tabla 4.9	Valores de IRI que deben cumplir Pavimentos de Nueva Construcción	258
Tabla 4.10	Silicón – Especificaciones	273
Tabla 4.11	Composición del Concreto de Cemento Pórtland para Pavimento	274
Tabla 4.12	Tolerancias – Generales	294
Tabla 4.13	Tolerancias – Espesor de Losa de Concreto	295
Tabla 4.14	Especificaciones requeridas para el Cemento Pórtland	300

INDICE DE TABLAS

CAPITULO V

Contenido	Página
Tabla 5.0. Índices para cuantificar la Rugosidad y la Fricción	316
Tabla 5.1. Recomendaciones del TRB para la selección de valores máximos admisibles de IRI en función del TPDA	323
Tabla 5.2. Especificaciones Internacionales para el IRI	327
Tabla 5.3. Requerimientos de IRI por Agencias Públicas en El Salvador	328
Tabla 5.4. Rugosidad	334
Tabla 5.5. Fisuración	334
Tabla 5.6. Puesta en Obra de Mezclas Asfálticas. Problemas y sus Causas.	349
Tabla 5.7. Fisuraciones en los Pavimentos Asfálticos	367
Tabla 5.8. Deformaciones en los Pavimentos Asfálticos	368
Tabla 5.9. Desintegraciones en los Pavimentos Asfálticos	369
Tabla 5.10. Principales Factores que Afectan a los Tres Tipos Básicos de Fallas en los Pavimentos Flexibles	370
Tabla 5.11. Fisuraciones	371
Tabla 5.12. Deformaciones	372

CAPITULO I
GENERALIDADES

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

Actualmente, la misión de las carreteras es la de servir como vía de comunicación entre los pueblos, ayudándolos en su desarrollo, ya que se transportan personas, bienes materiales y mercancías. Es necesario, por tal razón, que dichas vías cumplan con un nivel de serviciabilidad adecuado para los usuarios, y así, existe la tendencia a disminuir el tiempo empleado y los gastos de operación.

A continuación se presenta el contenido del Trabajo de Graduación, que trata sobre la elaboración de un manual para pavimentos de baja intensidad de tráfico, empleando concreto hidráulico simple y mezclas en frío con emulsiones asfálticas, en El Salvador. Se plantea la necesidad de contar con un manual, en base a los antecedentes observados en el país sobre los procesos constructivos en dichos pavimentos, así como éxitos y fracasos en su desempeño.

Es de hacer notar que no se busca confrontar los dos tipos de pavimentos más empleados en el país, como los de concreto hidráulico y de mezclas en frío con emulsiones asfálticas. Se pretende hacer un aporte recopilando la información sobre los procesos constructivos empleados en el medio y plantear soluciones a los problemas observados.

1.2. ANTECEDENTES

En El Salvador, se ha venido trabajando en el mantenimiento, reparación y construcción de pavimentos rígidos y flexibles en las vías de baja intensidad de tráfico a través del Gobierno Central y en estos últimos tiempos, a través de las municipalidades.

En El Salvador, con el apoyo de la Dirección General de Caminos, la entidad encargada del mantenimiento, construcción y reconstrucción de la red vial interdepartamental y rural, en el lapso comprendido entre 1932 y 1943, se inició la construcción de la red de caminos rurales o de penetración que servirían para unir las zonas agrícolas y poblaciones, dándosele prioridad a los caminos ubicados en la meseta central del país, propiciando con esto su desarrollo y tomando auge poblaciones como: Santa Ana, Santa Tecla, Cojutepeque, San Vicente y San Miguel. Posteriormente, 1955-1961, se construyó la Carretera del Litoral, paralela a la Carretera Panamericana (CA-1), con un sistema de caminos de alimentación.

Inicialmente las carreteras en nuestro medio tenían como períodos de diseño 20 años y la mayoría poseían una superficie de tierra o empedrada, posteriormente se utilizó el Macadam, el cual se conserva en muchas de ellas y a su vez fue sustituido por el concreto asfáltico y mezclas en frío. El pavimento asfáltico se usó en un principio en las calles de la capital del país (San Salvador), para luego aplicarlo en las carreteras; la primera carretera asfaltada fue la que une San Salvador y Santa Tecla.

A lo largo del tiempo se han utilizado diversos materiales para la construcción de las vías terrestres, entre los cuales vale la pena mencionar: Suelo, piedra, baldosa, adoquín, cemento hidráulico, cemento asfáltico, etc. En el país, igual se han utilizado gran variedad de materiales para la elaboración de los pavimentos o vías de comunicación, siendo la mayoría de las vías más importantes hechas de materiales asfálticos, volviéndose, por lo tanto, importante el estudio de ellos.

En la actualidad, se lleva a cabo el programa de caminos rurales sostenibles del Ministerio de Obras Públicas (MOP), como parte de todo el estudio que se ha realizado a las vías de baja intensidad. Mediante el apoyo del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), dependencia del Ministerio de Obras Públicas a partir del 30 de Noviembre del año 2000, se logra dar mantenimiento a las carreteras existentes del país.

EXPERIENCIAS EN EL SALVADOR, EN DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO, EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO

La experiencia local a la que hace referencia esta ponencia, es la del Programa de Caminos Rurales Sostenibles del Ministerio de Obras Públicas. Los tramos que se han ejecutado son Ilobasco – El Rosario – San Rafael Cedros, Autopista Comalapa km 40 – El Achiotal – Las Hojas, y en proyecto el tramo Jujutla – CA-8. También se han pavimentado algunas vías que aunque no son rurales si son

de baja intensidad, como la Calle Norberto Morán y la Calle Isaac Esquivel en el Municipio de Nejapa, de igual forma las Calles internas de la Ciudad de San Vicente.

ILOBASCO – EL ROSARIO – SAN RAFAEL CEDROS.

La longitud el tramo pavimentado es 5.5 km de Camino Rural, que se origina en la carretera secundaria que une las ciudades de Ilobasco y San Rafael Cedros, aproximadamente a dos kilómetros al Noreste de esta última ciudad. Avanza hacia el Noroeste a través de una topografía ondulada hasta llegar a la ciudad del Rosario en el kilómetro 5.5, donde se une con las vías adoquinadas de la ciudad.

Originalmente la superficie de la vía estaba compuesta por 2.9 km de camino a nivel de sub-rasante y 3.0 km de empedrado con un ancho promedio de 6m, más de la mitad estaba cubierto con mortero; dicho empedrado tenía una buena apariencia estructural y poseía en algunos tramos cordón-cuneta.

AUTOPISTA COMALAPA KM 40 – EL ACHIOTAL – LAS HOJAS.

Constituye un tramo de 1 km aproximadamente con un ancho de calzada de 6.5 m. La superficie existente del camino consistía en un empedrado el cual se utilizó como base para la capa de concreto, habiéndose colocado previamente una capa de 1.5 cm de mortero nivelante para lograr uniformidad en la superficie. El espesor de la capa de concreto es de 12 cm con un Módulo de

Ruptura de 40 kg/cm², la experiencia en diseño y construcción fue similar al proyecto anterior.

9a. CALLE ORIENTE DE CIUDAD DELGADO

Un ejemplo de vía de baja intensidad de tráfico de concreto hidráulico la cual ha durado mas de 20 años es la 9a. Calle Oriente de Ciudad Delgado, durante más de 10 años circulaban autobuses por dicha calle, los cuales dejaron de circular a principios de los años 90 a raíz de la quema de uno de ellos en el marco del conflicto armado.

La calle posee daños mínimos, los cuales se deben a la ausencia de juntas en lugares como pozos, pero lejos de eso, no hay daños mayores, la calle no ha sido reparada en los años posteriores a la circulación de autobuses.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se pretende elaborar un Manual de los Procesos Constructivos para Vías de Concreto Hidráulico y Vías Asfálticas trabajadas con Emulsiones, de Baja Intensidad de Tráfico en El Salvador. En la actualidad, no se cuenta con un Manual elaborado, en donde se expliquen los procesos de construcción de las vías mencionadas; además, la información teórica resulta escasa; aunque existe material de este tipo relacionado con el tema, la mayoría proviene de fuentes extranjeras, y resulta conveniente contar con un documento aplicado a las condiciones de nuestro país. También existe material bibliográfico (teórico) de otros trabajos de investigación, de muy reciente edición. En la investigación se realizarán visitas de campo, entrevistas con profesionales, técnicos y demás personas con experiencia en el tema, para recabar la información e identificar los problemas que han surgido en los proyectos visitados en sus procesos constructivos para así aportar alternativas que mejoren dichos procedimientos. El Manual debe, abarcar todos los aspectos técnicos necesarios para que sirva como una fuente de consulta, de una manera didáctica, y así lograr que sea una referencia para facilitar a aquellas personas interesadas en el tema, la comprensión de los procesos constructivos que se expongan ó que sirva como un complemento de este conocimiento sobre el tema en cuestión y conocer su aplicación en el área de investigación.

1.4. ALCANCES

El Manual estará elaborado en base a los distintos procesos constructivos en vías de baja intensidad de tráfico utilizando Concreto Hidráulico Simple y Mezclas en frío elaborados con Emulsiones Asfálticas.

El documento busca enfocarse en la exposición de los procesos constructivos en pavimentos rígidos y flexibles, recopilando dichos procesos, los cuales son empleados en nuestro medio. Se reunirán las experiencias en los procesos de construcción de los pavimentos por medio de la investigación; se pretende señalar las fallas que se dan en los pavimentos -averiguando sus causas- para corregirlas y evitar que se siga haciendo un incorrecto proceso constructivo.

Se indicará la importancia de los procesos constructivos y el control de calidad en las vías de baja intensidad ya que en la práctica no se le da tanta relevancia como a una vía principal, para evitar en lo posible que se continúe esta práctica.

Se estudiará en teoría cómo deben ser los procesos constructivos para luego integrar las experiencias de campo con la buena práctica, teniendo como finalidad que el Manual sea práctico y lógico para el país, teniendo como base las normas vigentes. (Actualmente el MOP se rige por las especificaciones de la SIECA 2004¹).

¹ Fuente: Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV), Ministerio de Obras Públicas (MOP), Junio de 2007.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un Manual de los procesos constructivos empleados en las vías de baja intensidad en El Salvador utilizando Concreto Hidráulico Simple y Mezclas en frío con Emulsiones Asfálticas.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar el Manual de procesos constructivos tomando en cuenta las especificaciones generales para construcción de carreteras más recientes y de las normas oficiales vigentes, elaborándolo de una manera didáctica, basados en la experiencia que se ha tenido en el país, teniendo como fundamento el método científico para el desarrollo de la investigación.
- Proponer cambios y mejoras en los procesos constructivos, teniendo en cuenta una elaboración adecuada a partir de las experiencias en la construcción de pavimentos.
- Destacar la importancia de un Control de Calidad adecuado y eficiente en la supervisión de los procesos constructivos, para evitar las prácticas incorrectas y arraigadas con las que se ha venido trabajando, por seguir una costumbre ó una idea sin fundamentos.

1.6. LIMITACIONES

- La investigación no se puede extender a los procesos constructivos de las otras capas que conforman un pavimento de forma general, es decir, la sub-rasante, la sub-base y base, igual de importantes para vías de baja intensidad de tráfico vehicular utilizados en El Salvador, por el grado de amplitud que conllevaría su análisis.
- No se abordará el diseño geométrico, ni el estructural, sino únicamente los procesos constructivos, asumiendo que ambos diseños ya están establecidos. El diseño de la mezcla del concreto hidráulico ó de las mezclas en frío con emulsiones asfálticas no será abordado. El trabajo de investigación sólo se referirá a procesos constructivos de la capa de rodadura.
- El tema de mantenimiento de los pavimentos, utilizando mezclas en frío mediante emulsiones asfálticas ó alternativas con el concreto hidráulico, no será abordado, pues, lo que se busca es presentar una solución preventiva sobre el problema del deterioro de los pavimentos por no efectuar adecuados procesos constructivos, pues el mantenimiento de los pavimentos es una solución posterior a la construcción del pavimento.

1.7. JUSTIFICACION

El objeto fundamental de la construcción de carreteras de bajo tráfico vehicular es brindar un servicio social a las localidades en vías de desarrollo, que proporcionen, además, un alto nivel de seguridad y serviciabilidad a las personas que circularán en ellas. Por tal motivo, los proyectos deben construirse de manera que se eviten deficiencias como: el colapso de la vía, elaboración de estructuras con poca resistencia a la flexión, la presencia de un alto grado de deformaciones en la calzada, entre otros casos; todo lo anterior, debido a los vicios en los procesos constructivos.

La investigación tiene como finalidad presentar un Manual de aplicación dirigido hacia la empresa constructora, municipalidades, zonas residenciales y los estudiantes de Ingeniería Civil, en donde se expongan los procesos constructivos adecuados bajo el requerimiento de las normativas específicas de las vías de baja intensidad de tráfico utilizando Concreto Hidráulico Simple y Mezclas en frío con Emulsiones Asfálticas, para contribuir a la construcción de estructuras eficientes y que presenten una respuesta adecuada a las exigencias requeridas (tanto en el aspecto estructural, funcional y de seguridad de los pavimentos) y a la disponibilidad de recursos, y contrarrestar situaciones como el deterioro acelerado de los pavimentos, por un inadecuado proceso de construcción y control de calidad.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Generalidades sobre Pavimentos.

2.1.1 Definición y Finalidades de los Pavimentos. Elementos de Diseño.

Un pavimento puede ser definido como una estructura que se diseña y se forma mediante un conjunto de capas construidas sobre el suelo de fundación, con la finalidad de ser utilizado como una superficie apta para el libre tránsito de vehículos de tipo liviano, pesado y comercial.

Los pavimentos sirven fines estructurales, funcionales, y de seguridad, los cuales se detallan a continuación:

2.1.1.1 Finalidad de Tipo Estructural

El pavimento a distribuir las cargas bajo las ruedas de los vehículos sobre áreas suficientemente amplias como para evitar tensiones (superiores a su capacidad) en la capa inferior del pavimento.

La carga de la rueda sobre la superficie del pavimento se aplica en un área muy reducida, causando grandes tensiones. Sin embargo estas tensiones van disminuyendo con la profundidad: el nivel de tensiones disminuye desde la capa superior a la inferior en las estructuras de pavimentos.

2.1.1.2 Finalidad de Tipo Funcional

La estructura del pavimento está relacionada con los requisitos del usuario de un andar suave y cómodo.

La calidad del manejo se mide en términos del Índice De Serviciabilidad Presente (PSI), concepto desarrollado por la “*American Association of State Highway Officials*” (AASHTO). El PSI se mide principalmente según la

rugosidad del terreno referida a los deterioros producidos por el uso y edad de los pavimentos y es uno de los criterios utilizados para la toma de decisiones respecto al mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos.

Los típicos deterioros de los pavimentos son: fisuras longitudinales y/o transversales, roturas, piel de cocodrilo, baches y ahuellamientos que afectan la integridad estructural de los pavimentos y el nivel de servicio.

2.1.1.3 Finalidad del Pavimento en el aspecto de la Seguridad

Relacionada con el desarrollo de la resistencia friccional y la interacción pavimento-rueda. La fricción se asegura con la elección de los materiales y diversos tratamientos superficiales (por ejemplo texturizado). Otra característica relacionada con la seguridad es la reflectividad de la superficie del pavimento. Organismos internacionales como la “*American Society of Testing Material*” (ASTM) y la “*European Committee for Standardization*” (CEN) definieron parámetros que son evaluados cuantitativamente y están basados en la reflectividad o capacidad de los materiales para reflejar la luz de su entorno. Estos parámetros son el Coeficiente de Retroluminancia Reflejada (RL) y el Coeficiente de Iluminancia Bajo Iluminación Difusa (Qd). También, cabe destacar que se han creado diversidad de equipos denominados “*Retroreflectómetros*”², por medio de los cuales se determinan los coeficientes

² El *retroreflectómetro* contiene un sistema óptico interior y una fuente de luz que emite destellos en un área conocida de pintura o señalización. *Fuente:* Viceministerio de Obras Públicas, Unidad de Investigación y Desarrollo Vial; “ESTUDIO SOBRE PINTURAS UTILIZADAS EN LA SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO E HIDRÁULICO”; República de El Salvador, Junio de 2003.

anteriormente mencionados y se debe cumplir con los parámetros establecidos por el MOPTVDU.

2.1.1.4 Partes que componen un pavimento

A) Sub-Rasante

Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la sub-rasante.

B) Sub-Base

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de sub-rasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base. La sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una sub-rasante o sub-base adecuada.

Esta capa de material se coloca entre la sub-rasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

C) Base

Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

D) Carpeta o Superficie de Rodamiento o Rodadura

La parte superior de un pavimento, por lo general de pavimento bituminoso o rígido, que sostiene directamente la circulación vehicular.

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros).

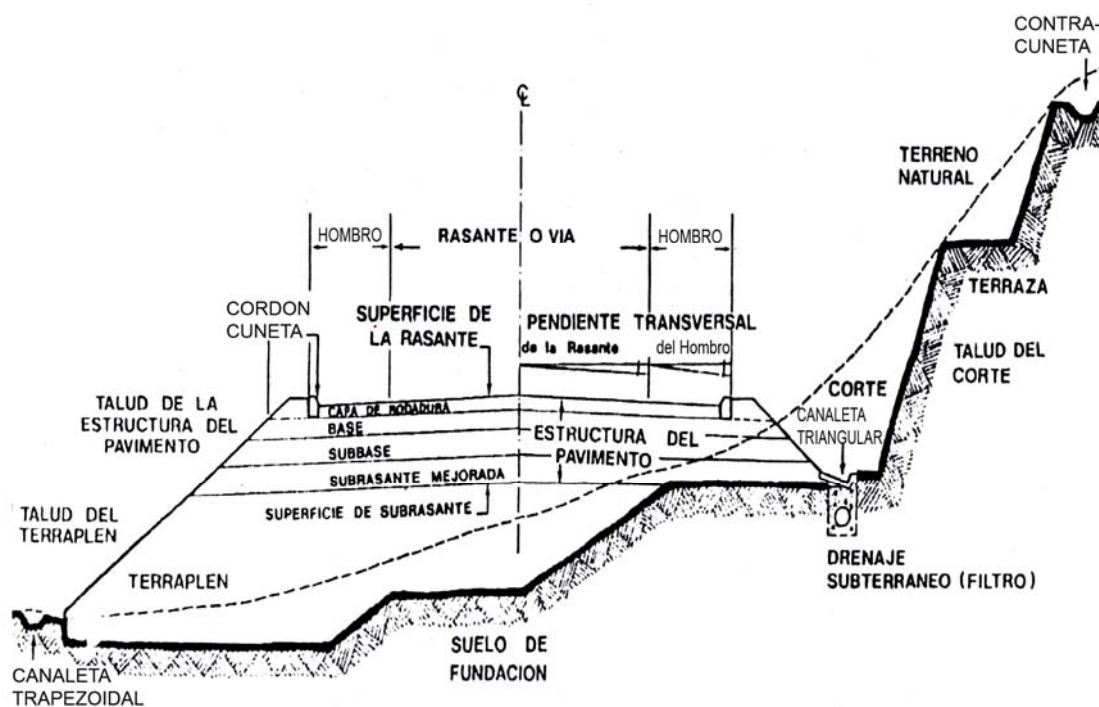


Figura 2.1. Sección Transversal de una Vía.

2.1.2 Clasificación de Carreteras según el Ministerio de Obras Públicas (MOP)

2.1.2.1 Carreteras Especiales.

Se trata de vías de doble superficie de rodamiento con una sección tipo de 30.60 m que se distribuyen entre una mediana central de 8 m y de superficie de rodamiento de 11.30 m, con dos carriles de 3.65 m, hombro exterior de 3 m e interior de 1 m. El ancho de derecho de vía de esta carreteras es de 50 m.

A continuación se presenta la Tabla 2.1, en la que se indican las especificaciones que deben cumplir las Carreteras Especiales, establecidas por el MOP:

Tabla 2.1 Clasificación Especial
Fuente: Ministerio de Obras Públicas (MOP)
Unidad de planificación Vial

CLASIFICACIÓN ESPECIAL			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
<i>Velocidad de diseño (Km/h)</i>	90	70	50
<i>Pendiente máxima (%)</i>	3.5	6	7
<i>Radio mínimo (m)</i>	327.46	191.07	127.45
<i>Distancia mínima entre curvas horizontales (m)</i>	60	60	60
<i>Distancia mínima de visibilidad (m)</i>	160	130	100
<i>Ancho de la vía (m)</i>	30.6	30.6	30.6
<i>Ancho del pavimento (m)</i>	7.3	7.3	7.3
<i>Ancho de hombros</i>	Externo: 3 m; Interno: 1 m.		
<i>Ancho de rodamiento en los puentes</i>	8.5	8.5	8.5
<i>Separador central (m)</i>	8	8	8
<i>Ancho de la zona de derecho de vía (m)</i>	50	50	50
<i>Ancho de la zona de retiro</i>	10	10	10
<i>Carga de diseño para puentes</i>	H20-S16	H20-S16	H20-S16
<i>Tipo de pavimento</i>	Concreto asfáltico		
<i>Tratamiento de hombros</i>	Tratamiento doble superficial		

2.1.2.2 Carreteras Primarias

Carreteras con superficie de rodamiento única con sección típica de 12.00 m, que se distribuye en dos carriles de 3.65 m y hombros de 2.35 m.

A continuación se presenta la Tabla 2.2, en la que se indican las especificaciones que deben cumplir las Carreteras Primarias, establecidas por el MOP:

Tabla 2.2 Clasificación Primaria
Fuente: Ministerio de Obras Públicas (MOP)
Unidad de planificación Vial

CLASIFICACIÓN PRIMARIA			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
<i>Velocidad de diseño (Km/h)</i>	90	70	50
<i>Pendiente máxima (%)</i>	5	6	7
<i>Radio mínimo (m)</i>	250	200	80
<i>Distancia mínima entre curvas horizontales (m)</i>	60	60	60
<i>Distancia mínima de visibilidad (m)</i>	160	130	100
<i>Ancho de la vía (m)</i>	12	12	12
<i>Ancho del pavimento (m)</i>	7.3	7.3	7.3
<i>Ancho de hombros</i>	2.35	2.35	2.35
<i>Ancho de rodamiento en los puentes</i>	7.9	7.9	7.9
<i>Ancho de la zona de derecho de vía(m)</i>	30	30	30
<i>Ancho de la zona de retiro</i>	10	10	10
<i>Carga de diseño para puentes</i>	H20-S16	H20-S16	H20-S16
<i>Tipo de pavimento</i>	Tratamiento Superficial doble o concreto asfáltico		
<i>Tratamiento de hombros</i>	Material selecto compactado		

2.1.2.3 Carreteras Secundarias

La sección tipo de diseño de estas carreteras es de 9.50 m, que corresponden a una superficie de rodamiento de 7.5 m (3.25 m por carril) y hombros de 1.5 m. El derecho de vía de estas carreteras es de 20.00 m.

A continuación se presenta la Tabla 2.3, en la que se indican las especificaciones que deben cumplir las Carreteras Secundarias, establecidas por el MOP:

Tabla 2.3. Clasificación Secundaria
Fuente: Ministerio de Obras Públicas (MOP)
Unidad de planificación Vial.

CLASIFICACIÓN SECUNDARIA			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
<i>Velocidad de diseño (Km/h)</i>	80	70	50
<i>Pendiente máxima (%)</i>	5	6	8
<i>Radio mínimo (m)</i>	150	100	60
<i>Distancia mínima entre curvas horizontales (m)</i>	60	60	60
<i>Distancia mínima de visibilidad (m)</i>	130	100	80
<i>Ancho de la vía (m)</i>	9.5	9.5	9.5
<i>Ancho del pavimento (m)</i>	6.5	6.5	6.5
<i>Ancho de hombros</i>	1.5	1.5	1.5
<i>Ancho de rodamiento en los puentes</i>	7.4	7.4	7.4
<i>Ancho de la zona de derecho de vía (m)</i>	20	20	20
<i>Ancho de la zona de retiro</i>	10	10	10
<i>Carga de diseño para puentes</i>	H15-S12	H15-S12	H15-S12
<i>Tipo de pavimento</i>	Tratamiento Superficial Simple		
<i>Tratamiento de hombros</i>	Material selecto compactado		

2.1.2.4 Carreteras Terciarias y Terciarias Modificadas

La sección típica de estas carreteras es de un ancho de 8.00 m, que corresponden a una superficie de rodamiento de 6.00 m (3.00 m por carril) y bermas de 1.00 m, con un ancho de derecho de vía de 20.00 m.

A continuación se presentan las Tablas 2.4a y 2.4b, en la que se indican las especificaciones que deben cumplir las Carreteras Terciarias y Terciarias Modificadas, establecidas por el MOP:

Tabla 2.4a. Clasificación Terciaria
Fuente: Ministerio de Obras Públicas (MOP)
Unidad de planificación Vial

CLASIFICACION TERCIARIA			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
<i>Velocidad de diseño (Km/h)</i>	60	50	40
<i>Pendiente máxima (%)</i>	6	8	10
<i>Radio mínimo (m)</i>	150	100	40
<i>Distancia mínima entre curvas horizontales (m)</i>	50	50	50
<i>Distancia mínima de visibilidad (m)</i>	120	100	80
<i>Ancho de la vía (m)</i>	6	6	6
<i>Ancho de rodamiento en los puentes</i>	6.5	6.5	6.5
<i>Ancho de la zona de derecho de vía (m)</i>	20	20	20
<i>Ancho de la zona de retiro (m)</i>	4	4	4
<i>Carga de diseño para puentes</i>	H15-S12	H15-S12	H15-S12
<i>Tipo de superficie</i>	Material selecto compactado	Material selecto compactado	Material selecto compactado

Tabla 2.4b. Clasificación Terciaria Modificada.**Fuente: Ministerio de Obras Públicas (MOP)****Unidad de planificación Vial**

CLASIFICACION TERCIAIA MODIFICADA			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
<i>Velocidad de diseño (Km/h)</i>	60	50	40
<i>Pendiente máxima (%)</i>	6	8	10
<i>Radio mínimo (m)</i>	150	100	40
<i>Distancia mínima entre curvas horizontales (m)</i>	50	50	50
<i>Distancia mínima de visibilidad (m)</i>	130	100	80
<i>Ancho de la vía (m)</i>	8	8	8
<i>Ancho del pavimento</i>	6	6	6
<i>Ancho de hombros</i>	1	1	1
<i>Ancho de rodamiento en los puentes</i>	7.4	7.4	7.4
<i>Ancho de la zona de derecho de vía</i>	20	20	20
<i>Ancho de la zona de retiro (m)</i>	10	10	10
<i>Carga de diseño para puentes</i>	H15-S12	H15-S12	H15-S12
<i>Tipo de pavimento</i>	Tratamiento superficie simple		
<i>Tratamiento de bermas</i>	Material selecto compactado		

2.1.2.5 Carretera Rural Tipo A Y B y Rural Modificada.

Presentan una sección típica que demarca un ancho de vía de 5.00 m, un derecho de vía de 15.00 m respecto a la clasificación A y B, anteriormente se utilizó la tipo B la cual tenía un ancho de vía de 4.50 m.

La rural modificada se refiere a un camino rural con revestimiento asfáltico pero con las mismas condiciones geométricas.

A continuación se presenta la Tabla 2.5, en la que se indican las especificaciones que deben cumplir las Carreteras Rurales y Rurales Modificadas, establecidas por el MOP:

Tabla 2.5 Clasificación Rural
Fuente: Ministerio de Obras Públicas (MOP)
Unidad de planificación Vial

CLASIFICACION RURAL			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
<i>Velocidad de diseño (Km/h)</i>	50	40	30
<i>Pendiente máxima (%)</i>	6	8	12
<i>Radio mínimo (m)</i>	67	53	20
<i>Distancia mínima de visibilidad (m)</i>	90	60	45
<i>Ancho de la vía (m)</i>	5	5	5
<i>Ancho de rodamiento en los puentes</i>	3	3	3
<i>Ancho de la zona de derecho de vía</i>	15	15	15
<i>Ancho de la zona de retiro (m)</i>	4	4	4
<i>Carga de diseño para puentes</i>	H15-44	H15-44	H15-44
<i>Tipo de superficie</i>	Revestida		

2.1.2.6 Camino Vecinal

Son aquellos que no están contenidos en la clasificación descrita anteriormente y que comunican villas, pueblos, cantones o caseríos entre si o conectan estos con cualquier carretera.

A continuación se presenta la Tabla 2.6, en la que se indican las especificaciones que deben cumplir los Caminos Vecinales, establecidas por el MOP:

Tabla 2.6 Clasificación Vecinal
Fuente: Ministerio de Obras Públicas (MOP)
Unidad de planificación Vial

CLASIFICACION VECINAL			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
<i>Velocidad de diseño (Km/h)</i>	50	40	30
<i>Pendiente máxima (%)</i>	7	10	15
<i>Radio mínimo (m)</i>	67	52	22
<i>Distancia mínima de visibilidad (m)</i>	90	60	45
<i>Ancho de la vía (m)</i>	5	5	5
<i>Ancho de rodamiento en los puentes</i>	3	3	3
<i>Ancho de la zona de derecho de vía</i>	15	15	15
<i>Carga de diseño para puentes</i>	H15-44	H15-44	H15-44
<i>Tipo de superficie</i>	Revestida		

NOTA: LA PENDIENTE MAXIMA (15%) NO PODRA TENER UNA LONGITUD MAYOR DE 200 m, DEBIENDO TENER DESPUES UN DESCENSO NO MENOR DE 300 m CON UNA PENDIENTE MAXIMA DE 5%.
EL RELLENO DE LA ENTRADA DE TUBERIA DEBE TENER UN MINIMO DE 0.60 m

2.1.3 Clasificación de Calles y Carreteras según la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).

La clasificación es el proceso por medio del cual las calles y carreteras son organizadas dentro de un sistema funcional, de acuerdo con el carácter de servicio que prestan y que ayude a seleccionar los factores apropiados de tránsito y otras variables que sean necesarias, según se muestran en la tabla

2.7:

Tabla 2.7. Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de carriles y Tipo de Superficie de Rodadura

TPDA	> 20,000		20,000 – 10,000		10,000–3,000		3,000 - 500	
	C	S	C	S	C	S	C	S
AR . Autopistas Regionales	6-8	Pav	4-6	Pav				
TS . Troncales Suburbanas	4	Pav	2-4	Pav	2	Pav		
TR . Troncales Rurales	4	Pav	2-4	Pav	2	Pav		
CS . Colectoras Suburbanas			2-4	Pav	2	Pav	2	Pav
CR . Colectoras Rurales					2	Pav	2	Pav

TPDA = Tránsito promedio diario anual;

C= Número de carriles;

S= Superficie de rodadura;

Pav. = pavimentadas

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001

2.1.3.1 Autopistas Regionales

Siguiendo el orden mostrado en el cuadro anterior, se considera que las autopistas regionales deben construirse cuando los volúmenes de tránsito para diseño resultan mayores de 20,000 vehículos promedio diario. La demanda de este tipo de instalaciones de primera categoría en exigencias de calidad y elevación de costos por kilómetro, se encuentra usualmente situada en un entorno suburbano, a la salida de las ciudades principales de Centroamérica, o como soluciones para circunvalar con anillos perimetrales las mismas.

Por otra parte, todas las intersecciones deben ser construidas con separación de niveles para los diferentes movimientos, recomendándose que los intercambios o entronques a desnivel dispongan de un espaciamiento mínimo entre ellos de 3 kilómetros. Siendo su función primordial la movilidad, este tipo de vías mayores debe contar con control total en los accesos, esto es, que se otorga preferencia al tránsito de paso y se limitan las conexiones a determinadas arterias principales, sin posibilidades de acceso a las propiedades colindantes. Sin embargo y bajo determinadas circunstancias, es admisible ejercer el control parcial y discreto de los accesos.

Las paradas de transporte público no se permiten en este tipo de vías, por lo que es recomendable prever su desplazamiento a través de calles marginales a la pista principal. Los cruces peatonales deben localizarse en aquellos puntos de mayor movimiento de peatones y construirse a desnivel, ya sea sobre las autopistas o subterráneos, aprovechando en lo posible su

integración con propuestas de atractivos comerciales y servicios sanitarios. Las barandas para encauzar la corriente peatonal deben ser instaladas a las entradas y salidas de estas instalaciones.

En zonas densamente pobladas, este tipo de carreteras debe contar con alumbrado público apropiado a lo largo de todo su recorrido, con énfasis especial en las intersecciones mayores, admitiéndose que el alumbrado se limite a solamente estas últimas, en sitios donde el desarrollo urbano disminuya su intensidad. Se ha comprobado que la tasa de accidentes durante la conducción nocturna disminuye sensiblemente cuando una autopista o cualquier arteria principal cuenta con el alumbrado apropiado para la conducción nocturna.

El pavimento de estas carreteras debe llenar los requisitos más exigentes en la materia, para soportar las elevadas demandas del tránsito proyectado. La superficie de rodamiento debe consistir en un concreto hidráulico o asfáltico, con los espesores y el control de calidad que el caso requiere.

En vista que la demanda del tránsito ha crecido extraordinariamente en el medio centroamericano y por lo costoso de la construcción de autopistas especiales, motivado por el alza en los costos de materiales y mano de obra y la escasez de terreno, acompañado del alto costo y los conflictos por las afectaciones a los vecinos, no se prevé la construcción frecuente de autopistas mayores de tres carriles de circulación, por lo que se deberá pensar en el

desvío del tránsito hacia rutas paralelas o a la instalación de otros sistemas de transporte masivo, como los carriles-bus o el transporte público de riel liviano.

2.1.3.2. Troncales Sub-urbanas

Las carreteras dentro de esta clasificación están concebidas fundamentalmente para atender demandas de tránsito que, al término del período de diseño, alcanzarán volúmenes comprendidos entre 10,000 y 20,000 vehículos promedio diario. Se localizan entre las ciudades dormitorio y las capitales, de las cuales las primeras son tributarias, o entre áreas proyectadas para alcanzar un llamativo desarrollo económico. Dan acceso directo a los generadores principales de tránsito y se interconectan con el sistema de autopistas y vías de circulación rápida.

Los accesos se permiten directamente, excepto cuando se desea introducir algún grado de control de los mismos para favorecer la fluidez del tránsito de paso, reservándose espacios y diseños adecuados para estacionamiento y movimientos peatonales longitudinales. La construcción de calles marginales a estas carreteras es altamente recomendable, cuando se desea destacar su función de movilidad.

El transporte público servido por autobuses puede ser atendido en este tipo de carreteras, mediante paradas discretamente distribuidas, en bahías diseñadas para acopiar desde una hasta tres unidades, dependiendo de la magnitud de la demanda y la modalidad de oferta del servicio. Para el movimiento peatonal transversal, se pueden construir cruces a nivel tipo cebra y

pasos a desnivel en sitios de alta generación de movimiento de personas a pie. La instalación de semáforos coordinados en las intersecciones, separados entre sí unos 500 a 800 metros, con tiempo para el movimiento peatonal e instalaciones complementarias para peatones, son recomendables, al igual que la construcción de rotondas ó áreas verdes donde el tránsito y la disponibilidad de espacio las justifiquen.

Cuando las condiciones económicas lo permitan y se justifique por los desarrollos urbanos adyacentes, se recomienda la instalación de alumbrado público en las intersecciones principales, primero, y a lo largo de la carretera, si ello resulta factible y conveniente por razones de seguridad.

2.1.3.3 Troncales Rurales

Las carreteras clasificadas en esta categoría, constituyen los ejes principales y de mayor significación en la estructura de la red regional centroamericana. Se desarrollan con recorridos que se extienden a lo largo y ancho de todos los países del área, por lo que el entorno que les corresponde es variable, así como también son variables los rangos en los volúmenes de tránsito que sirven y que, al año de diseño, podrían llegar hasta los 20,000 vehículos por día promedio, con límites inferiores sensiblemente bajos de 500 vpd. En las áreas rurales con segmentos de carreteras de alto movimiento vehicular, podrá ser necesario prever su ampliación o reconstrucción a cuatro carriles.

Son recomendables las paradas de autobuses a lo largo de estas carreteras. Los cruces peatonales deben ser demarcados sobre el pavimento, tipo cebra, y situados en los sitios con abundancia de peatones. Las intersecciones deben ser construidas con instalaciones provistas de semáforos de tiempo fijo y/o canalizadas, en los sitios con bastantes vehículos y peatones; en otros sitios con menor intensidad de movimiento, predominará el señalamiento vertical, particularmente las señales de ALTO para el tránsito desde los ramales secundarios de la intersección.

2.1.3.4 Colectoras Sub-urbanas

Este tipo de carreteras mantiene un sensible balance entre su función de acceso a las propiedades colindantes y su importante función complementaria de movilidad. Atiende, por consiguiente, una demanda de tránsito similar a las troncales rurales, ya que por el límite superior pueden alcanzar hasta los 10,000 vpd. Al mismo tiempo, estas carreteras están ligadas a los movimientos generados por las áreas urbanas, canalizando tránsito hacia otras vías y dando acceso a terrenos y propiedades colindantes, por lo que su demanda vehicular puede disminuir sensiblemente. Este tipo de vías estará dotado de una sección transversal provista de dos a cuatro carriles de circulación, para la atención del tránsito en ambos sentidos.

A las vías de cuatro carriles se les puede construir una mediana o franja separadora central para mejorar la circulación del tránsito e incrementar la seguridad, o se pueden separar por medio de una franja demarcada en el

pavimento. Dispondrán de estacionamientos del lado de los carriles derechos de circulación; las intersecciones serán a nivel, con señales verticales de ALTO y provistas de marcas en el pavimento para el tránsito y cruces peatonales.

Excepcionalmente, en sitios con abundancia de vehículos y peatones, se instalarán semáforos con tiempo prefijado y reserva de luz verde para cruces peatonales.

2.1.3.5 Colectoras Rurales

Este tipo de carreteras generalmente sirve al tránsito con recorridos de menores distancias relativas, que se mueve entre ciudades, pueblos y villas, sirve así mismo como alimentador de las arterias troncales y de las colectoras suburbanas. La velocidad en estas vías es moderada, comparada con las arterias de tránsito mayor. Las colectoras amplían la zona de influencia de la red principal, por cuanto mueven el tránsito que se origina en zonas agrícolas y ganaderas importantes, puertos o embarcaderos, centros de educación con significativo movimiento de estudiantes y áreas industriales. Sus volúmenes de tránsito para diseño se ubican entre los 10,000 y 500 vehículos/día.

La separación del tránsito direccional se hace por medio de marcas en el pavimento; las paradas de autobuses pueden tener bahías o no, dependiendo de los volúmenes del tránsito en cada sitio en particular. Los cruces peatonales se protegen por medio de marcas en el pavimento, tipo cebra. Las intersecciones disponen de señales de ALTO y marcas en el pavimento para el encauzamiento del tránsito y orientación de los peatones.

Un tratamiento superficial asfáltico, doble o triple, que no contribuye a la resistencia estructural del pavimento propuesto, podría utilizarse como superficie de rodamiento apropiada para las carreteras ubicadas en el límite inferior de esta categoría.

La interrogante de qué hacer en caso de que una colectora rural no alcance un volumen de diseño de 500 vpd, debe resolverse con criterio práctico y visión de futuro. En tanto se trate de una carretera reconocida como parte integrante de la red de carreteras regionales, sus estándares de diseño deben ser mejorados a niveles compatibles con su calidad y sus expectativas de largo plazo, para ofrecer la mejor solución que los recursos escasos disponibles admiten.

2.1.4 Pavimentos de Baja Intensidad de Tráfico Vehicular

2.1.4.1 Definición de ESAL

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes de 80 kN o 18 kips, por lo que se les denominará “**Equivalent Simple Axial Load**” o “**ESAL**” (ejes equivalentes).

ESAL, significa el número de repeticiones de ejes estándares equivalentes de diseño a la que va a estar sometida una estructura de pavimento durante su vida útil.

Los ESALs, dependen de varios factores como son:

1. El tipo de pavimento que se va a diseñar (Flexible o Rígido)
2. El número estructural, para pavimentos flexibles, ó el espesor de diseño, para pavimentos rígidos, adoptado para el cálculo de los mismos (ESALs).
3. Las cargas de diseño.
4. En especial, depende de un factor, el cual es el más incidente, como lo es el “**Factor Equivalente de Carga**” (**FEC**), o por su significado en inglés “**Load Equivalency Factor**” (**LEF**), que es un valor numérico que expresa la pérdida de serviciabilidad causada por un tipo de eje y su configuración, con respecto al daño que provoca al pavimento una carga estándar y de eje sencillo de 18 Kips.

El Factor Equivalente de Carga y los ESALs representan simbólicamente lo mismo, la diferencia entre ellos, es que el FEC es aplicable a un eje y los ESALs es la suma de cada uno de los FECs, por eje, del cual consta un vehículo tipo.

2.1.4.2 Definición de Pavimentos de Baja Intensidad de Tráfico

El tráfico en este tipo de caminos está limitado (según la mayoría de metodologías de diseño) a valores máximos de 1 millón de repeticiones de carga equivalente a 8.2 toneladas en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento. Por lo que cualquier camino con valores de ESAL menores o iguales a 1 millón es considerado de baja intensidad de tráfico.³

2.1.4.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición.

Tratándose de un promedio simple, el TPDA no refleja las variaciones extremas que, por el límite superior, pueden llegar a duplicar los volúmenes promedios del tránsito en algunas carreteras, razón por la cual en las estaciones permanentes de registro de volúmenes se deben medir y analizar las fluctuaciones del tránsito a lo largo de los diferentes períodos del año, sean estos semanales, mensuales o estacionales. No obstante, se ha tomado el

³ Fuente: Tercer Congreso Nacional de Vías Terrestres, Ponencia: Pavimentos de Concreto Hidráulico en Vías de Baja Intensidad de Tráfico, Experiencias Rurales en Caminos Rurales Sostenibles, Ing. Carlos Quintanilla, Antigua Guatemala, del 22 al 25 de Noviembre de 2000.

TPDA como un indicador numérico para diseño, tanto por constituir una medida característica de la circulación de vehículos, como por su facilidad de obtención. Constituye así el TPDA un indicador muy valioso de la cantidad de vehículos de diferentes tipos (livianos y pesados) y funciones (transporte de personas y de mercancías), que se sirve de la carretera existente como su tránsito normal y que continuará haciendo uso de dicha carretera una vez sea mejorada o ampliada, o que se estima utilizará la carretera nueva al entrar en servicio para los usuarios.

En algunos tramos de las carreteras rurales de Centroamérica, se registran actualmente volúmenes de tránsito promedio mayores de 20,000 vehículos por día, según se desprende de datos preliminares del nuevo Estudio Centroamericano de Transporte que ejecuta la SIECA.

2.2 Clasificación de los Pavimentos de acuerdo a su composición

2.2.1 Pavimentos Flexibles

2.2.1.1 Definición y Principales Características

Los pavimentos flexibles comprenden en primer lugar, a aquellos que están formados por una serie de capas granulares, rematadas por una capa de rodamiento asfáltica de alta calidad y relativamente delgada, la cual es capaz de acomodarse a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa.



Figura 2.2. Fotografía de un Pavimento Flexible.

En este tipo de pavimentos la calidad de los materiales utilizados en cada una de las capas aumenta conforme nos acercamos a la superficie, de modo de lograr una estructura competente ante las cargas esperadas y que a la vez resulte lo más económica posible.

Su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de la fricción entre las partículas y de la cohesión de las mismas.

La superficie de rodadura de los pavimentos flexibles al tener una menor rigidez que las losas de concreto hidráulico, se deforma más y se producen mayores tensiones en la sub-rasante. En la figura 2.3 se presenta la distribución de esfuerzos que se genera en un pavimento flexible:

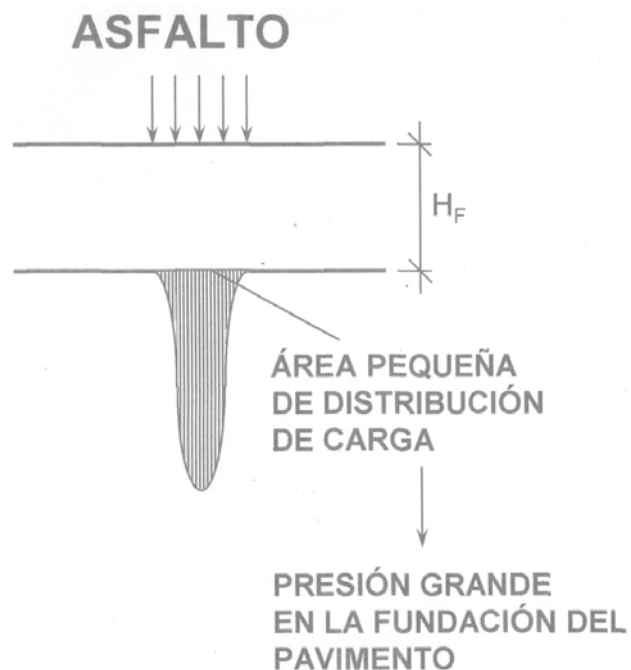


Figura 2.3. Distribución de Cargas en un Pavimento Asfáltico.

2.2.1.2 Composición de los Pavimentos Flexibles

Los elementos principales de una estructura de pavimento flexible son los siguientes (Ver Fig. 2.4):

- Terracería (Sub-rasante).
- Sub-base (No siempre se usa)
- Base.
- Capa de rodamiento
- Sello
- Rasante

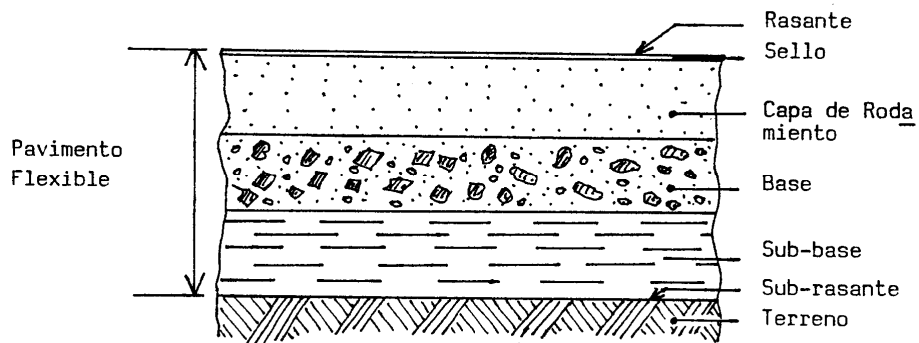


FIGURA 2.4. Esquema básico de la estructura de un pavimento flexible

2.2.1.3 Capa de Rodamiento

2.2.1.3.1 Carpeta Asfáltica

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con un producto asfáltico

(asfalto) y material pétreo seleccionado (agregados) dependiendo del tipo de camino que se va a construir.

2.2.1.3.2. Asfalto

El asfalto es un material termoplástico, el cual es muy complejo desde el punto de vista químico ya que es obtenido como el residuo en el proceso de refinación del petróleo crudo. Esto hace que el control de calidad de este material sea pobre, además de que sea una mezcla muy compleja de estructuras químicas complicadas. Sin embargo, este es un material de suma importancia para la industria de la construcción por sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, y sobre todo por el bajo costo ya que, como mencionamos, es el residuo en el proceso de refinación del petróleo.

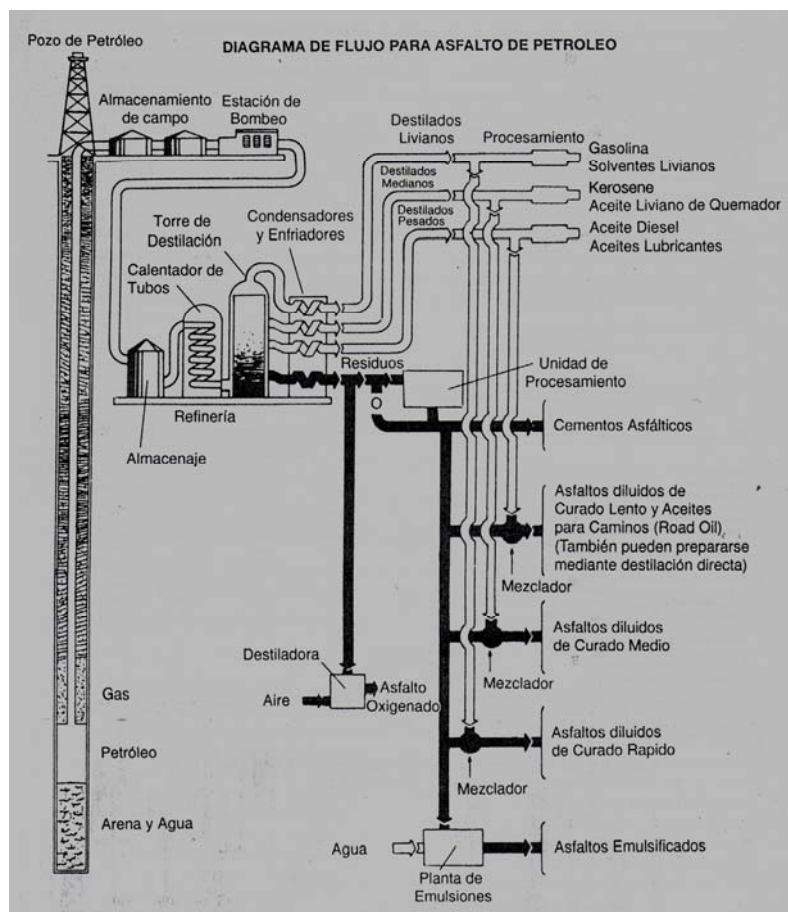


Figura 2.5. Esquema del refinamiento del asfalto.

El asfalto tiene varios nombres como: asfalto o bitumen, nafta-betunes, betún, cemento asfáltico.

Este producto fue conocido alrededor del año 2500 a. C. en Egipto, aunque en esa época no se usaba en la construcción de caminos.

El asfalto tiene una gran variedad de aplicaciones; las que podemos mencionar:

Carpetas asfálticas, adhesivos, sellantes, impermeabilizantes, mastiques, etc. Los volúmenes de uso del asfalto son muy grandes, sobre todo en lo

referente a la fabricación de carpetas asfálticas en donde es, sin duda, el material más importante. El amplio uso del asfalto en la construcción de carreteras es debido, en gran medida, a su bajo costo y a sus propiedades de hidrofobicidad y una relativa resistencia al intemperismo.

El asfalto puede ser descrito como una mezcla compleja de hidrocarburos, por lo que su análisis químico se reporta en términos de dos fracciones principales; la primera se refiere a la fracción pesada, denominada asfaltenos cuyo peso molecular se encuentra entre 4000 y 7000, y la fracción ligera denominada como maltenos con pesos moleculares de 700 a 4000. A su vez la parte malténica puede subdividirse en tres fracciones principales siendo éstas las siguientes: parafinas con pesos moleculares de 600 a 1000, resinas de 1000 a 2000 y aceites aromáticos de 2000 a 4000. Los constituyentes del asfalto interactúan entre sí formando un fluido complejo, el cual exhibe un complicado comportamiento viscoelástico.

El comportamiento del asfalto depende de su composición química, la cual depende a su vez de la fuente de procedencia y del proceso de refinación.

El asfalto es un material anisotrópico, discontinuo e inhomogéneo; este material es considerado como un material coloidal, formado por micelas de tamaños cercanos a la micra (fase asfáltica), las cuales están suspendidas en una fase aceitosa de alta viscosidad (fase malténica).

La micro-estructura del asfalto queda definida por la cantidad de micelas (o sea la fracción de asfaltenos respecto a los maltenos), la distribución de

tamaños de las partículas que forman la fase discreta y por las interacciones físicas y químicas entre ellas. Estas interacciones son las responsables de que el asfalto forme una red tridimensional más o menos desarrollada, la cual determina tanto su naturaleza elástica como viscosa.

El asfalto es muy susceptible a los cambios de temperatura y sufre envejecimiento por intemperismo para largos tiempos de exposición; es también afectado por la oxidación y la foto-degradación. Respecto a sus propiedades mecánicas éstas son muy pobres ya que es quebradizo a bajas temperaturas y fluye a temperaturas un poco arriba de la temperatura ambiente; tiene además una baja recuperación elástica. Todos estos factores limitan ampliamente su rango de utilidad.

Por estas razones este material tiene que ser aditivado o modificado para mejorar substancialmente sus propiedades. Una de las formas de mejorar las propiedades del asfalto es oxidándolo, ya que este procedimiento aumenta su peso molecular y su viscosidad, reduciendo sus propiedades de flujo; sin embargo, estudios diversos han mostrado que la modificación con polímero es preferible si se quieren mejorar substancialmente sus propiedades mecánicas, en especial su recuperación elástica, aunque el costo de este procedimiento es considerablemente mayor.

2.2.1.3.3 Agregados

Agregado conocido también como roca, material granular o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de

partículas graduadas. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso y entre el 75 y el 86 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de la capacidad portante.

Las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes:

a) Un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada, b) deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de *desgaste los Ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad*, c) la forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, recomendamos no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar

antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie, para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem. Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros.

2.2.1.3.4 Clasificación de los Agregados

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas y metamórficas. Esta clasificación está basada en el tipo de formación de cada roca.

A) Rocas sedimentarias

Se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (areniscas o arcillas esquistosas) de residuos de productos animales (algunas calizas) de plantas (carbón) de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal, yeso) o de la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales.

B) Rocas ígneas

Las rocas ígneas constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado. Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas.

Las rocas extrusivas son formadas por el material que ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica alguna actividad geológica similar. Tienen una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmósfera. Ej.: riolita, andesita y basalto.

Las rocas intrusivas, por otro lado, se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y endurece lentamente, permitiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia, la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia; siendo ejemplos el granito, la diorita y el gabro.

C) Rocas metamórficas

Son generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por proceso de intensa presión y calor dentro de la tierra y también por reacciones químicas.

Muchas rocas metamórficas presentan una característica particular: los minerales están alineados en capas o planos paralelos. Las rocas metamórficas de este tipo se denominan foliadas como los gneises,

esquistos (formados de rocas ígneas) y la pizarra (formada de arcilla esquistosa).

No todas las rocas metamórficas son foliadas; por ejemplo: el mármol y la cuarcita.

2.2.1.3.5 Fuentes de los Agregados

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen agregados naturales, agregados procesados y agregados sintéticos o artificiales.

A) Agregados naturales

Son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación tales como la acción del viento, el agua, el movimiento del hielo y los químicos.

Los principales tipos de agregados naturales usados en la construcción de pavimentos son la grava y la arena.

B) Agregados procesados

Son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación

La roca es triturada por tres razones:

- i) Cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa.
- ii) Cambiar la forma de la partícula de redonda a angular.
- iii) Reducir y mejorar la distribución y la graduación de los tamaños de partículas.

C) Agregados sintéticos

Son el producto del procesamiento físico y químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materias primas para ser usados específicamente como agregado.

Se producen al quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada, vidrio volcánico, escoria y otros materiales.

2.2.1.3.6 Clasificación de los Asfaltos

Los asfaltos de pavimentación se pueden clasificar bajo tres tipos generales:

- Cemento asfáltico

Se clasifica en tres sistemas diferentes:

- Viscosidad

La viscosidad se mide en términos de poises, a mayor número de poises, mayor viscosidad poseerá el asfalto.

- Viscosidad después de envejecido

La idea es identificar cuáles serán las características de viscosidad después que se ha colocado el asfalto en el pavimento. Para poder simular el envejecimiento que ocurre en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en el laboratorio usando un ensayo patrón de envejecimiento. El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento es clasificado, posteriormente, de acuerdo a su viscosidad. La unidad de medida es el poise.

- Penetración de asfalto

Una aguja normal se deja penetrar dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que la aguja penetra en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro.

- Asfalto Diluido

Para disolver el cemento asfáltico, se usan solventes de petróleo conocidos también como diluyentes o destilados. Si el solvente para diluir el asfalto es altamente volátil se evapora rápidamente; por el contrario los de baja volatilidad lo hacen más despacio. Por lo tanto, basándose en la velocidad relativa de evaporación, se puede dividir a los asfaltos diluidos en tres tipos:

- Curado rápido (RC: Rapid Curing) cemento asfáltico y un diluyente liviano de alta volatilidad, generalmente con un punto de ebullición de rango similar a la nafta o gasolina.

- Curado medio (MC: Medium Curing) cemento asfáltico y un diluyente mediano de volatilidad media, generalmente en el orden del punto de ebullición del kerosén.
- Curado lento (SC: Slow Curing) cemento asfáltico y aceites de baja volatilidad.
- Asfalto Emulsificado

En el proceso de emulsificación, se separa mecánicamente el cemento asfáltico caliente en glóbulos diminutos, que son dispersados en agua tratada con una pequeña cantidad de agente emulsificante. El agua constituye el medio de dispersión del sistema y las gotitas de asfalto la fase dispersa.

2.2.1.4 Mezclas Asfálticas

Tabla 2.8.

TIPOLOGIA DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS	
TIPO	CARACTERISTICAS
Mezcla Asfáltica en Caliente	Combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y eventualmente, aditivos. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos.
Mezcla Asfáltica en Frio	Mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas. Se caracterizan por su trabajabilidad ya que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias.
Mezcla Porosa o Drenante	Se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5 % y 5 % de la masa de agregados pétreos, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón.
Microaglomerados	Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo limitado inferior a 10 mm, lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor, Tradicionalmente se han considerado adecuados para las zonas urbanas.
Masillas	Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, altas proporciones de asfalto debido a la gran superficie específica materia mineral, se emplean tableros de los puentes y en las vías urbanas, incluso en aceras, de los países con climas fríos y húmedos.
Mezclas de alto módulo	Se elaboran en caliente, se fabrican con asfaltos muy duros, a veces modificados, contienen un 6 % de asfalto de la masa de los agregados pétreos. Se utilizan en capas de espesores de entre 8 y 15 cm., tanto para rehabilitaciones como para la construcción de firmes nuevos con tráfico pesados de intensidad media o alta.

2.2.1.4.1 Mezcla Asfáltica en Caliente.

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos.

2.2.1.4.2 Mezcla Asfáltica en Frío.

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

2.2.1.4.3 Mezcla Porosa o Drenante.

Se emplean en capas de rodadura, principalmente en las vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5 % y 5 % de la masa de agregados pétreos, con asfaltos normales, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón.

Utilizadas como mezclas en caliente para tráficos de elevada intensidad y como capas de rodadura en espesores de unos 4.00 cm, se consigue que el agua lluvia caída sobre la calzada se evacue rápidamente por infiltración.

2.2.1.4.4 Microaglomerados.

Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo limitado inferior a 10 mm, lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor. Tanto los microaglomerados en Frío (se le suele llamar a las lechadas asfálticas más gruesas) como los microaglomerados en Caliente son por su pequeño espesor (que es inferior a 3.00 cm) tratamientos superficiales con una gran variedad de aplicaciones.

Tradicionalmente se han considerado adecuados para las zonas urbanas, porque se evitan problemas con las alturas libres de los gálibos y la altura de los bordillos debido a que se extienden capas de pequeño espesor. Hay microaglomerados con texturas rugosas hechas con agregados pétreos de gran calidad y asfaltos modificados, para las vías de alta velocidad de circulación.

2.2.1.4.5 Masillas.

Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de manera que si hay agregado grueso, se haya disperso en la masilla formada por aquellos, este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y

su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad a los cambios de temperatura que puede tener una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su susceptibilidad térmica mediante el empleo de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral y mejorando el ligante con adiciones de fibras. Los asfaltos fundidos, son de este tipo, son mezclas de gran calidad, pero su empleo está justificado únicamente en los tableros de los puentes y en las vías urbanas, incluso en aceras, de los países con climas fríos y húmedos.

2.2.1.4.6 Mezclas de alto módulo.

Su proceso de elaboración es en caliente, citando específicamente las mezclas de alto módulo para capas de base, se fabrican con asfaltos muy duros. A veces modificados, con contenidos asfálticos próximos al 6 % de la masa de los agregados pétreos, la proporción del polvo mineral también es alta, entre el 8% - 10%. Son mezclas con un elevado módulo de elasticidad, del orden de los 13,000 MPa a 20°C y una resistencia a la fatiga relativamente elevada. Se utilizan en capas de espesores de entre 8.00 y 15.00 cm, tanto para rehabilitaciones como para la construcción de firmes nuevos con tráficos pesados de intensidad media o alta. Su principal ventaja frente a las bases de

gravacemento es la ausencia de agrietamiento debido a la retracción o como las mezclas convencionales en gran espesor la ventaja es una mayor capacidad de absorción de tensiones y en general una mayor resistencia a la fatiga, permitiendo ahorrar espesor.

2.2.1.5 Emulsión Asfáltica.

2.2.1.5.1 Las Emulsiones

Tabla 2.9. Cuadro Resumen.

CLASIFICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS	
De acuerdo al tipo de emulgente usado	
Emulsiones Aniónicas	En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad negativa a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga negativa. Asimismo, las emulsiones aniónicas se clasifican como RS, MS y SS.
Emulsiones Catiónicas	En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva.
De acuerdo a la estabilidad de las emulsiones asfálticas	
De Rompimiento Rápido	Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (Con excepción de la emulsión conocida como ECR-60), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.
De Rompimiento Medio	Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.
De Rompimiento Lento	Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
Para Impregnación	Estas se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas
Super Estables	Estas se emplean en la estabilización de materiales y en la recuperación de pavimentos.
Dependiendo de la rapidez del quiebre	
CRS	Emulsión catiónica de quiebre rápido
CMS	Emulsión catiónica de quiebre medio
CSS	Emulsión catiónica de quiebre lento
CQS	Emulsión catiónica de quiebre controlado

CLASIFICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS (Cont.)	
Dependiendo de la rapidez del quiebre (Cont.)	
	Las emulsiones comúnmente usadas son: CRS-1, CRS-2, RS-1, CMS-2, CMS-2h, CSS-1, CSS-1h, SS-1, SS-1h y CQS-1h. Los números 1 y 2 indican menor o mayor grado de viscosidad respectivamente y la letra h un residuo asfáltico duro.

Podemos definir una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). Esto puede apreciarse en la Figura 2.6, en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión.

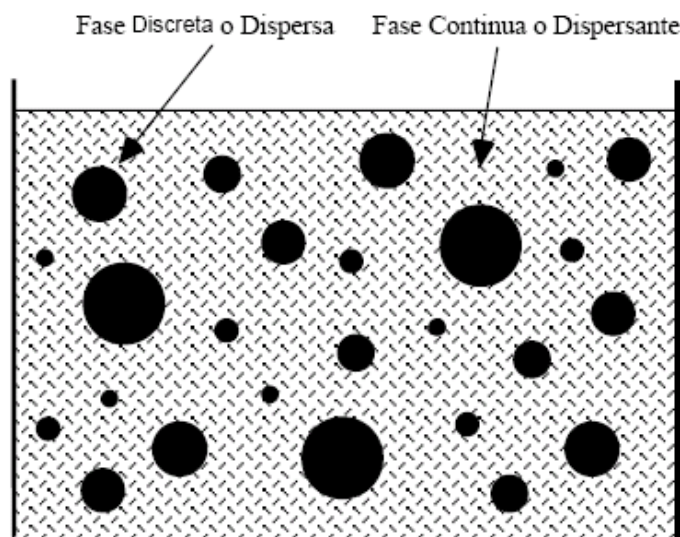


Fig. 2.6. Diagrama Esquemático de una Emulsión.

2.2.1.5.2 Los Emulsificantes

Los emulsificantes son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado (entre 100 y 300); tienen una parte hidrofóbica (generalmente es una cadena hidrocarbonada ya sea lineal o cíclica) que es soluble en el medio orgánico (en nuestro caso en el asfalto) y una parte hidrofílica (generalmente es un grupo polar de tipo orgánico o inorgánico), soluble en el medio acuoso.

Los emulsificantes están compuestos generalmente por un radical alquilo R el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico, que se encuentran saponificados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante. En la figura 2.7 se muestra una representación pictórica de la emulsión aniónica y la catiónica.

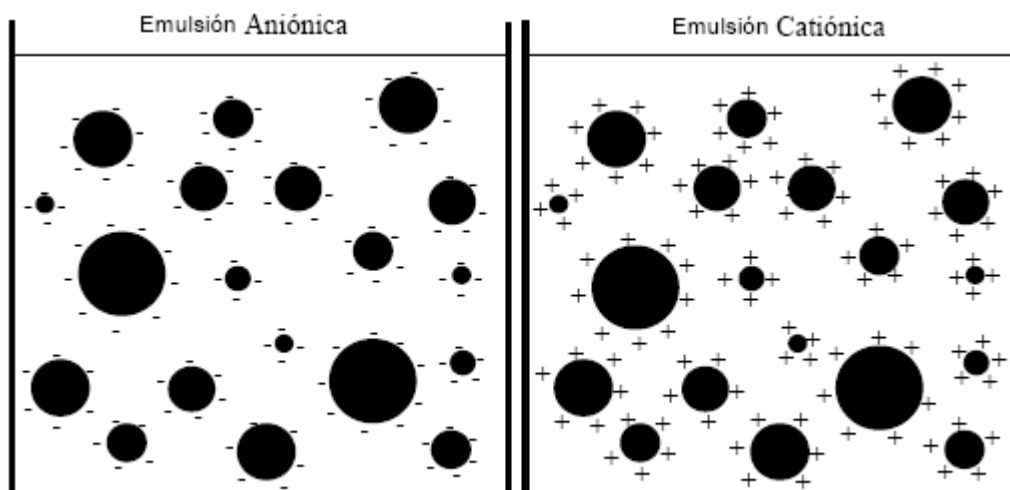


Fig. 2.7. Representación Esquemática de una Emulsión Catiónica y una Emulsión Aniónica.

2.2.1.5.3 Tipos de Emulsiones Asfálticas

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo al tipo de emulgente usado. En este caso podemos hablar de dos tipos, aniónicas y catiónicas:

- Emulsiones Aniónicas:

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad negativa a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga negativa.

- Emulsiones Catiónicas:

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva.

Respecto a la estabilidad de las emulsiones asfálticas, éstas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- De Rompimiento Rápido:

Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (Con excepción de la emulsión conocida como ECR-60), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.

- De Rompimiento Medio:

Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, re-nivelaciones y sobre-carpetas.

- De Rompimiento Lento:

Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.

- Para Impregnación:

Estas se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas.

- Super Estables:

Estas se emplean en la estabilización de materiales y en la recuperación de pavimentos.

Dependiendo de la rapidez del quiebre, las emulsiones se clasifican en:

- **CRS:**

Emulsión catiónica de quiebre rápido

- **CMS:**

Emulsión catiónica de quiebre medio

- **CSS:**

Emulsión catiónica de quiebre lento

- **CQS:**

Emulsión catiónica de quiebre controlado

Asimismo, las emulsiones aniónicas se clasifican como RS, MS y SS. Según el contenido de asfalto en la emulsión, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se muestra en la Tabla 2.10.

Las emulsiones comúnmente usadas son: CRS-1, CRS-2, RS-1, CMS-2, CMS-2h, CSS-1, CSS-1h, SS-1, SS-1h y CQS-1h. Los números 1 y 2 indican

menor o mayor grado de viscosidad respectivamente y la letra h un residuo asfáltico duro.

Tabla 2.10. Clasificación de las Emulsiones Asfálticas. (Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte)

CLASIFICACION	Contenido de asfalto	Tipo de rompimiento	Polaridad
EAR- 55	55	Rápido	Aniónica
EAR-60	60	Rápido	Aniónica
EAM-60	60	Medio	Aniónica
EAM-65	65	Medio	Aniónica
EAL-55	55	Lento	Aniónica
EAL-60	60	Lento	Aniónica
EAI-60	60	Para impregnación	Aniónica
ECR-60	60	Rápido	Catiónica
ECR-65	65	Rápido	Catiónica
ECR-70	70	Rápido	Catiónica
ECM-65	65	Medio	Catiónica
ECL-65	65	Lento	Catiónica
ECI-65	65	Para impregnación	Catiónica
ECS-60	60	Sobrestabilizada	Catiónica

2.2.1.5.4 Generalidades de las Emulsiones Asfálticas

Las emulsiones asfálticas están compuestas por una dispersión de asfalto en agua, agentes emulsificantes y aditivos (Figura 2.8).

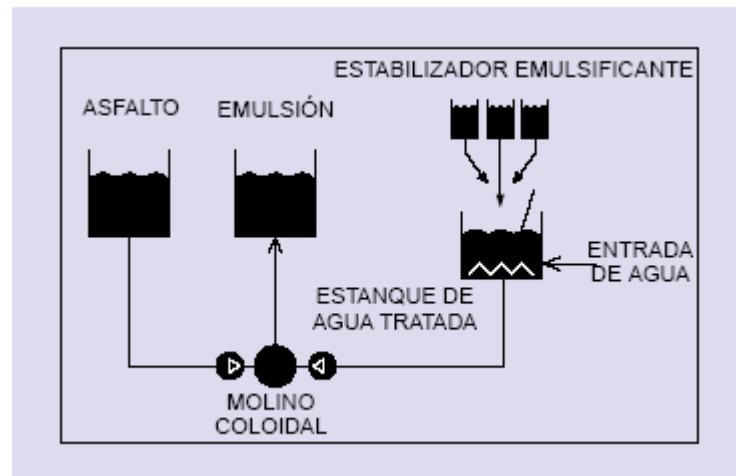


Figura 2.8. Planta de Emulsiones.

Sus características están dadas por el uso de los distintos tipos de emulsificantes y aditivos. De acuerdo a su carga iónica, se clasifican en catiónicas, -utilizadas preferentemente en pavimentación- y aniónicas, habitualmente en aplicaciones industriales, y en menor grado en pavimentación. Para aplicaciones especiales se fabrican emulsiones que no poseen carga iónica definida.

El quiebre de la emulsión (Figura 2.9), consiste en la separación del agua del asfalto en presencia de los áridos; el curado de la emulsión, etapa posterior al quiebre, es el tiempo requerido para que el sistema asfalto-árido esté apto para su uso.

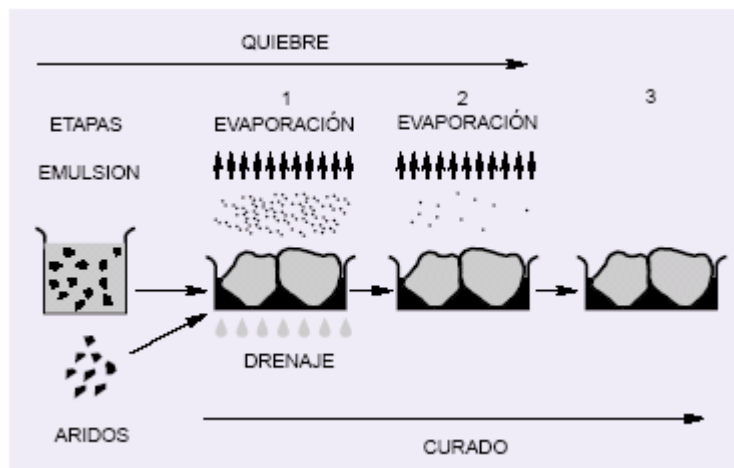


Figura 2.9. Quiebre de una Emulsión.

2.2.1.5.5 Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas

Cuando se usan emulsiones asfálticas, es necesario tener control sobre la estabilidad de la emulsión, o sea, se tiene que poder controlar el rompimiento de la misma. Pasado un tiempo determinado, el cual depende de la situación en particular que se esté trabajando, las emulsiones tienen que desestabilizarse para que el asfalto se deposite como una capa sobre el material pétreo.

Este fenómeno de rompimiento o ruptura de la emulsión ocurre debido a la carga eléctrica que tiene el material pétreo. La carga que tiene el material pétreo neutraliza la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, permitiendo que se acerquen unas a otras para formar agregados de gran tamaño; estos agregados son los que se depositan sobre el material pétreo formando una capa asfáltica.

Durante este proceso el agua es eliminada del sistema asfalto-pétreo. En el proceso de desestabilización, la emulsión como va perdiendo agua, pasa por una emulsión inversa en donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta, o sea que se forman pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, las cuales posteriormente, cuando se deposita la capa de asfalto, son eliminadas.

En general, los factores que influyen en la ruptura de la emulsión aniónica son la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo. La ruptura de la emulsión catiónica se produce por la absorción de la parte polar del emulgente por los agregados, provocando la ruptura de la emulsión y haciendo que las partículas del asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad.

En la figura 2.10 podemos observar el proceso de ruptura de una emulsión en tres pasos: primero se observa la emulsión, enseguida cuando se inicia el rompimiento y después cuando se produce la ruptura completa y queda el material pétreo cubierto por el asfalto.

La forma de rompimiento de las emulsiones asfálticas catiónicas, en la mayoría de los casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa del agregado pétreo; adicionalmente permite proseguir los trabajos de asfaltado en regiones con climas húmedos o durante

una temporada de lluvias, garantizando la apertura de caminos al tránsito en un corto período de tiempo.

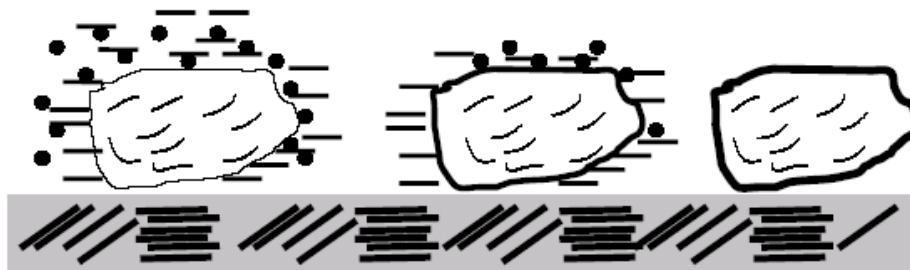


Figura 2.10. Ruptura de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo.

2.2.1.5.6 Transporte y Almacenamiento

El transporte de las emulsiones asfálticas para obras de gran envergadura, se efectúa en camiones estanque y para trabajos menores se utilizan tambores.

Para las operaciones de carga y descarga, es necesario verificar si los estanques están suficientemente limpios, a fin de eliminar cualquier grado de contaminación. No deben mezclarse con productos como asfaltos cortados, pues éstos cambian sensiblemente las propiedades del residuo. Del mismo modo, no deben mezclarse emulsiones de distintos grados o polaridad, como tampoco de diferentes proveedores.

2.2.2 Pavimentos Rígidos

2.2.2.1 Definición y Principales Características.

Comúnmente se emplea el término “pavimento rígido” para las superficies de rodamiento construidas con concreto de cemento Portland. Se supone que un pavimento construido con concreto hidráulico posee una considerable resistencia a la flexión, lo cual le permitirá trabajar como una viga tendiendo un puente sobre las pequeñas irregularidades de la sub-base o terracería sobre la cual descansa.

Los pavimentos rígidos, son losas de concreto, con o sin refuerzo de acero, que se colocan sobre la sub-rasante directamente, o sobre una sub-base granular o una sub-base de suelo cemento. Estas losas de concreto constituyen el elemento más importante del pavimento, para resistir los efectos abrasivos del tráfico, proporcionando una superficie de rodamiento adecuada e impermeabilizando la parte interior del pavimento.



Figura 2.11. Fotografía de la Construcción de un Pavimento Rígido.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante. A continuación se presenta la distribución de esfuerzos en un pavimento rígido (Figura 2.12):

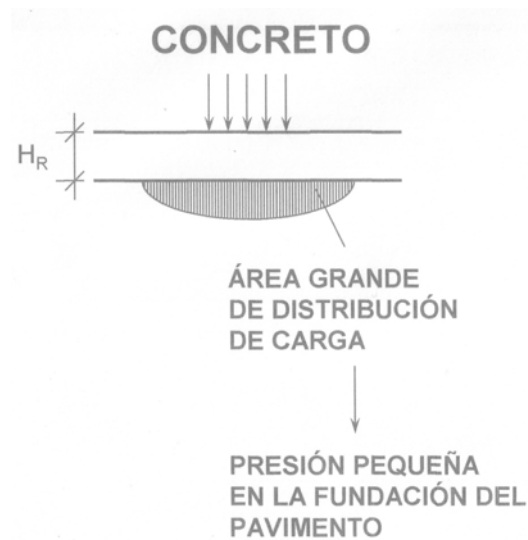


Figura 2.12. Distribución de Esfuerzos en un Pavimento Rígido.

2.2.2.2 Composición de los Pavimentos Rígidos

Los pavimentos rígidos, son losas de concreto, con o sin refuerzo de acero, que se colocan sobre la sub-rasante directamente, o sobre una sub-base granular o una sub-base de suelo cemento. Estas losas de concreto constituyen el elemento más importante del pavimento, para resistir los efectos abrasivos del tráfico, proporcionando una superficie de rodamiento adecuada e impermeabilizando la parte interior del pavimento. En la figura 2.13, se presenta el esquema de composición de un pavimento rígido:

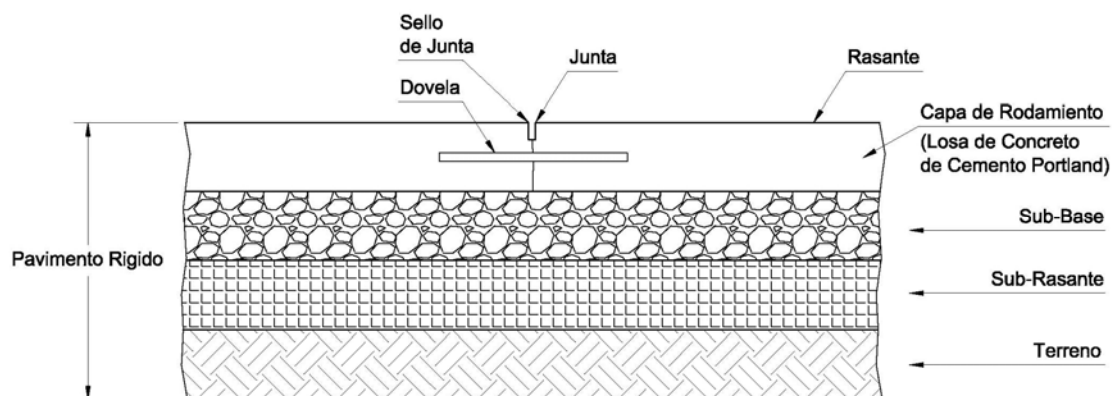


FIG 2.13. Esquema básico de la estructura de un Pavimento Rígido.

2.2.2.3. Tipos de Pavimentos de Concreto Hidráulico.

Los diversos tipos de pavimentos de concreto pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor costo inicial, de la siguiente manera:

- A. Pavimentos de concreto simple.*
 - A.1 Sin elementos de transferencia de carga.*
 - A.2 Con elementos de transferencia de carga.*
- B. Pavimentos de concreto con refuerzo de acero y elementos de transferencia de carga.*
 - B.1 Con refuerzo de acero no estructural. (Refuerzo secundario)*
 - B.2 Con refuerzo de acero estructural.*
- C. Pavimentos con refuerzo continuo.*
- D. Pavimentos de concreto pretensado o postensado.*
- E. Pavimentos de concreto reforzado con fibras.*

A) Pavimentos de concreto simple.

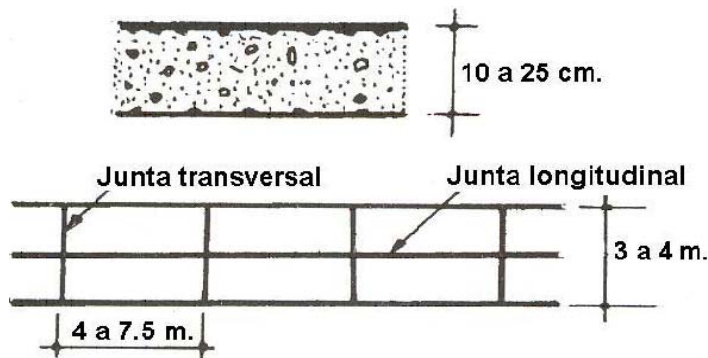


Figura 2.14. Pavimentos de Concreto Simple

De acuerdo a su definición, son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas. En ellos, el concreto asume y resiste tensiones producidas por el tránsito y el entorno, como las variaciones de temperatura y humedad.

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan sobre la sub-rasante. En condiciones más severas requiere de sub-bases tratadas con cemento, colocadas entre la sub-rasante y la losa, para aumentar la capacidad de soporte y mejorar la transmisión de carga.

Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m. de largo y 3.50 m. de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. En calles de urbanizaciones residenciales de 10.00 y 15.00 cm, en las denominadas colectoras entre 15.00 y 17.00 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16.00 cm. En aeropistas y autopistas más solicitadas de 20.00 cm o más.

B) Pavimentos de concreto con refuerzo de acero y elementos de transferencia de carga.

Los elementos de transferencia de carga –pasadores– son pequeñas barras de acero, que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamiento).

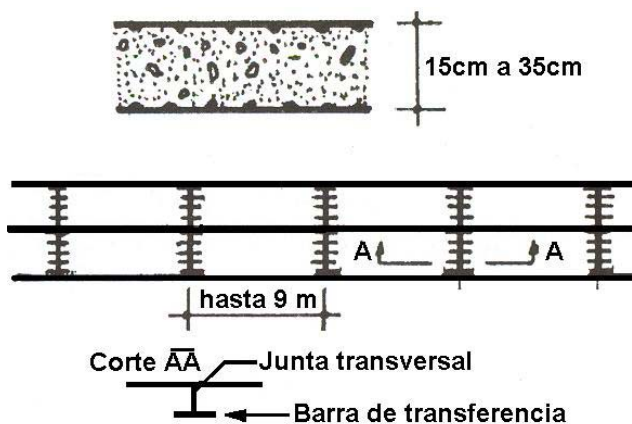


Fig. 2.15. Pavimentos de Concreto Simple, con Pasadores.

Este tipo de pavimento es recomendable para tráfico diario que exceda 500 ejes equivalentes a 8.2 Ton con espesores de 15.00 cm o más.

Un método para decidir el empleo de elementos de traspaso de cargas es evaluar las dos alternativas, comparando en un caso el costo de incluir una sub base tratada y también los costos de las juntas con y sin pasadores.

B.1) Pavimentos de Concreto con Refuerzo de Acero no Estructural

Pavimentos que tienen el refuerzo de acero en el tercio superior de la sección transversal, generalmente a no menos de 5.00 cm bajo la superficie. El refuerzo no cumple función estructural y su finalidad es resistir las tensiones de contracción del concreto en estado joven y controlar los agrietamientos.

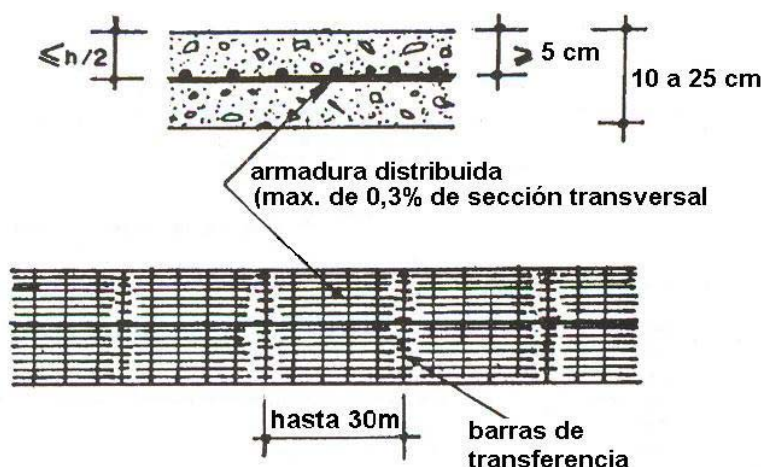


Fig. 2.16. Pavimentos de Concreto con Refuerzo de Acero no Estructural.

Reduciendo la cantidad de juntas que constituyen un factor de debilitamiento de la calzada de concreto, es posible diseñar losas de mayor longitud que en los pavimentos sin refuerzo con el uso de pasadores. Con este diseño se han logrado losas de 9.00 y 12.00 m de largo entre juntas transversales de contracción.

La sección máxima de acero es de 0.3% de la sección transversal del pavimento.

El uso de este tipo de pavimentos es restringido y mayormente se aplica en pisos industriales.

B.2.) Pavimentos de Concreto con Refuerzo de Acero Estructural

En estos pavimentos el refuerzo de acero asume tensiones de tracción y compresión. De esta manera, es posible reducir el espesor de la losa, hasta 10.00 ó 12.00 cm. Se aplica en pisos industriales, donde las losas deben resistir cargas de gran magnitud.

Las dimensiones de las losas son similares a los tipos anteriores, pues el acero no atraviesa la junta transversal para evitar la aparición de fisuras.

En las juntas longitudinales que el refuerzo pasa la junta, generalmente aparecen fisuras. En principio, cuanto mayor es el tamaño de la losa mayor es el riesgo de fisuras.

C) Pavimento de Concreto con Refuerzo de Acero Continuo

En este tipo de pavimento el refuerzo asume todas las deformaciones y específicamente las de temperatura, por lo cual se eliminan las juntas de contracción, quedando únicamente las juntas de construcción y de dilatación en la vecindad de alguna obra de arte.

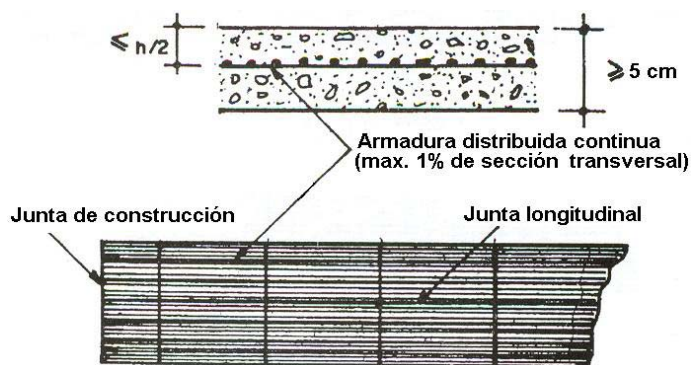


Fig. 2.17. Pavimento de Concreto con Refuerzo de Acero Continuo.

La fisuración es controlada por una armadura continua en el medio de la calzada, diseñada para admitir una fina red de fisuras que no comprometan el buen comportamiento del pavimento.

Esta técnica se ha extendido con éxito desde 1960 en los Estados Unidos y si bien exige una apropiada tecnología constructiva, no requiere de mayor conservación, manifestando poca sensibilidad a las fallas de la base.

La cantidad máxima de acero es 1.5% de la sección transversal. Se utiliza generalmente en zonas de clima frío. También en los recubrimientos sobre pavimentos deteriorados de concreto y asfalto.

El espesor de este tipo de pavimento tiene un cálculo especial, que se especifica en las normas AASHTO y PCA.

D) Pavimentos de Concreto Pretensado

El desarrollo de los pavimentos de concreto pretensado es limitado, habiéndose aplicado principalmente en aeropuertos, como sucedió en la primera experiencia en el aeropuerto de Orly (París), realizado por Freyssinet en 1948 y posteriormente el aeropuerto de Río de Janeiro.

La aplicación del pretensado en pavimentación ofrece numerosas ventajas en el análisis teórico, pero su ejecución presenta algunos problemas, especialmente en el modo de aplicar el pretensado y su posterior mantenimiento.

En el diseño se trata de compensar el costo del pretensado la disminución del espesor del pavimento. También se ha utilizado cuando no se cuenta con agregados en sitio.

E) Pavimentos de Concreto Reforzado con Fibras

Pavimentos que incorporan fibras metálicas a la mezcla de concreto, o de polipropileno, carbón, etc. Aplicadas como refuerzo secundario, pero se postula que las fibras tienen efectos refuerzo principal.

Esta tecnología que data de los años 70, se ha desarrollado con éxito para casos específicos, como pavimento de aeropuertos y sobre capas delgadas de refuerzo. Compiten difícilmente con las técnicas usuales, a pesar de su buen comportamiento mecánico, por su mayor costo y los cuidados requeridos durante la construcción.

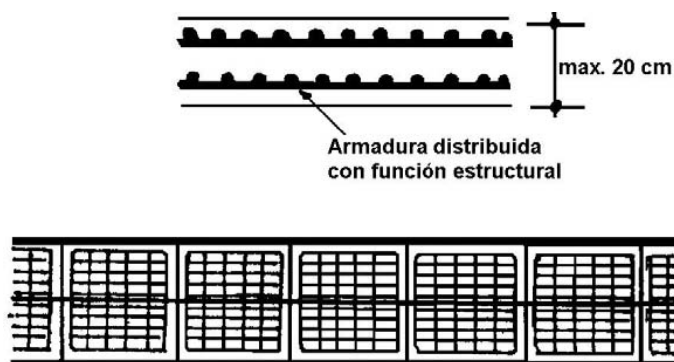


Fig. 2.18.a. Pavimentos de Concreto Reforzado con Fibras.



Fig. 2.18.b. Fibras Metálicas que son utilizadas en el Concreto Reforzado.



Fig. 2.18.c. Fibras Metálicas que son utilizadas en el Concreto Reforzado.



Fig. 2.18.d. Adición de Fibras de Polipropileno que son utilizadas en el Concreto Reforzado.

2.2.2.4. Carpeta de Rodadura.

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

Además de cumplir con resistir los esfuerzos normales y tangenciales transmitidos por los neumáticos y su constitución estructural, bien construida (Gran Resistencia a la Flexo-Tracción, a la Fatiga y elevado Modulo de Elasticidad), debe tener el espesor suficiente que permita introducir en los casos más desfavorables solo depresiones débiles a nivel del suelo del terreno de fundación y cada nivel estructural apto para resistir los esfuerzos a los que está sometido. Debe cumplir con satisfacer también las **características principales** del Pavimento de Concreto Hidráulico (**PCH**):

- Estar previstas para un período de servicio largo y,
- Prever un bajo mantenimiento.

Los **materiales que forman el concreto hidráulico** son:

- Cemento Pórtland.
- Agregados gruesos.
- Agregados finos.
- Agua.
- Aditivos.

2.2.2.4.1 El Cemento Pórtland.

Los cementos hidráulicos deben ajustarse a las Normas AASHTO M-85 para los Cementos Portland y a las normas AASHTO M-240, para Cementos Hidráulicos Mezclados.

Además, se debe indicar su resistencia a la compresión en MPa o en lbs/pulg², según sea el caso, 21, 28, 35 y 42 MPa (3,000, 4,000, 5,000 y 6,000 lb/pulg²), que corresponde a una resistencia mínima a 28 días. Cuando no se especifique el cemento a usar, éstos deberán tener una clase de resistencia de 28 MPa (4,000 lb/pulg²) o mayor.

A) TIPOS DE CEMENTO

En El Salvador existen 8 tipos de cemento pero para el caso sólo se detallarán tres tipos que son los que interesan para el tema: Cemento Tipo I, Cemento para Pavimentación Tipo HE, Cemento Pórtland Tipo I (P).

Cemento Tipo I

Para uso industrial, es un cemento hidráulico sin adiciones, es decir que está compuesto únicamente de clinker mezclado con un pequeño porcentaje de yeso en la molienda final. El yeso se utiliza como regulador del fraguado, ya que sin él, los concretos y morteros fraguarían excesivamente rápido y no podrían trabajarse.

Este cemento desarrolla resistencias a los 28 días arriba de 5000 psi, lo cual lo hace ideal cuando se requiere de estructuras con altas resistencias que serán sometidas a grandes cargas.

Es fabricado con base en la norma ASTM C-150.

Características del Cemento Tipo I

Debido a las altas resistencias del cemento Tipo I, éste es ideal para ser utilizado en concretos estructurales para la construcción de grandes obras, tales como: puentes, pasos a desnivel, edificios, elementos de concreto pre y postensado, etc.

De igual forma, debido al desarrollo de altas resistencias a la compresión a edades tempranas, es utilizado para la fabricación de productos de concreto, tales como: bloques, tubos, pilas, adoquines y otros prefabricados.

Cemento para Pavimentación Tipo HE

El Cemento Tipo HE es un cemento hidráulico por desempeño, el cual posee la misma composición química del cemento Tipo I, pero con la adición de puzolana y filler en proporciones específicas en la molienda final

Este cemento alcanza resistencias mayores a los 4200 psi a los 28 días, por lo que es recomendado para la fabricación de concretos estructurales para pavimentos.

Es fabricado con base en la norma ASTM C-1157

Características Cemento para Pavimentación Tipo HE

Debido a sus características de alta resistencia inicial, este cemento es principalmente adecuado para la construcción de pavimentos de concreto, estabilización de suelos y bases granulares.

Cemento Tipo I (P)

Para uso General, el cemento Tipo I (P) es un cemento hidráulico puzolánico, el cual posee la misma composición del cemento Tipo I, pero con la adición de puzolana en proporciones específicas en la molienda final. La puzolana es una ceniza volcánica que se encuentra como un polvo muy fino en bancos o depósitos naturales. Esta tiene que cumplir los requisitos de reaccionar químicamente con el clinker, de forma tal, que debido a la reacción química óxido de calcio-puzolana, la resistencia de los cementos continúa incrementándose a lo largo del tiempo.

Este cemento alcanza resistencias mayores a los 4000 psi a los 28 días, por lo que es recomendado para cualquier tipo de uso en las construcciones en general.

Es fabricado con base en la norma ASTM C-595.

Características del Cemento Tipo I (P)

Debido a sus características de alta resistencia a la compresión y resistencia química aguas y suelos ligeramente agresivos, así como un menor calor de hidratación que el Tipo I, este cemento puede ser utilizado en todo tipo de construcciones, sobre todo en aquellas que no requieren de altas resistencias a edades tempranas.

B) COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO

Son necesarios 1560 Kg. de crudo para obtener 1000 Kg. de clinker. Una composición típica del clinker es: Los gases resultantes del proceso de

combustión se emiten a la atmósfera a través de una chimenea a una temperatura inferior a 120°C, después de haber sido previamente filtrados a través de filtros electrostáticos o de mangas que retienen más del 99,9% del polvo arrastrado. El calor contenido en los gases de salida es reutilizado en el proceso de secado y molienda del crudo y de los combustibles. Es un polvo fino que se obtiene moliendo la escoria de una mezcla de arcilla y piedra caliza calcinada a elevadas temperaturas. El cemento mezclado con el agua, arena y grava origina el hormigón. Los cementos artificiales se clasifican en cemento Pórtland y cemento aluminoso. El proceso Pórtland: Los materiales utilizados para la fabricación de la escoria son la piedra caliza, y la arcilla, se muelen en seco (proceso seco), o con agua (proceso húmedo). La mezcla pulverizada se calcina en hornos a una temperatura que va de 1.400 °C, la escoria se enfría rápidamente para evitar la transformación del silicato tricálcico, principal componente del cemento Pórtland, en silicato bicálcico y óxido de calcio. Las masas de escoria enfriada se mezclan con yeso y otros varios aditivos (sales de naftaleno sulfonado y formaldehído, que controlan el tiempo de fraguado y otras propiedades) y por último la escoria se tritura en un molino, se criba y almacena. La composición química del cemento Pórtland es:

64% en CaO (Óxido cálcico)

6% en Al₂O₃ (Óxido de aluminio)

20% en SiO₂ (Dióxido de Silicio)

3% en Fe₂O₃ (Trióxido de Hierro)

7% Otros elementos

Durante el proceso de quemado de horno de cemento se eliminan a la atmósfera partículas formada por metales pesados, cromo, arsénico, dioxinas, y otros contaminantes.

Un kilogramo de polvo normal de cemento contiene de 5 a 10 mg de cromo hidrosoluble. El cromo tiene su origen en la materia prima y en el proceso de producción. La adición de sulfato ferroso (FeSO_4) al cemento evita la sensibilización (La dermatitis alérgica por contacto es crónica e induce fatiga) al cromato entre los trabajadores de la construcción (el ion ferroso reduce el cromo hexavalente a cromo trivalente). Las materias primas empleadas para la fabricación del cemento en general no contienen cromo, se ha indicado como posibles fuentes del cromo en el cemento las siguientes: la roca volcánica, la abrasión del revestimiento refractario del horno, las bolas de acero utilizadas en los molinos de pulverización y las diferentes herramientas empleadas para machacar y moler las materias primas y la escoria.

C) Agregados finos para el Cemento Portland

Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, de acuerdo a AASHTO M 6, clase B.

D) Agregados gruesos para el Cemento Portland

Deben consistir en gravas o piedras trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, de acuerdo con AASHTO M 80.

2.2.2.4.2 Agregados

Los agregados gruesos, consisten en una grava o combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas predominantes sean mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm o de 38 mm.

Agregados finos, comúnmente consiste en arena natural (de ríos o minas) o piedra triturada siendo la mayoría de partículas menores que 5 mm.

2.2.2.4.3 Agua

El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero (Norma ASTM C-125). El agua de mar o salóbregas y de pantanos, no deben usarse para concreto hidráulico.

El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable, puede usarse sin ensayos previos.

En donde el lugar de abastecimiento sea poco profundo, la toma debe hacerse de forma que excluya sedimentos, toda hierba y otras materias perjudiciales.

2.2.2.4.5 Aditivos

Aditivos, es un material distinto del agua, de los agregados, y del cemento hidráulico que se emplea como componente del concreto o mortero y que se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado.

El uso de aditivos para concreto, tiene por objeto mantener y mejorar esencialmente la composición y rendimiento del concreto de la mezcla básica.

- **Ceniza Volante:** Se ha usado ceniza volante para mezclas del sistema de pavimentos de concreto de apertura rápida, pero generalmente como un aditivo y no como sustituto del cemento Portland y debe cumplir con lo estipulado en AASHTO M-295.

- **Aditivos Químicos:** Son aquellos que sin cambiar las características naturales del concreto hidráulico para pavimentos, ayudan en los diferentes procesos de construcción, siendo estos: inclusores de aire según AASHTO M-159, reductores de agua según AASHTO M-194, acelerantes y descelerantes de fraguado según AASHTO M-194.

2.2.2.4.6 Terreno de Fundación - Cimiento

Si la calidad del Terreno de Fundación es buena, de granulometría uniforme de tipo granular, y que evite el fenómeno del Bombeo (Pumping), la losa de concreto se puede colocar directamente sobre ella y no requiere cimentación.

Pero, generalmente, es difícil encontrar Terrenos de Fundación apropiados, por lo que, se hace necesario colocar el cimiento, que consiste en una o más capas de materiales granulares que cumplan las siguientes características:

- Proporcionar apoyo uniforme a la losa de Concreto.
- Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo.

- Reducir al mínimo las consecuencias de los cambios de volumen del Terreno de Fundación.
- Reducir al mínimo las consecuencias de la congelación en las secciones de las diferentes capas o la capa superior del Terreno de Fundación.
- Recibir y resistir las cargas de tránsito que se transmiten a través de la base de la losa de concreto.
- Transmitir estas cargas, adecuadamente; distribuyéndolas a las diferentes capas del Pavimento.
- Finalmente, evitar el fenómeno de bombeo (Pumping)

2.2.2.4.7 Juntas

Los efectos de retracción y de gradientes térmicos en las losas de concreto producen, inevitablemente (excepto en el pretensado), fisuramiento, que sólo podemos controlar o dirigir, precisamente, por medio de líneas de roturas impuestas, llamadas juntas. Se distinguen 4 tipos de Juntas:

- ***De Dilatación***
- ***De Construcción Longitudinal***
- ***De Retracción - Flexión***
- ***De Construcción Transversal***

A) Junta de Dilatación

De 20 a 30 mm (típico: 25 mm) Son juntas transversales ó longitudinales (pavimentos de vía ancha) que permitirán el movimiento de las losas, a través de un material compresible intermedio, si estas se dilatan por efecto de la temperatura, evitando los desplazamientos no deseables.

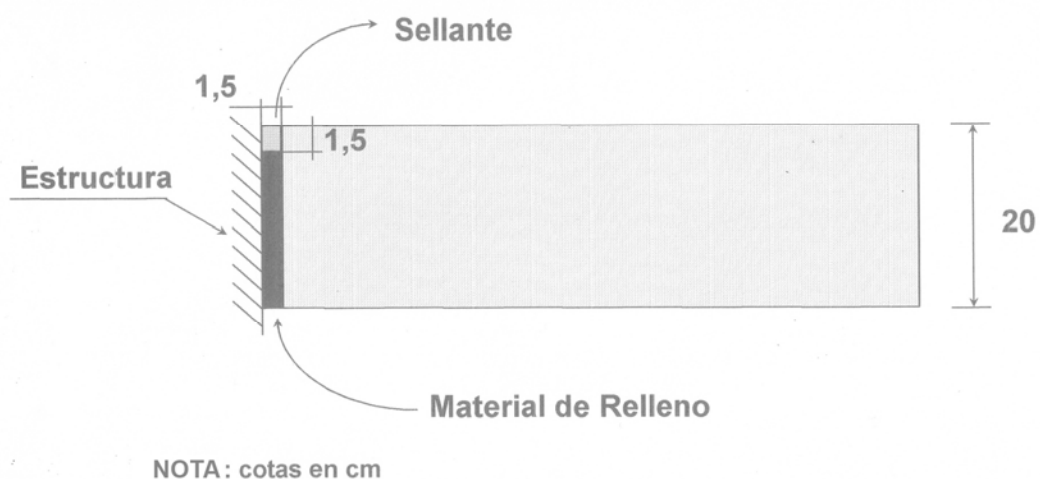
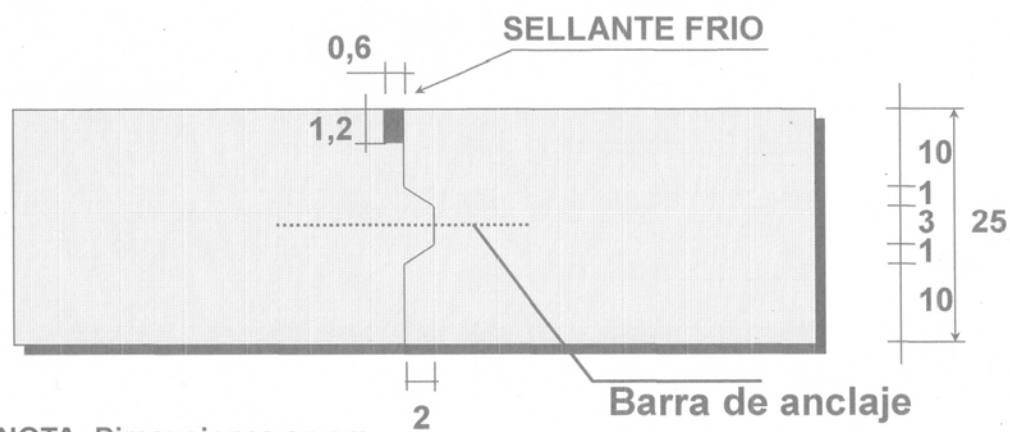


Fig. 2.19. Junta de Dilatación.

B) Junta de Construcción Longitudinal

Resultan del sistema constructivo del pavimento, mediante bandas de ancho fijo.



NOTA: Dimensiones en cm
 Junta machiembada opcional en pavimentos
 de más de 25 cm cotas en cm

Figura 2.20. Junta longitudinal de Construcción.

C) Junta de Retracción - Flexión

De 3 a 9 mm de ancho. Son juntas transversales ó longitudinales constituidas por una ranura en la parte superior de las losas. Pueden ser aserradas o construidas en fresco.

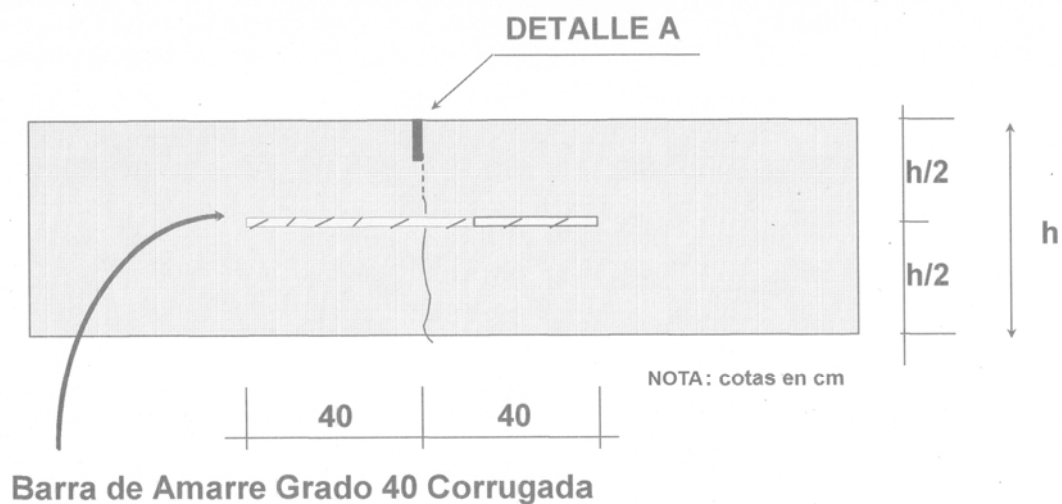


Figura 2.21. Junta longitudinal de Contracción.

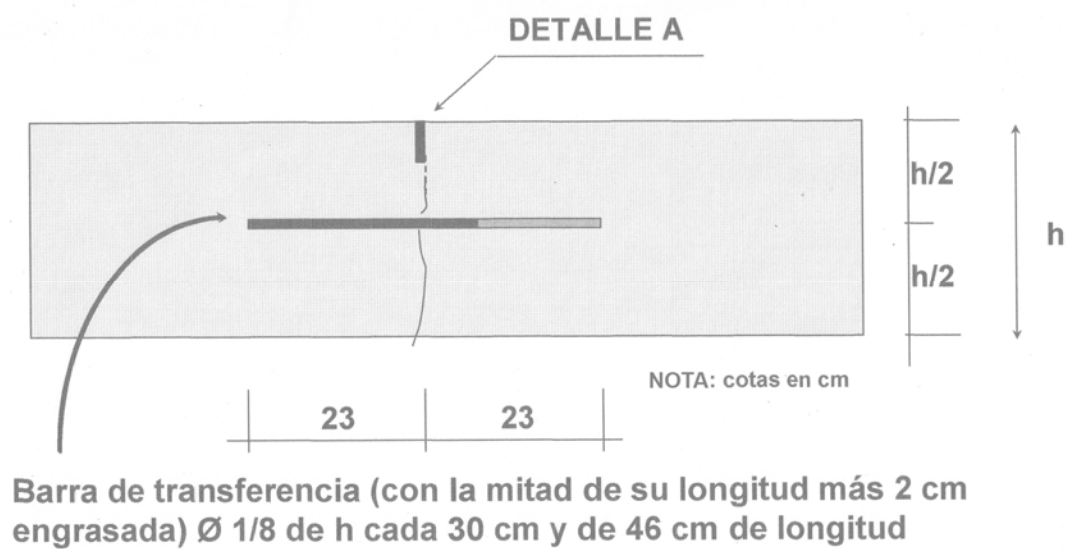


Figura 2.22. Junta Transversal de Contracción.

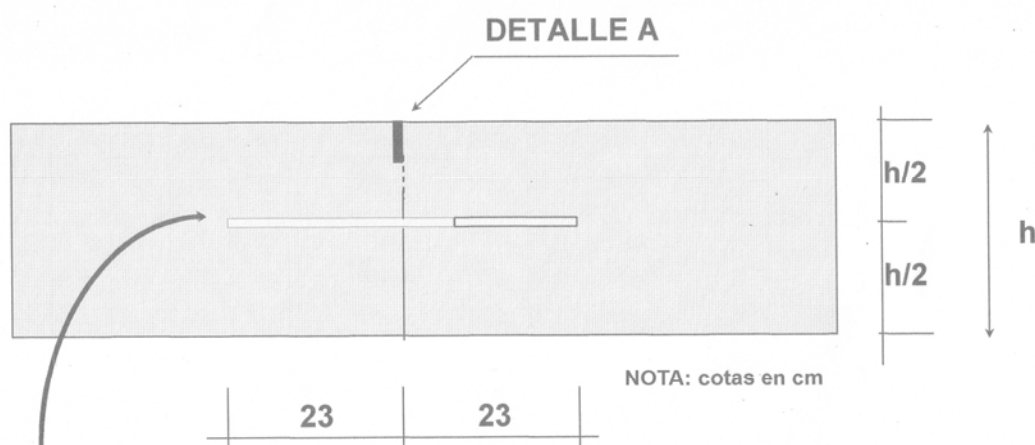
D) Junta de Construcción Transversal

Resultan en las paradas prolongadas de la puesta en obra, ó al fin de la jornada. Como son previsibles debe hacerse coincidir con las de contracción.

Estas juntas determinan losas rectangulares, cuyo cuestionamiento conlleva a plantear dos problemas: Su separación y la profundidad de la ranura.

Las Juntas, son muy importantes en la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. En consecuencia, la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas es decisiva para la vida de servicio de un pavimento.

Por su ancho, por la función que cumplen y para lograr un rodamiento suave, deben ser rellenadas con materiales apropiados, utilizando técnicas constructivas especificadas.



Barra de transferencia (con la mitad de su longitud más 2 cm engrasada) \varnothing $1/8$ de h cada 30 cm y de 46 cm de longitud

Figura 2.23. Junta Transversal de Construcción.

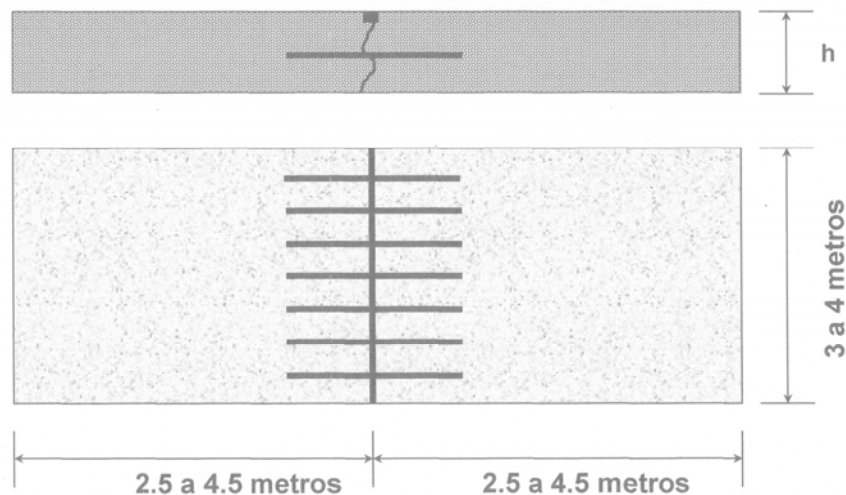
2.2.2.4.8 Acero de refuerzo.

El acero de refuerzo necesario para la construcción del pavimento se utiliza en las juntas, ya sea como pasadores de cortante ó pasajuntas o como barras de amarre para mantener los cuerpos del pavimento unidos.

(A) Barras de Amarre. En las juntas que muestra el proyecto y/o en los sitios que indique el Contratante, se colocarán barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas. Las barras serán corrugadas, de acero estructural, con límite de fluencia (f_y) de cuatro mil doscientos ($4,200 \text{ kg/cm}^2$) kilogramos por centímetro cuadrado, debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y en la posición indicada en el proyecto.

(B) Barras Pasajuntas (dovelas). En las juntas transversales de contracción, de construcción, de emergencia y/o en los sitios que indique el Contratante se colocarán barras pasajuntas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero redondo liso y deberán quedar ahogadas en las losas en la posición y con las dimensiones indicadas por el proyecto. Ambos extremos de las pasajuntas deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. El acero deberá cumplir con la norma ASTM A 615 Grado 60 ($f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$), y deberá ser recubierto con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto.

Las pasajuntas podrán ser instaladas en la posición indicada en el proyecto por medios mecánicos, o bien por medio de la instalación de canastas metálicas de sujeción. Las canastas de sujeción deberán asegurar las pasajuntas en la posición correcta como se indica en el proyecto durante el colado y acabado del concreto, mas no deberán impedir el movimiento longitudinal de la misma.



* Llamadas también pasadores

Figura 2.24. Pavimento de Concreto Simple con Dovelas.

CAPITULO III
PROCESOS CONSTRUCTIVOS

3.0 MEZCLAS EN FRÍO

3.1 Conceptos

3.1.1 Mezclas en Frío

Las mezclas asfálticas en frío se definen, como las constituidas por la combinación de uno o más agregados pétreos y un relleno mineral (filler), de ser necesario, con un asfalto emulsionado catiónico o diluido con solvente, cuya mezcla, aplicación y compactación se realizan en frío (condiciones ambientales).

Tienen su principal campo de aplicación en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias, puesto que en estas obras no se suelen justificar económicamente las instalaciones más complejas que se requieren para la fabricación de las mezclas bituminosas en caliente.

Si bien el ligante puede ser calentado hasta no más de 60°C, el resto de las operaciones, como queda expresado, se llevan a cabo a temperatura ambiente.

Los agregados pétreos no requieren secado ni calentamiento, es decir, que se emplean tal como se presentan en el acopio, con su humedad natural. Estas mezclas también pueden ser elaboradas en la misma planta central destinada a la elaboración de las mezclas caliente, prescindiendo para ello del sistema de calefacción para el secado de los agregados y el calentamiento y circulación del asfalto.

Igualmente es posible la preparación in situ, es decir, sobre la misma calzada donde va a ser aplicada, para lo cual se utilizarán maquinarias y equipos más simples como son las moto niveladoras y mezcladoras livianas de una sola pasada, tipo moto pavimentadora, etc. Las mezclas en frío con emulsiones presentan un amplio margen para su elaboración en relación con las mezclas convencionales en caliente.

En primer término porque el ligante emulsión es más adaptable a los agregados pétreos locales con elevado contenido de finos de difícil eliminación y en segundo lugar, porque pueden ser mezclados durante un tiempo más prolongado. En cambio, el mezclado en caliente es una operación que se ve limitada en ese aspecto, para evitar el enfriamiento de la mezcla antes de su compactación.

3.1.2 Clasificación y usos granulométricos

De acuerdo con el porcentaje de vacíos final, las mezclas en frío se clasifican en densas y abiertas. Los límites están dados por:

* Mezclas cerradas (densas, DF): 3 a 6% de vacíos.

* Mezclas abiertas (AF): superior a 12%.

3.1.3 Mezclas densas

Se fabrican con emulsiones de rotura lenta sin ningún tipo de fluidificante. Aunque pueden compactarse después de haber roto la emulsión (la presencia de agua supone una lubricación de las partículas del agregado) conviene ponerlas en obra cuando todavía son suficientemente trabajables. Por otro lado,

no pueden abrirse a la circulación hasta que se ha alcanzado una resistencia suficiente. Este proceso de aumento paulatino de la resistencia se suele denominar maduración; consiste básicamente en la evaporación del agua (rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla) y es relativamente lento debido a que la granulometría cerrada del agregado hace que la mezcla tenga una pequeña proporción de huecos.

Las emulsiones densas deben ser:

- Velocidad de rotura lenta, controlada para conseguir una buena envuelta y no romper sobre los agregados finos.
- Exentas de aditivos fluidificantes ya que estas mezclas tienen muy bajos vacíos y no permitirán la evaporación del mismo.
- Cemento asfáltico residual duro para obtener características mecánicas.

3.1.4 Mezclas abiertas en frío

Están formadas fundamentalmente por un agregado grueso y por una emulsión bituminosa de rotura media, con una baja proporción de agregado fino (lo que conduce a una elevada proporción de huecos), de manera que hay en ellas una estructura mineral que resiste fundamentalmente por rozamiento interno, al contrario que en las mezclas cerradas en las que el efecto de la cohesión de la masilla es importante. Debido a su gran flexibilidad, están especialmente recomendadas para las capas de rodadura de pequeño espesor (hasta 5 cm.) dispuestas sobre capas granulares en unos firmes que en general soportan

unas bajas intensidades de tráfico; para retrasar su envejecimiento, se suelen sellar con lechadas bituminosas. La proporción del cemento asfáltico residual se sitúa habitualmente en torno al 2.5 a 3 por 100 sobre la masa del agregado.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación, incluso durante semanas. Esta trabajabilidad se basa en que el ligante permanece un largo tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean unas emulsiones de cemento asfáltico fluidificado; el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, donde únicamente endurece la superficie, haciendo así viable el almacenamiento. Sin embargo, después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido; en las capas ya extendidas, la evaporación del fluidificante es posible debido a que la granulometría es abierta.

Para estas obras las emulsiones deben ser:

- Elevado contenido de ligante para conseguir una película de cierto espesor que no se descuelgue y tenga resistencia al envejecimiento.
- Velocidad de rotura media para permitir la elaboración y colocación de la mezcla.
- Presencia de aditivos fluidificantes para conseguir buena trabajabilidad y flexibilidad para evitar las fisuras.

3.2 Aspectos Básicos

3.2.1 Ventajas de las mezclas en frío

- Versátil. Un buen número de tipos y grados de asfalto emulsificado disponibles para satisfacer los variados requerimientos de diferentes agregados y condiciones climáticas.
- Economía. Altos rangos de producción son posibles con una comparable baja inversión en equipo. Adicionalmente, los agregados disponibles localmente, pueden ser usados. Equipo relativamente pequeño requerido para construir mezclas en frío, simple y económico.
- No contaminante. Como no es necesario calentar ni secar el agregado, no se produce humo y la emisión de polvo es relativamente baja.

3.2.2 Limitaciones de las mezclas en frío

- Clima. La construcción de mezclas en frío no debe hacerse cuando se espera una temperatura ambiente de menos de 10°C, o cuando generalmente se predice mal tiempo (Lluvias). Como el agregado no está calentado, la máxima temperatura está limitada a la atmósfera, una ventaja atribuible a la radiación solar. En la aplicación, el asfalto rápidamente alcanza la temperatura del agregado. Si está demasiado frío la mezcla se dificulta; también, una manipulación extra puede ser requerida para remover volátiles en condiciones frías y húmedas.
- Humedad de la superficie del agregado. La determinación de la humedad de la superficie está basado en el peso seco de la superficie del

agregado a ser usado. Arriba de 3 % la humedad de la superficie puede requerirse en el agregado para una mezcla exitosa con asfalto emulsificado y la compactación subsiguiente de la mezcla. La excesiva humedad de la superficie causa problemas en la mezcla, compactación y curado.

- Control de calidad. Excelentes capas de rodamiento pueden ser logradas con mezclas preparadas in situ cuando una atención apropiada es dedicada, asegurando uniformidad en la cantidad de agregados, graduación de los agregados y aplicación de cantidades adecuadas de asfalto

3.2.3 Composición de las mezclas en frío

Los componentes de las mezclas en frío son:

- Materiales granulares
- Relleno mineral
- Agua
- Emulsión Catiónica de rotura lenta o media

Materiales granulares

a) Agregado grueso:

El agregado grueso constituido por el retenido en el tamiz No 4 (4.75 mm.) deberá tener partículas sanas, duras y resistentes. No contendrá exceso de partículas alargadas ni sustancias perjudiciales (arcillas, materia orgánica, etc.).

Deberá proceder de la trituración de rocas que no han sufrido descomposición química, o de materiales de canteras naturales (gravas, cantos rodados) utilizados tal cual o triturados. También podrán emplearse agregados artificiales, como las escorias siderúrgicas.

b) Agregado fino:

Constituido por arena silíceo o arena de trituración de rocas, que pase por el tamiz No 4. Deberá tener granos limpios, duros, resistentes y sin película adherida ni sustancias perjudiciales.

c) Relleno mineral (filler):

Las características del filler y la finalidad de su incorporación son esencialmente las mismas que las requeridas para las mezclas en caliente. El filler está presente en los agregados naturales y también se obtiene, como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca. Es esencial para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable y resistente a la penetración de agua. Sin embargo un pequeño porcentaje de más, o de menos, de filler puede causar que la mezcla aparezca excesivamente seca o excesivamente rica. Dichos cambios en la mezcla pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de filler utilizado. Por consiguiente, el tipo y la cantidad de filler usados en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación deberán ser cuidadosamente controlados.

Agua

Su presencia en la mezcla, previa a la incorporación de la emulsión, es indispensable para evitar un rompimiento prematuro de la misma, logrando de esa manera un recubrimiento completo del agregado y una buena uniformidad de la mezcla.

Deberá ser fundamentalmente límpida y libre de materias nocivas, como: sulfatos, azúcares, sustancias húmicas y cualquier otra reconocida como tal, es decir, agua potable.

Emulsión Catiónica

El tipo de emulsión a utilizar, en cuanto a velocidad de rotura, dependerá, en primer lugar, de las características granulométricas de la mezcla a elaborar. En general, si se trata de una mezcla densa se requerirá de una emulsión de rotura lenta (de curado rápido o superestable); mientras que las mezclas abiertas se suelen elaborar con emulsiones de rotura media.

En segundo lugar, la elección del tipo de emulsión dependerá de factores climáticos que incidan en el tiempo de curado de la mezcla.

Otros factores importantes que inciden en esta selección son, por ejemplo los elementos de trabajo disponibles, el plazo de la ejecución de obra.

Si se indica una emulsión de rotura lenta, esta tendrá un asfalto base de penetración 70/100 o 100/200 en zonas de clima calido y de clima frío respectivamente.

3.3 Elaboración de la mezcla en frío

3.3.1 Pasos previos para la construcción de mezclas en frío

1. **Elección de bancos.** Con este fin se exploran las zonas que la obra atravesara y sus alrededores, se muestran los bancos de depósitos en ríos y arroyos, los materiales de mina, los bancos de conglomerado y la rocas que pudieran utilizarse; se obtiene por medio de un diseño, el contenido óptimo de asfalto para cada material; y al final, de acuerdo con la calidad de las mezclas elaboradas y los estudios económicos, se eligen los bancos que se habrán de utilizar en la obra de que se trate.
2. **Explotación de los bancos.** si se trata de materiales conglomerados o de roca firme, se tendrá que hacer uso de explosivos y la extracción se hará con palas frontales o palas mecánicas; si se trata de materiales aglomerados, la extracción se puede hacer ya sea con palas manuales, frontales o con dagas.
3. **Tratamientos previos.** Cuando las mezclas se elaboran en el lugar, los tratamientos previos pueden ser de cribado o triturado de acuerdo con el desperdicio que tengan los materiales.
4. **Transporte a la obra.** Después de aplicar el o los tratamientos previos a los materiales, estos se transportan a la obra, en donde se acopian por medio de una motoconformadora y se mide el volumen acarreado; para hacer los ajustes necesarios por si el material falta o sobra, conforme los espesores del proyecto, se calcula la cantidad requerida de producto

asfáltico. En este caso, es posible corregir el porcentaje óptimo de asfalto.

3.3.2 Materiales

a) Selección del asfalto apropiado

La selección apropiada del tipo y grado de asfalto para usar en cada proyecto es de lo más importante.

La primera consideración debe darse al tipo y calidad de desempeño mayormente satisfactoria en proyectos locales con graduación de agregados y condiciones de tráfico similares a aquellos proyectos bajo estudio.

Adicionalmente, las especificaciones estándar de asfalto sirven para ayudar en la selección del material apropiado para cada proyecto, proporcionando una clara y significativa comparación entre tipos y grados. Más allá de las especificaciones, como sea, independiente, el juicio personal deberá ser ejercido en la selección. La decisión debe considerar el uso del pavimento completo, las condiciones ambientales en la locación del pavimento, tipo de equipo disponible y las operaciones de construcción.

Lo anterior está fundamentado en tres grandes consideraciones ingenieriles:

- Propiedades del asfalto residual
- Consistencia
- Rango de curado

Mientras las directrices generales pueden ser dadas para seleccionar las emulsiones, las pruebas de laboratorio están estrictamente recomendadas. No hay un buen sustituto de las evaluaciones de laboratorio del asfalto y el agregado a ser usado. Diferentes tipos y cantidades de asfalto deben ser ensayadas con el agregado para hallar la mejor combinación para el uso proyectado. Un técnico experimentado puede determinar si se necesita agregar agua adicional y la cantidad de tiempo par que ocurra la rotura.

a.1) Propiedades del asfalto residual

Se desea generalmente un asfalto residual que provea gran cohesión en la mezcla final. Pero otra consideración es el tipo de agregado disponible y la firmeza de la sub-rasante.

Una regla de campo establece que debe usarse el asfalto más pesado (más viscoso) que pueda ser prontamente trabajado. Aplicando esta regla significa que el tipo de equipo de mezclado a ser usado es un factor grande en el establecimiento para el grado requerido de asfalto.

a.2) Consistencia

El asfalto usado en mezclas frías debe estar listo para ser trabajado a temperaturas encontradas durante la construcción, la viscosidad de varios materiales asfálticos a temperatura ambiente debe ser considerada. Así, la temperatura ambiente es un factor clave en la selección de la viscosidad del asfalto, lo que producirá deseablemente, mezclas uniformes.

Otro factor que gobierna la consistencia del asfalto seleccionado para cualquier proyecto dado es la graduación de los agregados. Como una generalización las mezclas abiertas requieren un aglutinante más viscoso que el requerido para mezclas cerradas. En cada caso, es deseable usar el grado más viscoso con el que puede ser manipulado durante la construcción. Cuando una mezcla tiene una alta proporción de material fino que pasa la malla no 200 (0.075 mm), el mezclado es usualmente más dificultoso, y asfaltos de viscosidad media a baja pueden ser más efectivos. Cuando pocos finos pasan la malla No 200, el mezclado es un poco más fácil y puede ser usado un asfalto de alta viscosidad. Además, en mezclas abiertas, el uso de asfaltos de alta viscosidad reducirá la posibilidad de escurrimiento de asfalto de las partículas de agregado.

a.3) Rango de curado

Estos asfaltos dependen de la evaporación del agua por el desarrollo del curado y las características de adhesión. El desplazamiento del agua puede ser bastante rápido bajo condiciones de clima favorables pero la alta humedad, bajas temperaturas o la lluvia después de la aplicación pueden detener el curado apropiado.

A pesar de que las condiciones atmosféricas son menos críticas para las emulsiones catiónicas que para las aniónicas, ellas dependen de las condiciones climáticas para óptimos resultados.

Consideración de condiciones climáticas anticipadas durante la construcción es importante cuando se usan emulsiones asfálticas. La regla general es

seleccionar el equipo que provea una rápida construcción. Se prefieren las plantas mezcladoras fijas seguidas muy de cerca por las plantas móviles. Altos rangos de producción pueden ser logrados con buen clima y el proyecto puede ser fácilmente detenido por el mal tiempo.

La construcción in situ es deseable puesto que grandes áreas son expuestas durante el mezclado. La lluvia puede incrementar el contenido de humedad arriba del óptimo, requiriendo aireación. Por otro lado, la conveniencia de las plantas fijas depende de la disponibilidad de la planta dentro de una distancia económica de acarreo.

b) Agregados

Una amplia variedad de agregados y combinaciones de suelo-agregado, yendo de la roca triturada bien graduada hasta la arena limosa, puede ser mezclada en frío satisfactoriamente con emulsiones asfálticas. Factores como la forma de las partículas de agregado, tipo y cantidad de finos y diferencias en las gravedades específicas del agregado mineral deben tomarse en cuenta en el establecimiento de los controles requeridos para asegurar exitosos resultados.

Comercialmente las rocas trituradas, escorias y gravas están disponibles extensamente para las mezclas frías. Hay también muchas localidades donde es económico triturar el agregado de cortes de camino, excavaciones o sitios de cantera cercanos. Material triturado conteniendo del 0 al 10 por ciento que pasa la malla No 200 y un tamaño máximo de 50 mm normalmente se muestra excelente para la construcción base. Generalmente, la producción entera del

triturado que esta por debajo del tamaño máximo especificado puede ser usada en la estructura del pavimento asfáltico; esto es de gran economía.

En áreas donde los agregados cumplen escasamente con los requerimientos de la norma, es posible usar materiales de menor calidad, siempre y cuando la experiencia muestre ser satisfactoria o donde las investigaciones y ensayos ordenen su uso. Se han usado materiales locales entre el rango de los suelos granulares finos pasando por las arenas limpias y gravas. Otros materiales, probados por experiencia, también pueden ser usados. Con graduaciones finas, cual sea la mezcla, pueden encontrarse problemas de aireación y compactación.

En muchos proyectos, con cuidadosa selección, materiales satisfactorios pueden ser obtenidos de la excavación o prestamos. En otros sitios, los materiales pueden estar disponibles dentro de o adyacentes a la vera del camino o como los que están en las excavaciones, mezclando diferentes estratos o áreas de excavación o mezclando con otros materiales en la excavación. Bien graduados, agregados procesados son siempre deseables para cualquier capa de la estructura del pavimento asfáltico, pues muchos agregados pobremente graduados o agregados con vacíos han demostrado adecuado desempeño en capas cuando son combinados con el asfalto apropiado usando buenos procedimientos constructivos.

3.3.3 Construcción (IN SITU)

a) Preparación de la superficie

La superficie en la cual el material mezclado es colocado debe estar mezclada y compactada. La superficie debe ser limpiada con una barredora para remover suciedad u otro material extraño. Dependiendo de la condición o el tipo de base o sub-base, una imprimación (Fig. 3.1) de MC-30, MC-70, ó RC-250 puede ser necesaria. Cuando se aplica la imprimación, se permite el curado y después de 24 horas cualquier exceso de asfalto remanente en la superficie es secado con arena u otro material fino.



Fig. 3.1 superficie imprimada

b) Camellones

Varios tipos de construcción de mezclas en frío requieren que los agregados sean colocados en camellones (Fig. 3.2) antes del mezclado y extendido. Debido a que el espesor del nuevo pavimento es directamente proporcional a la

cantidad de agregado en el camellón, el control exacto y la medida del material en el camellón es necesario.

Si usualmente no hay suficiente material suelto en la superficie de rodamiento para usar en la mezcla, en este caso, lo mejor es cortar el material suelto encima del hombro en lugar de ejecutar las operaciones que son necesarias para mezclarlo con el material traído de otras fuentes.

Algunas veces es considerado práctico ir incorporando el material existente en la calzada dentro de la mezcla, siempre y cuando sea uniforme y halla suficiente. Cuando esto se hace, el agregado suelto debe ser primeramente nivelado dentro de un camellón y medido, para luego, determinar si los otros agregados cumplen con las especificaciones de graduación.

Finalmente, el camellón se construye para el volumen requerido con el material importado para cumplir las especificaciones.

c) Determinación del Rango de Aplicación del Asfalto

El asfalto es aplicado con un distribuidor de presión delante del proceso de mezclado o en el caso de mezcladores móviles, durante el proceso de mezclado. En cualquier caso, es necesario un control cercano sobre el rango de aplicación y la viscosidad, para una mezcla apropiada.

Antes de que inicien las operaciones de mezclado, el rango de la correcta aplicación del asfalto y la velocidad de la barra de rociado equipada al mezclador o el distribuidor de asfalto debe ser determinado por la cantidad de agregado en el camellón. También cuando se usa el asfalto emulsificado, si es

necesario humedecer el agregado antes de aplicar el asfalto, el rango de la aplicación del agua y la velocidad del distribuidor del agua debe ser determinado.

Antes de poder determinar la cantidad correcta de asfalto a ser aplicado, es necesario determinar la cantidad de agregado en el camellón.

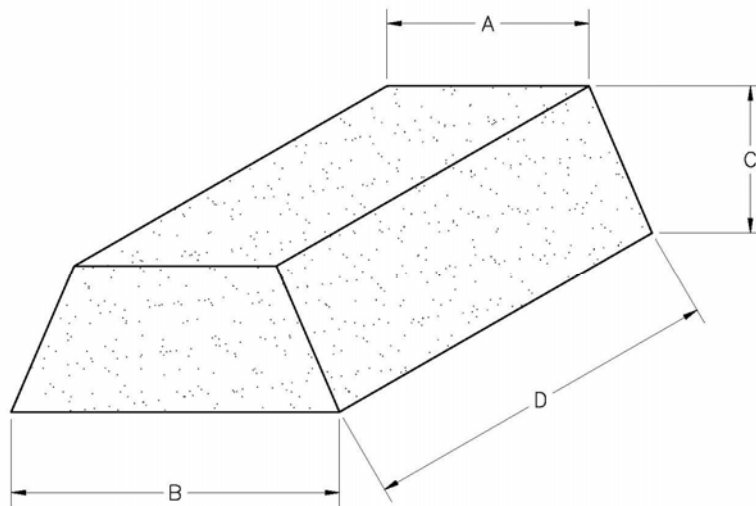
Las cantidades son determinadas por las siguientes formulas:

$$V = (A+B) C / 2$$

Donde:

V = volumen del camellón, m^2 por metro lineal (pie^2 por pie lineal) m^2 -m (ft^2 -ft)

A, B, C, D = dimensiones del camellón en metros (pies)



Medidas para Determinar las Cantidades de un Camellón

Fig. 3.2 Esquema de un Camellón

$$W_f = W_1 V$$

Donde

W_f = Cantidad de agregado, Kg. por metro lineal (libras por pie lineal) del camellón (Kg/m)

W_1 = Peso suelto del agregado seco

Las siguientes fórmulas pueden ser usadas para hallar el rango de aplicación del asfalto en Litros por metro lineal (galones por pie lineal) en el camellón y la velocidad requerida del mezclador o distribuidor en metros por minuto (pies por minuto). Las fórmulas también pueden ser usadas para hallar el rango de aplicación y la velocidad del distribuidor de agua sustituyendo el agua por asfalto.

El rango de aplicación del asfalto a lo largo del camellón es determinado por:

$$A = (W_f \times P) / (100 \times G)$$

Donde

A = rango de aplicación del asfalto, litros por metro lineal (galones por pie lineal)

W_f = Cantidad de agregado, kilogramos por metro lineal (libras por pie lineal)

P = Contenido de asfalto, porcentaje por peso de agregado seco

G = Peso del asfalto, aproximadamente 1 kg / litro (8 lb / gal)

Para determinar la velocidad frontal del distribuidor:

$$S = D_p / A_b$$

Donde

S = Velocidad frontal del mezclador o distribuidor m / min (ft / min)

D_p = Rango de descarga de la bomba lt / min (gal / min)

A_b = Rango de aplicación del asfalto lt / m (gal / m)

d) Control del asfalto

El asfalto es adicionado al agregado por un distribuidor de asfalto o por una mezcladora móvil. Cualquiera que sea el método usado, debe haber un control cercano de la cantidad y viscosidad requerida para asegurar una mezcla apropiada.

Una viscosidad apropiada es esencial, el asfalto debe ser suficientemente fluido para que circule fácilmente a través de las boquillas de rocío y cubra adecuadamente las partículas de agregado.

e) Mezclado.

e.1) Mezclado rotativo

Mezcladora rotativa equipada con un sistema de rociado incorporado requiere que los rangos de aplicación del asfalto coincidan precisamente con el ancho y el espesor de la capa, frente a la velocidad del mezclador y la densidad del agregado en el lugar. Como sea, cuando se utiliza una mezcladora rotatoria no equipada con barras de rociado, un distribuidor de asfalto, operando delante del mezclador, aplicara asfalto al agregado.

Varias aplicaciones alternas de asfalto y pasadas de la mezcladora son usualmente necesarias para lograr la mezcla especificada.

Muchas de las mezcladoras rotativas están equipadas con un sistema de rociado. Cuando se usa este tipo de mezclador estos pasos son recomendados:

- 1) Extender el agregado en una plataforma uniforme y cruzar la sección con motoniveladora.
- 2) Mezclar completamente el agregado en una o mas pasadas del mezclador.
- 3) Agregar el asfalto en incrementos de cerca de $2.25 \text{ lt} / \text{m}^2$ hasta que la cantidad total requerida de asfalto esté aplicada y mezclada. Un total de 0.7 a $1.1 \text{ lt} / \text{m}^2$ por 10 mm de espesor, es usualmente necesario. Si el mezclador no está equipado con barras de rociado, el asfalto es usualmente aplicado con un distribuidor de asfalto.
- 4) Dar una o más pasadas de la mezcladora en medio de las aplicaciones de asfalto como sea necesario para asegurar la mezcla completa.
- 5) Mantenga la superficie con la granulometría y la sección de cruce usando una motoniveladora durante las operaciones de mezclado.
- 6) Airear la mezcla por una manipulación adicional, si es necesario

e.2) Nivelado

Con el nivelado, el material importado o in situ es formado en un camellón. El camellón es aplanado con el ancho de la hoja del distribuidor de la barra de rocío. El asfalto es aplicado por sucesivas pasadas del distribuidor encima del camellón aplanado, cada aplicación no debe exceder de 3.5 lt/m^2 .

Después de cada pasada del distribuidor la mezcla es trabajada otra vez y a través de la calzada con la hoja, algunas veces ayudada por un equipo auxiliar de mezclado. Antes de cada aplicación sucesiva de asfalto, la mezcla es reformada dentro de un camellón aplanado.

El material en el camellón es sujeto a tantas mezclas, esparcido, formado y aplanamientos como se necesite para dispersar el asfalto completamente a lo largo de la mezcla y cubrir efectivamente las partículas de agregado.

Durante el mezclado, el ángulo vertical de la vertedera puede requerir ajuste de vez en cuando en orden de alcanzar una acción completa de rodado del camellón como se ha trabajado. Un rollo tan grande como sea posible debe ser llevado delante de la hoja, puesto que la presión del peso del agregado facilita la mezcla.

Adicionalmente, durante la mezcla debe tenerse el cuidado de ver que ningún material extra sea tomado de la mesa de mezclado e incorporado dentro del camellón, ni cualquiera de los camellones se pierda encima del borde de la mesa de mezclado o deje la mesa de mezclado sin tratarse.

Después que el mezclado y la aireación halla sido completada, el camellón es movido a un lado de la calzada listo para un subsiguiente esparcido. Si esto se deja un lapso de tiempo, el quiebre periódico del camellón debe ser cortado para asegurar el drenaje del agua lluvia de la calzada.

e.3) Aireación

Antes de la compactación, la mayoría de los diluyentes hacen que la mezcla en frío sea trabajable, por lo que se debe permitir su evaporación. En la mayoría de los casos, esto ocurre durante el mezclado y extendido por lo que se requiere adicionar una mínima aireación.

Una manipulación extra es ocasionalmente necesaria para ayudar a la velocidad del proceso y disipar el exceso de diluyentes. Se considera que la mezcla esta suficientemente aireada cuando esta no soportara los rodillos sin que se genere un excesivo desplazamiento hasta que este suficientemente aireada o cuando la mezcla se vuelve pegajosa y aparece el arrastre.

Muchos factores afectan el rango y la cantidad requerida de aireación, así tenemos que las mezclas de grano fino y las mezclas bien graduadas requerirán mayor aireación que las mezclas abiertas y las mezclas de grano grueso, y todas las otras serán igual. También, si una capa de base de mezcla asfáltica en frío va a ser revestida dentro de una corta longitud de tiempo, la aireación antes de la compactación debe ser mas completa que si la capa no va

a ser revestida por algún tiempo; el revestimiento actúa como un sello, retardando grandemente el levantamiento de los diluyentes.

La experiencia muestra que el rodillado de la mezclas de asfalto emulsificado deben empezar antes o al mismo tiempo cuando la emulsión empieza con el quiebre. (Indicado por un marcado cambio de color, de café a negro). En este momento, el contenido de humedad de la mezcla es suficiente para actuar como un lubricante en medio de las partículas de agregado, pero esto reduce el punto donde hace que no se llenen los espacios vacíos, permitiendo así la reducción bajo las fuerzas de compactación.

También en este momento, la mezcla debe estar disponible para soportar el rodillo sin que exista un excesivo desplazamiento.

3.3.4 Construcción en planta central

a) Preparación de las mezclas

En las plantas de revoltura, el mezclado es usualmente acompañado por amasado de ejes gemelos. Es típico de estas plantas tener una capacidad no menor de 907 Kg. (2000 lb.). Las cantidades correctas de asfalto y agregado, son generalmente determinadas por peso, se alimenta dentro del amasadero. El material luego es mezclado y descargado dentro de una volqueta antes de que otro lote se produzca.

En la planta de mezclado continuo, los dispositivos alimentadores de asfalto, agregado y agua (si se necesita), están enclavados automáticamente

manteniendo las proporciones correctas. Típicamente, los alimentadores automáticos miden y gobiernan el flujo de agregados en relación a la salida de un desplazamiento de la bomba medidora de asfalto. Un arreglo de una boquilla rociadora en la mezcladora distribuye el asfalto encima del agregado. Los materiales se mueven a través del amasadero, mezclándose completamente, listo para el esparcido. El material es descargado para el subsiguiente acarreado hacia el sitio de interés.

Un aspecto comúnmente mal entendido en la planta de mezcla emulsificada es el tiempo de mezclado. Usualmente la mezcla de la emulsión requiere un tiempo de mezclado menor que una mezcla de asfalto caliente.

La tendencia es a sobremezclar la mezcla de asfalto emulsificado. El efecto es la pérdida del asfalto emulsificado en las partículas de agregado grueso y el apelonado del agregado fino. Esto también puede resultar en la rotura prematura del asfalto emulsificado, causando mezclas demasiado rígidas.

Un problema poco común es el insuficiente cubrimiento de agregado, causado por una mezcla pobre. Los tiempos de mezclado pueden ser variados en la planta de amasado continuo, por el cambio en el arreglo de las paletas variando la longitud del fin de la verja o cambiando la locación de la barra de rocío del asfalto. Con una planta de mezclado de tambor, el tiempo de mezclado es controlado variando la inclinación del tambor o cambiando la locación de la tubería bocatoma de asfalto dentro del tambor.

Pueda ser que en algunos tipos de agregado, se dificulte el cubrimiento apropiado, pero este hecho debe ser evidente en la fase del diseño de mezcla. Los procedimientos de mezclado deben apuntar a lograr una dispersión uniforme del asfalto emulsificado con un completo cubrimiento de la fracciones de agregado más fino.

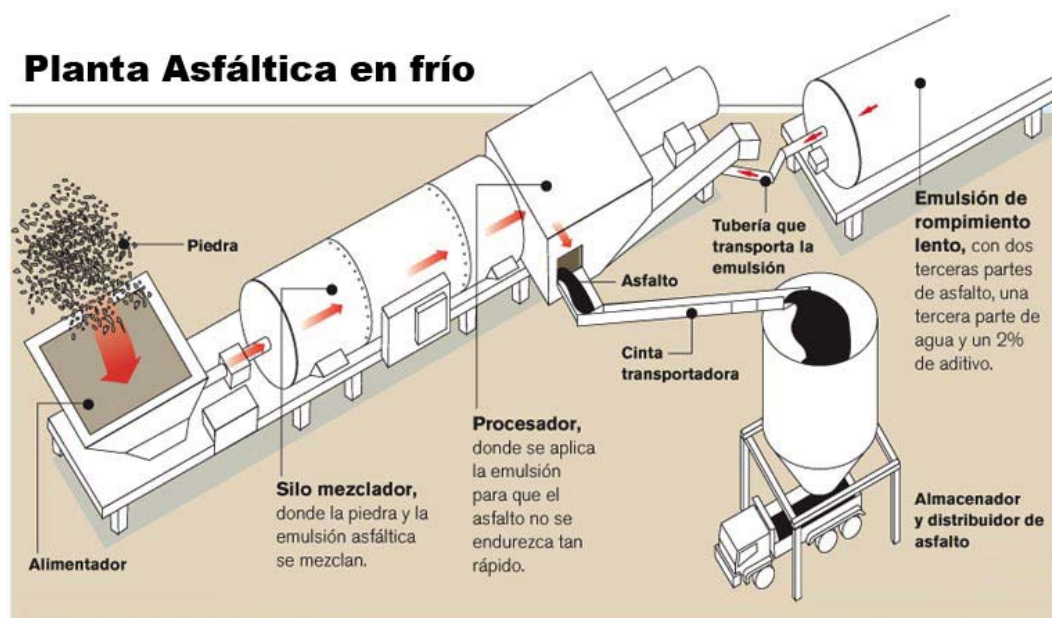


Fig. 3.3 Esquema del Funcionamiento de una Planta Asfáltica En Frío



Fig. 3.4 Tolva Para Descarga En Camiones

b) Plantas de aireación de mezcla

Las mezclas que requieren aireación son generalmente depositadas en la cama de rodado en camellones y luego son extendidos desde estos camellones. La mezcla fría es extendida con una motoniveladora y aireada por nivelado atrás y adelante, o es aireada por equipo rotatorio de labranza.

3.4 Colocación de la mezcla

3.4.1 Extendido y compactación (elaborado in situ)

Una vez completado el mezclado y aireación, se prosigue con el extendido y la compactación de la mezcla fría. Logrando una sección finalizada y una

superficie de rodadura lisa conforme a las especificaciones que es el objetivo final de estos dos pasos en la construcción.

La mezcla debe ser esparcida en un espesor uniforme, para que no existan zonas delgadas en la capa final.

El extendido debe ser ejecutado en capas sucesivas, con capas no tan delgadas que sobrepasen dos veces el diámetro del tamaño máximo de las partículas ni más delgado que 76 mm. Cuando cada capa es extendida, la compactación debe seguir casi inmediatamente con un rodillo neumático. Cuando se usa una motoniveladora, hay una tendencia de las llantas a compactar la mezcla fresca esparcida. El ahuellamiento aparecerá como una cresta elevada en la carpeta final a menos que halla un adecuado rodado entre el esparcido sucesivo de cada capa. El rodillo debe seguir directamente detrás de la motoniveladora en orden de eliminar estas imperfecciones.

En cualquier momento durante la compactación, si la mezcla asfáltica presenta indebidos surcos o desplazamientos, el rodado debe parar. La compactación no debe continuar hasta que halla una reducción suficiente de la humedad o el contenido del diluyente en forma, natural o por aireación.

Después de que una capa es completamente compactada y curada, otras capas pueden ser colocadas en el lugar. Esta operación debe ser repetida tantas veces como sea necesario para darle al camino una apropiada sección de cruce. Para una superficie lisa de rodado una motoniveladora puede ser usada para nivelar, para que posteriormente, con los rodillos, se complete la

compactación de la superficie. Después que la capa requerida ha sido formada para la sección de cruce final, debe ser rodillada posteriormente, preferiblemente con un rodillo metálico, hasta que todas las marcas del rodillo sean eliminadas. Algunas veces una capa completa puede ser abierta temporalmente al tráfico. En este paso para prevenir el ahuellamiento, puede ser aconsejable sellar la superficie aplicando una dilución de asfalto emulsificado de curado lento y agua potable (en partes iguales) en un rango aproximado de $0.45 \text{ lt} / \text{m}^2$. El curado debe ser permitido para así evitar que ocurra el levantamiento.



Fig. 3.5 Extensión de la Mezcla



Fig. 3.6 Compactación con Rodillo Neumático

3.4.2 Extendido y compactación (Elaborada en planta central)

La colocación exitosa de mezclas en frío con pavimentadoras convencionales requiere la presencia de suficientes fluidos. Mezclas secas tienden a rasgarse debajo de la plantilla o de la barra enrasadora.

Si la mezcla es demasiado seca, su contenido de agua debe ser incrementado.

La mezcla debe ser extendida uniformemente en la cama de rodaje, empezando en el punto más lejano de la planta de mezclado. No debe permitirse el acarreo encima del material recién colocado. Una ligera aplicación de agregado regulador colocado antes o después de que pase el rodillo prevendrá el levantamiento de la mezcla por el tráfico de construcción o un

subsiguiente rodado. El agregado puede consistir de agregado grueso, arena seca de menos de 2 mm (No. 10) cribado de la producción de agregados de mezclas abiertas.

Similar al mezclado in situ, la central de mezclas frías gana estabilidad ya sea de la humedad o evaporación de los diluyentes. Es importante no impedir este proceso. Por consiguiente, el levantamiento de la carpeta esta limitado por el rango de la pérdida de humedad de la mezcla o el diluyente. Los factores más importantes que afectan esta pérdida son el tipo de asfalto, el contenido de humedad o diluyente, graduación o temperatura del agregado, velocidad del viento, temperatura ambiente y la humedad. Por las anteriores variables, la experiencia local es probablemente la mejor guía de la colocación aceptable del espesor.



Fig. 3.7 Extendido, seguido de Compactación

3.5 Equipo Utilizado

3.5.1 Equipo para el mezclado in situ

a) Equipo de mezclado

a.1) Mezcladora rotativa

Rotativa o mecánica en el sitio de mezclado, esta conformada esencialmente por una cámara móvil de mezclado montada en una máquina autopropulsada. Dentro de la cámara, usualmente cerca de 2.00 m de ancho y abierta en el fondo, consiste en uno o varios ejes transversos a la rodadura, en los cuales están montados dientes o navajas de corte que revuelven a una velocidad relativamente alta. Como la máquina se mueve hacia el frente, golpea fuera de la parte trasera, en una capa uniforme de mezcla de asfalto y agregado. Muchas de las mezcladoras rotativas tienen un solo cajón de mezcla, el cual esta equipado con un sistema que agrega asfalto por rociado dentro de una cámara de mezclado cuando la máquina se mueve hacia adelante, con una cantidad de rocío que opera sincronizada con la velocidad de movimiento. Como sea, otras máquinas deben ser usadas en conjunto con un distribuidor de asfalto que rocíe el asfalto sobre los agregados inmediatamente delante de la mezcladora móvil.

Ambos tipos de máquina tienen en común la capacidad de ir efectuando un suave corte, para después ir mezclando el material y el asfalto dentro de la mezcla especificada. Máquinas con un alimentador de asfalto incorporado deben tener la capacidad exacta de medida y mezclado del asfalto dentro de los

materiales en el sitio en sincronización con movimiento frontal continuo. Además, estos deben tener barras de rociado que distribuirán el líquido uniformemente a través del ancho del mezclador. Estos deben estar equipados con controles para ambos, profundidad de mezclado y procesado y para el esparcido del material mezclado poniéndose detrás de la cámara de mezclado. Algunas máquinas de molido/aplanado pueden ser llenadas con un sistema de aditivo/rocío. Este sistema está calibrado para una adición apropiada de asfalto. La máquina puede mezclar el asfalto con material existente en el camino o incorporar agregado virgen adicional que ha sido esparcido sobre la superficie de rodado. La mezcla final puede ser descargada en un camellón para la colocación o directamente en un esparcidor o en una pavimentadora autopropulsada para la colocación.

a.2) Motoniveladora

El asfalto es aplicado directamente delante de la motoniveladora por un distribuidor de asfalto.

Para un nivelado más efectivo, la motoniveladora debe tener una navaja de por lo menos 3 m de largo y debe tener una base para el rodado de por lo menos 4.5 m. Las motoniveladoras usadas para la puesta final deben estar equipadas con rodillos neumáticos lisos en lugar de grabados.

a.3) Plantas móviles

Plantas móviles son unidades autopropulsadas que proporcionan y mezclan los agregados y el asfalto con un movimiento a lo largo del camino. Un tipo de esta

planta recibe el agregado dentro de una tolva de los camiones de transporte, agrega y mezcla el asfalto y esparce la mezcla hacia atrás mientras se desplaza.

Ciertas características y capacidades de ejecución son comunes en todas las plantas móviles, habilitándolas para operar efectivamente y producir una mezcla de acuerdo al diseño y las especificaciones. Las orugas o las ruedas en las cuales la máquina se mueve deben estar medidas, diseñadas y posicionadas de manera que no dañen o hagan surcos en la superficie en la cual operan cuando la planta esta cargada al máximo. El propósito básico de las plantas móviles es mezclar asfalto y agregado. Algunas máquinas están equipadas con dispositivos para realizar las proporciones adecuadas automáticamente. Otras requieren que sea mantenida a una velocidad uniforme para asegurar el proporcionamiento uniforme.



Fig. 3.8. Pavimentadora.

a.4) Distribuidor de agua

Las construcciones in situ pueden requerir agregado prehumedecido para el cubrimiento y facilitar la compactación. Consecuentemente, un distribuidor de agua, capacitado para rociar una cantidad controlada de agua, debe estar disponible.

a.5) Distribuidor de asfalto

El distribuidor de asfalto es una pieza clave en la construcción de una mezcla en frío, particularmente cuando son usados mezcladores pulverizantes rotativos sin un alimentador de asfalto incorporado o cuando el nivelado es utilizado. El distribuidor de asfalto ya sea un camión (Fig. 3.9) o montado en un remolque, consiste en un tanque aislado el cual posee su propio sistema de calentamiento, una bomba y un barra de rocío y boquillas a través de las cuales el asfalto emulsificado es aplicado bajo presión sobre los agregados preparados.

Los distribuidores de asfalto deben tener una capacidad de esparcido un ancho arriba de 5 m y rangos controlados máximos de 13.5 lt/m^2

Es importante conservar un adecuado suministro de asfalto cercano al sitio de trabajo para evitar retrasos. En áreas rurales es recomendable tener un camión de suministro de asfalto en el proyecto.

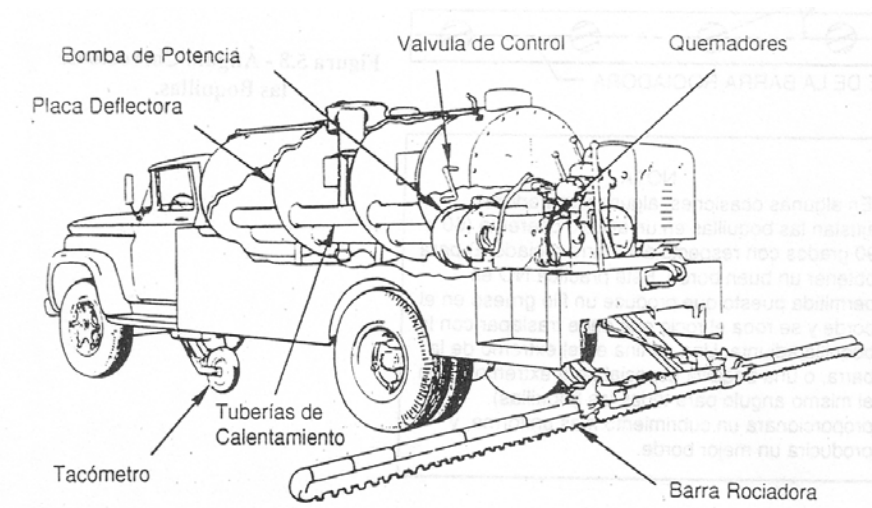


Fig. 3.9 Distribuidor de Asfalto

b) Equipo de extendido

b.1) Motoniveladora

Cuando una motoniveladora es usada para esparcir mezcla asfáltica en frío, esta debe ser revisada cuidadosamente antes de ponerla en servicio.

El borde de corte de la navaja debe estar afilado y recto para producir la sección de cruce requerida. La navaja debe ser suficientemente larga para asegurar el acabado y cerrar las tolerancias transversales. Usualmente se emplea una navaja de de 3.70 a 4.00 m de largo.

Las juntas y enlaces del sistema de suspensión de la hoja deben ser nervadas y libres de excesivo uso. Por otra parte, la navaja puede vibrar o permitir una presión irregular durante la operación y resultar en irregularidades en la superficie. La motoniveladora debe ser lo suficientemente pesada para el sostenimiento de la navaja firmemente y uniformemente en la superficie

mientras se esparce la mezcla. La base de las ruedas debe ser lo suficientemente larga para permitir cerrar la tolerancia. En las capas de superficie, las ruedas deben ser lisas para no dejar marcas en el pavimento. El motor debe ser suficientemente potente para propulsar la máquina sin esforzar cuando se esparce la mezcla.



Fig. 3.10 Motoniveladora

b.2) Extendedores

Algunas mezclas pueden ser esparcidas a la profundidad requerida sin aireación. Generalmente estas son las mezclas abiertas colocadas bajo condiciones climáticas que permitirán la evaporación de la humedad o volátiles en un tiempo razonable. Ellas pueden ser esparcidas por una mezcladora rotativa o esparcir desde camellones con motoniveladora.

c) Equipo de compactación

c.1) Rodillos neumáticos

Estos pueden tener de dos a siete ruedas en el frente y de cuatro a ocho atrás; las ruedas deben estar libres de oscilación vertical. Que tengan rangos de 3 toneladas vacíos a 32 toneladas con balasto de arena húmeda.

Los rodillos neumáticos son muy efectivos para la compactación inicial de las mezclas frías, especialmente aquellas colocadas en ligeras elevaciones. El rodado final y el alisado de los defectos de la superficie es mejor si es acompañado del uso de un rodillo de acero.

El peso de un rodillo neumático es un factor importante en la efectividad de la compactación. Otros factores que afectan la compactación son la carga de las ruedas la presión de inflado, el área de contacto de la rueda y la velocidad de rodado. Deben usarse ruedas lisas en lugar de grabadas ya que pueden dejar marcas que no podrán ser removidas por el rodado final. El área de contacto del neumático puede ser ajustada por una carga dada de la llanta; por el incremento de la presión de inflado o dejando la presión de inflado inalterada y modificando la carga de la rueda. La presión de inflado de las ruedas usualmente será especificada con la presión mantenida dentro de ± 5 psi.



Fig. 3.11 Rodillo Neumático

c.2) Rodillos Vibratorios

Estos rodillos compactan con una combinación de peso estático y fuerza dinámica con la frecuencia y amplitud de fuerza ajustables. La amplitud y la frecuencia pueden ser afectadas por la velocidad del vehículo, y variada para la mezcla en particular que está siendo compactada. En muchos casos la mejor combinación es determinada en la pruebas de campo. Los rodillos vibratorios deben ser equipados con sistema de tambor humedecido y un sistema de dirección hidráulica.



Fig. 3.12 Rodillo Vibratorio

3.5.2 Equipo para Plantas de mezclado

a) Plantas estacionarias

El mezclado en una planta estacionaria es ejecutado en una locación distante de la carretera, frecuentemente cerca de la fuente de agregados. Una planta estacionaria consiste de un mezclador y equipo para el calentamiento de asfalto (si fuera necesario) y para alimentación de asfalto, agregado y aditivos (si fuera necesario) para el mezclador. Esta es similar en muchos aspectos a la planta de mezcla en caliente, excepto que esta no tiene secador o cribas o criba preliminar de malla ancha. Como la planta de mezcla en caliente, la planta estacionaria de mezcla en frío puede ser cualquier tolva o banda sin fin (Fig. 3.13), aunque el uso de la última prevalece para la construcción de las mezclas en frío.

Cualquier tipo de planta que pueda producir una mezcla asfáltica conforme a las especificaciones, puede ser usada. Pero como mínimo, esta debe estar equipada con dispositivos de temperatura y medición para un control exacto del material asfáltico que esta siendo aplicado al agregado y alimentadores controlados para proporcionar agregados y aditivos.

Aunque no siempre es un componente de la planta, un silo de almacenamiento permite una operación más continua de mezclado, resultando en una mejor uniformidad de la mezcla.



Fig. 3.13 Banda sin fin

b) Camiones de transporte

Varios tipos de camiones de transporte pueden ser usados para mezclas en frío producidas en plantas estacionarias; el tipo seleccionado depende del equipo de esparcido. El tradicional camión de volteo (Fig. 3.14) puede ser usado con pavimentadoras. Vertederos de fondo producen camellones y no se usan con

pavimentadoras con tolvas a menos que un cargador liviano sea usado para transferir la mezcla a la tolva. Los camiones de descarga horizontal depositan la mezcla directamente dentro de la tolva de la pavimentadora sin elevar la “cama de depósito”.

Un número suficiente de camiones de acarreo con camas lisas y limpias deben estar disponibles para asegurar la operación uniforme de la planta de mezclado.



Fig. 3.14 Camión de Volteo

c) Pavimentadoras

Si las condiciones climáticas y la gradación de agregado permite la evaporación de la humedad o volátiles sin aireación por manipulación, una pavimentadora asfáltica autopropulsada puede ser usada para colocar la mezcla asfáltica en frío. Una pavimentadora de anchura llena puede ser usada si la planta puede producir suficiente mezcla para conservar el movimiento de la pavimentadora sin una operación de encendido apagado.



Fig. 3.15 Pavimentadora



Fig. 3.16 Pavimentadora

3.6. PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO

3.7 Concepto

Pavimentos rígidos. Son aquellos cuya capa de rodamiento es de concreto. Su mayor rigidez les permite repartir adecuadamente las cargas del tráfico sobre la explanada sin necesitar en principio la colaboración de otras capas de pavimento.

El pavimento está compuesto por un pavimento de concreto en masa, sin ningún tipo de armadura, apoyado en la explanada, o en ocasiones, sobre una sub-base granular.

En el pavimento de concreto es necesario disponer juntas de contracción para evitar la aparición de fisuras transversales incontroladas (de dirección no necesariamente perpendicular al eje de la calzada, y a distancias variables) que se producirían por retracción térmica y por gradientes térmicos (diferencia de temperatura). De esta manera el pavimento queda dividido en losas contiguas con la longitud óptima para transmitir las cargas de tráfico entre ellas.

3.8 Generalidades Referentes al Diseño Estructural de Pavimentos de Concreto Hidráulico en Caminos de Baja Intensidad de Tráfico

Tipo de Pavimento:

Por razones de tipo técnico-económico y de comportamiento, predominan en estos caminos, las estructuras de pavimento tipo JPCP (pavimento de concreto sin juntas simples) sin dovelas, esto significa que la transferencia de carga entre

losa y losa se realiza por medio de trabazón de agregados, además, si se considera la posibilidad de colocar dovelas, hay que tener presente, que por lo general valores de ESAL menores a 1 millón proporcionan espesores de concreto menores a 16 cm, por lo que ya no es recomendable la colocación de dovelas en las juntas transversales por reducirse significativamente el espesor efectivo de la losa. Lo que sí es permitido es la colocación de barras de amarre en las juntas longitudinales de construcción (que tienen diámetros mucho menores a las dovelas), ya que muchas veces el pavimento en estos caminos no tiene confinamiento lateral, es importante mencionar que en estos casos se deberá diseñar adecuadamente el diámetro, la longitud y espaciamiento de dichas barras para no poner rígida la junta longitudinal. Las dimensiones de las barras tienen una relación directa con el espesor de la losa y con su ancho, y con el coeficiente de fricción de la capa donde se apoyan dichas losas.

En condiciones de confinamiento lateral puede prescindirse de las barras de amarre, aunque si el diseño de distribución de juntas está realizado con espaciamientos cercanos a los máximos (30 veces el espesor de la losa) es conveniente el uso de ellas ya que contribuyen significativamente a evitar fenómenos de Alabeo.

Capas de Apoyo:

En este tipo de caminos la necesidad de una sub-base en la estructura del pavimento depende de la frecuencia de vehículos pesados. Estudios sobre el

comportamiento de muchas superficies han mostrado las condiciones donde realmente es requerida una sub-base, la función de ésta, en este tipo de caminos, no es incrementar la capacidad de soporte del suelo, sino de evitar fenómenos de bombeo (pumping) provocado por una **frecuencia alta de vehículos pesados**, porque lo importante de esto, es que pueden circular vehículos pesados sobre capas de concreto colocadas directamente sobre el suelo de sub-rasante, y es de suma importancia destacar que, la filosofía de pavimentos de baja intensidad considera crítico un número mayor de 50 vehículos pesados diarios por sentido o un número mayor a 1 millón de ESAL durante la vida útil del pavimento; lo cual según estudios de la American Concrete Pavement Association (ACPA) el bombeo ocurrirá siempre y cuando coexistan dos factores: suelos plásticos de sub-rasante con alto contenido de finos, exceso de humedad en la superficie del pavimento (climas húmedos) y frecuencia alta de vehículos pesados. En ausencia de uno de los tres factores, capas de sub-base no son requeridas y la clave del buen comportamiento del pavimento será una compactación uniforme del suelo y de sub-rasante. Sin embargo, es el ingeniero local, quien conoce su país y quien decidirá la colocación o no de una capa sub-base.

DISEÑO ESTRUCTURAL

Existen diversas metodologías de diseño de espesores; pero, por lo general consideran el diseño de pavimentos de baja intensidad de tráfico de forma

independiente a los métodos para espesores convencionales; la diferencia básica se enmarca en los parámetros de diseño de transferencia de carga y dimensionamiento de losas específicamente en criterios de losas cortas.

Transferencia de carga: Los pavimentos de bajo tráfico de concreto han sido concebidos bajo la filosofía de los pavimentos tipo JPCP o pavimentos con juntas simples, esto significa sin acero por temperatura ni estructural por losa, ni pasadores o dovelas en las juntas transversales por contracción; por tal razón la transferencia de carga entre losas se realiza por medio de trabazón de agregados.

Losas cortas: Ya sea que se diseñen losas cortas o largas la filosofía actual de diseño de pavimentos de concreto se fundamenta en la capacidad de distribución de cargas que se da en las losas de concreto producto del módulo de elasticidad del mismo. Esto es parte de investigaciones realizadas por PCA, ACPA, AASHTO en donde una presión de 106 psi o sobrepresión de llenado de llanta, aplicada en un área de 136 pulg² por lo que la presión que llega a la sub-base o a la sub-rasante (cuando la losa de concreto se coloque sobre la sub-rasante) es de apenas 3.12 psi, esto significa que los pavimentos de concreto prescinden en menor grado de las capas inferiores y esto demuestra que los cálculos de espesores no se analizan a partir de un análisis multicapa sino que intervienen otros factores como la fatiga y la erosión.

Es importante mencionar que el concreto hidráulico para pavimentos se diseña bajo módulo de ruptura o flexión, en realidad las losas trabajan a flexo-

compresión y el incremento en el trabajo a flexión o a compresión depende de si se diseñan losas largas o cortas; para el tipo de pavimento de bajo tráfico JPCP el espaciamiento entre juntas transversales se caracteriza por ser menor que el resto de tipo de pavimentos que existen. En general el espaciamiento entre juntas transversales varía de 20 a 25 veces el espesor de la losa pudiendo ser menor (criterio del diseñador) cuando la losa de concreto se coloque directamente sobre la sub-rasante. Es importante mencionar que el ancho y el largo de las losas guardan una relación estructural para lograr un comportamiento satisfactorio; esto significa que deberá respetarse un largo de losa que no sobrepase 1.25 veces el ancho de la losa.

Si se diseñan losas rectangulares deberá orientarse el lado más largo en el sentido del tráfico, con el objetivo de cargar la losa en el lado más corto, aunque cabe destacar que losas cuadradas, son las que se comportan mejor desde el punto de vista estructural.

CAPACIDAD DE SOPORTE DE LAS CAPAS DE APOYO

Los ensayos que se necesitan para evaluar la capacidad de soporte son los mismos que se utilizan en los pavimentos de concreto convencional, como por ejemplo, placa de carga AASHTO T222 – ASTM D1196 (utilizando un set de tres placas siendo la inferior o que está en contacto con el suelo de un diámetro de de 30 pulg) pudiéndose realizar también ensayos de CBR. El objetivo es determinar el valor de módulo de reacción de la capas de apoyo (k).

Con respecto a la determinación del espesor se sugiere utilizar metodologías específicas para pavimentos de baja intensidad de tráfico, como las sugeridas por PCA, ACPA, AASHTO y manuales europeos, existiendo métodos de análisis por medio de elementos finos, que proporcionan valores muy refinados de espesores. Por lo general, los espesores en este tipo de pavimentos varían entre 10 y 14 cm. Con valores de resistencia a flexión entre 37kg/cm^2 y 40kg/cm^2 colocados sobre la sub-rasante compactada o sobre bases tratadas con cemento o suelo cemento dependiendo del diseño estructural.

PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción de un JPCP en una vía de bajo tráfico, consiste en los mismos procedimientos utilizados en carreteras de concreto esto quiere decir, que la colocación se podrá hacer con molde fijo o cimbra deslizante (equipo mediano) colando por fajas y pasando por todas las etapas de pavimentación: colocación, vibrado, llaneado, texturizado, curado y corte de transversales.

Los tres requisitos básicos que exige la ACPA para poder prescindir del sello en las juntas transversales y longitudinales son:

- Excelente sistema de drenaje
- Sub-base no erosionable (tratada con cemento)
- Bajo tráfico

3.8.1 Ventajas de los Pavimentos de Concreto

Las ventajas a tener en cuenta en el momento de decidir su uso, pueden ser las siguientes:

- a) Poseen un excelente comportamiento en climas de hielo y deshielo, y una excelente distribución de cargas, lo que hace innecesaria la utilización de capas gruesas, que requieren materiales a veces difíciles de conseguir.
- b) Es posible utilizar gravas y arenas locales, con lo que disminuyen notablemente los costes de obtención y transporte de estos materiales.
- c) Dada la gran rigidez y capacidad de absorción y reparto de carga de los pavimentos de concreto, éstos pueden disponerse directamente sobre explanadas de baja calidad, e incluso sobre rellenos recientes poco compactos.
- d) Los pavimentos de concreto constituyen una solución definitiva a largo plazo ya que su proyecto se realiza para un horizonte de funcionalidad de 20 ó más, habitualmente de 30 años. Por otra parte, son muy numerosos los ejemplos de obras que, habiendo rebasado estas edades, continúan todavía en servicio en perfectas condiciones.
- e) Debido a su color claro, estos pavimentos reflejan más luz recibida. De esta forma es más segura la circulación en zonas no iluminadas; y por otra parte es posible obtener importantes ahorros en las instalaciones de alumbrado.

3.8.2. Ámbito de Aplicación

Los pavimentos de concreto hidráulico de baja intensidad de tráfico se pueden aplicar en:

- a) Vías urbanas, calles de urbanizaciones, carreteras secundarias y caminos rurales con un tráfico de vehículos pesados inferior a 50 camiones diarios por sentido en el momento de puesta en servicio.
- b) Aparcamientos de vehículos ligeros.
- c) Zonas peatonales.

3.8.3. Datos para el Cálculo

Los parámetros básicos para el proyecto de un pavimento de concreto son tres:

- la calidad de la explanada de apoyo,
- el tráfico que circulará sobre él
- las características del concreto que se va a utilizar.

A partir de ellos será posible obtener las características del pavimento: el espesor y dimensiones de las losas, y la necesidad de disponer o no una sub-base.

a) Determinación de la calidad de la explanada.

La explanada es la superficie sobre la que se apoya el pavimento y su calidad es un factor de suma importancia que afecta sustancialmente al

comportamiento y durabilidad del pavimento. A igualdad de los demás factores, cuanto peor sea la calidad de la explanada, es decir, cuanto más blanda y deformable sea al estar húmeda, tanto más rápidamente se degradará el pavimento.

En vías de baja intensidad de tráfico los costes totales de las infraestructuras no justifican, en general, transportes de suelos a distancias superiores a 5 km, lo que hace necesario el aprovechamiento de los materiales que se encuentran en la misma traza.

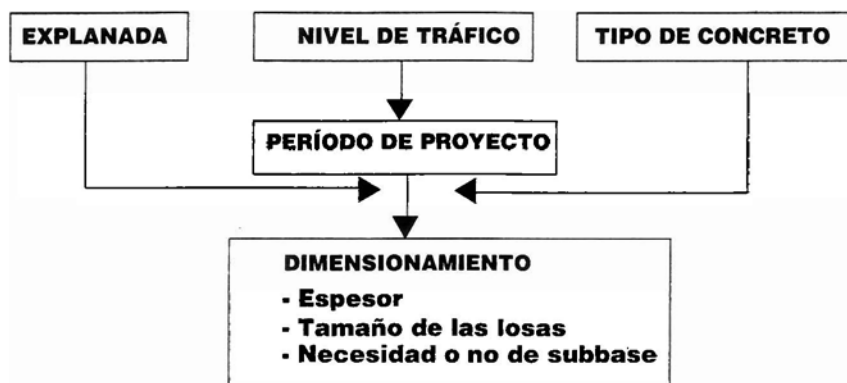


Fig. 3.17. Determinación de la Calidad de la Explanada.

b) Determinación del nivel de tráfico esperado

El efecto que produce el tráfico sobre el pavimento depende por una parte del peso de dichos vehículos y por otra de la frecuencia de paso de los mismos. Es decir, cuando un pavimento llega al final de su vida útil no lo hace por el efecto del vehículo más cargado, sino por el efecto acumulado de todos los vehículos que han transitado sobre él. En consecuencia, para dimensionar un pavimento

será necesario conocer, tanto el nivel de tráfico, como el período de proyecto o duración prevista para el mismo. Con ambos datos se podrán estimar los vehículos acumulados que circularán sobre el pavimento durante su vida de servicio. El nivel de tráfico se obtendrá a partir del número de vehículos que vayan a pasar diariamente por el pavimento.

Desde el punto de vista del cálculo del pavimento sólo tienen interés los vehículos pesados (camiones, autobuses, etc.) considerando como tales aquellos con carga superior a las 5 toneladas. Este tipo de vehículos coincide sensiblemente con los de 6 ó más ruedas. El resto de los vehículos que puedan circular con peso inferior (vehículos ligeros, camionetas o tractores sin carga) provocan un efecto mínimo sobre el pavimento, por lo que no se tienen en cuenta en el cálculo.

Una vez determinada la categoría del tráfico es necesario fijar un período de proyecto para estimar cual será el efecto de las cargas acumuladas sobre el pavimento. En el caso de los pavimentos de concreto su gran resistencia y durabilidad hacen que los períodos usuales de proyecto sean de 20 a 30 años.

La elección de uno u otro no implica, en el caso de este tipo de pavimentos, grandes diferencias en cuanto a espesores, por lo que su elección depende de la estrategia de inversión.

Otro factor a tener en cuenta, si bien en vías secundarias puede no ser importante, es el hecho de que la mejora de una determinada vía puede “atraer” y “generar” tráfico. Si entre dos puntos existen dos caminos alternativos y uno

de ellos mejora su calidad, los vehículos tenderán ir más por él; es decir, el camino de mejores condiciones atraerá tráfico del otro. Por otra parte, al mejorar las comunicaciones con una determinada zona se produce una mayor facilidad de crecimiento en ella (instalación de industrias o de zonas de bajo tráfico) al ser cómodo el acceso y salida, lo que se traduce en una generación de tráfico.

3.8.4 Tipo de concreto

Caracterizada la explanada de apoyo y el tipo de tráfico, queda únicamente calcular el espesor del pavimento, que dependerá de las características del concreto que se utilice. Como ya se puede suponer a mayor resistencia del concreto menor espesor necesitará el pavimento.

Los concretos para pavimentos se suelen definir por su resistencia a flexo-tracción y no por su resistencia a compresión simple, que es la habitual en edificación. Ello es debido a que el ensayo a flexo-tracción se ajusta más a la forma en que trabajan las losas de un pavimento. Se han escogido dos tipos de concreto: el MR-35 y el MR-40, cuyas resistencias características a flexo-tracción a los 28 días son iguales a 35 kg/cm^2 a 40 kg/cm^2 respectivamente.

Aunque existen una serie de relaciones entre las mismas resistencias obtenidas con un mismo concreto en ambos tipos de ensayo, no es posible dar una fórmula general. Ello es debido a que, dependiendo del tipo de áridos, dos

concretos con iguales resistencias a compresión simple pueden tener resistencias a flexo-tracción diferentes.

3.8.5. Obtención del Espesor de la Losa

Una vez definida la calidad de la explanada y la categoría de tráfico, la elección entre las diferentes alternativas dependerá en cada caso de distintos condicionantes: costes relativos de las soluciones a comparar, estrategia de conservación y condiciones de puesta en obra. Con respecto a este último factor hay que señalar que las soluciones con concreto MR-35 presentan, en comparación con las que utilizan MR-40, la ventaja de una mayor facilidad para la consecución de la resistencia exigida, así como una menor sensibilidad frente a eventuales variaciones de espesor.

Los espesores deben entenderse, a efectos de puesta en obra, como espesores mínimos a ejecutar y no como espesores medios. En consecuencia hay que asegurar que en cualquier punto del pavimento existen al menos esos centímetros de espesor de concreto. Aunque la diferencia entre el espesor medio y el espesor mínimo depende de la regularidad superficial conseguida en las explanadas o en la sub-base, se debe suponer que va a existir una diferencia de al menos 2 cm entre ellos. En consecuencia, se aconseja que se consideren esos dos centímetros de más a efectos presupuestarios.

Como puede observarse en el catálogo de secciones, en general el pavimento de concreto se puede disponer directamente sobre la explanada, sin más que

eliminar previamente la capa superior de tierra vegetal. Únicamente con los tráficos más altos y explanadas de calidad media a baja se debe colocar bajo el mismo una capa granular de 15 cm de espesor debidamente compactada, compuesta por gravas y arenas sin finos plásticos. En ningún caso es necesario disponer armaduras en el pavimento, ya se trate de tejido metálico o de pasadores en las juntas.

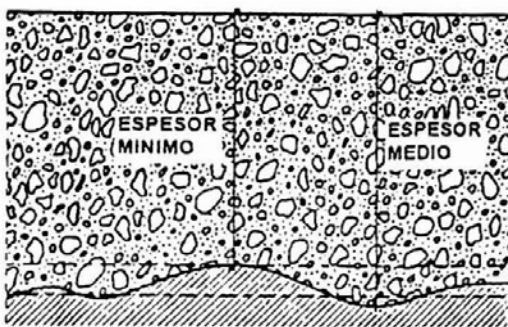


Fig. 3.18. Esquema de la variación de Espesores en el Pavimento de Concreto.

3.8.6. Disposición de Juntas y Tamaño de las Losas

Una serie de factores tales como los fenómenos de contracción del concreto al fraguar (retracción), los gradientes térmicos que se producen en el pavimento al ir variando la temperatura ambiente a lo largo del día, la posible aparición de empujes como consecuencia de dilataciones o las eventuales paradas de la puesta en obra (por ejemplo al final de la jornada) hacen necesaria la disposición de juntas en el concreto, creando losas separadas. Si dichas juntas no se ejecutasen, se producirían espontáneamente fisuras de forma, generalmente irregular. Lógicamente las juntas se deben colocar como máximo

a la distancia a la que aparecerían las fisuras, pues de lo contrario se continuarían figurando aquellas losas que fuesen excesivamente largas.

Existen dos tipos de juntas en los pavimentos de concreto: las juntas longitudinales, paralelas al avance del concretado, y las juntas transversales, perpendiculares al mismo. Cada una de ellas puede subdividirse a su vez en otros tres tipos, de acuerdo con la función que realiza la junta.

3.8.6.1 Juntas de contracción.

Son las más frecuentes en un pavimento de concreto. Su misión fundamental es limitar la longitud de las losas de forma que no se produzcan fisuras en las mismas como consecuencia de la retracción o de los gradientes térmicos. La distancia a la que se deben ejecutar estas juntas se conoce empíricamente y es función del espesor de la losa (no más de 20 a 25 veces el mismo). En la Tabla 3.1 se indican las dimensiones recomendables y máximas de las losas para cada uno de los espesores previstos en el catálogo de secciones. En general se deben utilizar las distancias recomendadas; no obstante, en caso de climas sin fuertes variaciones de temperatura, como los de las zonas marítimas, se pueden emplear distancias algo mayores, pero sin llegar a sobrepasar las máximas.

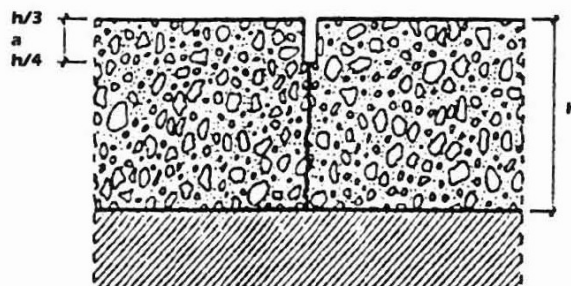


Fig. 3.19. Disposición de Juntas de Contracción.

Estas distancias se refieren al lado mayor de la losa, en el caso de ser ésta rectangular, y a la dimensión máxima de la misma, si tiene otra forma. Los mejores resultados se obtienen con losas tendiendo a cuadradas; sin embargo, es habitual hacerlas rectangulares, en cuyo caso la relación entre las longitudes de los lados no debe ser superior a 2:1 para evitar que las losas sean muy alargadas. En caso necesario se deberá disponer ángulos interiores menores de 60 grados. Ángulos más pequeños dan lugar a la formación de cuñas estrechas en el pavimento, con peligro de roturas.

Tabla 3.1		
DIMENSIONES RECOMENDABLES Y MÁXIMAS DE LAS LOSAS DE UN PAVIMENTO		
Espesor	Distancia Recomendable	Distancia Máxima
14 cm	3,50 m	4,00 m
16 cm	3,75 m	4,50 m
18 cm	4,00 m	5,00 m
20 cm	4,25 m	5,50 m
22 cm	4,50 m	6,00 m
24 cm	4,75 m	6,00 m

Si el pavimento se construye por bandas, las juntas transversales de contracción de dos bandas contiguas deben situarse en prolongación unas de otras; de lo contrario, se corre el riesgo de que aparezcan fisuras en la banda concreteada en segundo lugar, continuando las juntas de la primera banda.

3.8.6.2 Juntas de construcción.

En las paradas prolongadas (más de 1 hora de trabajo) de la puesta en obra o al fin de la jornada, se origina una junta. Estas juntas son en general previsibles y deben hacerse coincidir con las de contracción.

Dentro de este tipo puede incluirse también la junta que se origina entre dos bandas de concreteado contiguas.

3.8.6.3 Juntas de dilatación.

Para permitir el movimiento de las losas, si éstas se dilatan por efecto de la temperatura, y evitar empujes indeseables que puedan producir la rotura de las mismas, no disponen juntas de dilatación en las que se interpone un material compresible (madera impregnada, corcho, etc.) entre las losas en contacto.

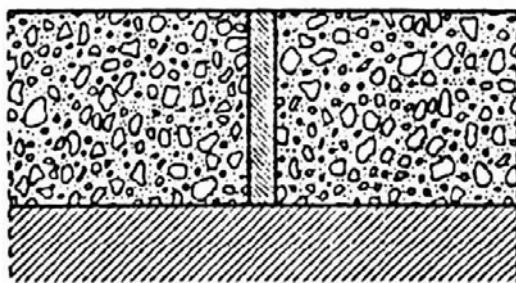


Fig. 3.20. Juntas de Dilatación.

Estas juntas sólo son necesarias en casos específicos ya que la propia retracción del concreto, su capacidad para soportar compresiones y el rozamiento con el terreno hacen que, en general, el pavimento sea capaz de resistir estas dilataciones.

Los casos en los que estas juntas suelen disponerse se pueden resumir en tres:

- **Curvas de caminos o calles de radio inferior a 200 m.** Las juntas deben colocarse al comienzo y al final de la curva, así como en el centro de la misma si su longitud es superior a 100 m.

- **Pavimento limitado por algún elemento muy rígido.** Es el caso de la existencia de cajas de aguas lluvias, o bien aquellos casos en que el pavimento se ve interrumpido por un puente. En las cajas de aguas lluvias además de la junta de dilatación es también conveniente la colocación de una junta de contracción transversal para evitar que ésta se produzca espontáneamente.

- **Cruces de calles.** Como precaución suplementaria, deberá evitarse en dichos cruces la formación de cuñas estrechas en el pavimento, que suelen presentar problemas de fisuración. Los bordes se dispondrán de forma que se tenga una dimensión mínima de losa igual a 30 cm.

Estos tres tipos de juntas dividirán el pavimento en losas contiguas. En general, y sobre todo en calles o caminos por los que circule tráfico rodado, las losas

serán rectangulares, adaptándose a la zona a pavimentar, y con unas dimensiones adecuadas en casos especiales (por ejemplo en plazas o zonas peatonales) estas losas pueden tener formas diferentes y como ya se ha indicado, es posible realizar las juntas, o parte de ellas, colocando elementos prefabricados intermedios.

En los pavimentos urbanos es muy aconsejable prever en proyecto la disposición de las juntas, respetando las reglas anteriores en cuanto a dimensiones, ángulos mínimos, presencia de registros o sumideros, continuidad de las juntas, etc.

3.8.6.4. Pendientes Superficiales

Es necesario prever pendientes transversales en la superficie del pavimento a efectos de evacuar el agua que pudiera caer encima del mismo procedente, por ejemplo, de la lluvia o del riego. Esta evacuación es importante, sobre todo en climas muy lluviosos o con fuertes chubascos a fin de dar seguridad a la circulación, evitando el deslizamiento de los vehículos. En los tramos rectos estas pendientes transversales suelen ser del orden del 2% (subir o bajar 2 cm por metro).

En las calles las pendientes transversales pueden ser en un solo sentido o en los dos; si la calle no es muy estrecha es preferible la última posibilidad para evitar una excesiva diferencia de cota entre las aceras.

En las curvas, la pendiente transversal deberá ir cambiando gradualmente al acercarse a las mismas hasta transformarse en la correspondiente a su peralte. Si el pavimento está más elevado que el terreno no será necesario, en general, disponer elementos de recogida laterales. Si no es así, habrá que colocar cunetas con salidas, cada cierta distancia (no más de 250 m), a zonas de terreno (vaguadas, etc.) que pueden evacuar el agua. Para que ésta circule con facilidad por las cunetas es necesario dar a las mismas una pendiente longitudinal de al menos 0,5%.

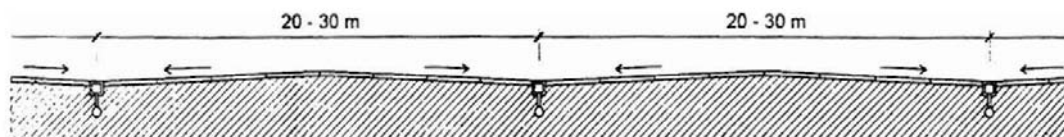


Fig. 3.21. Esquema de Pendientes Superficiales.

3.8.7 Materiales

CEMENTO

Los cementantes que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aún estando inmersos en ella, característica que los distingue de los cementantes aéreos que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire.

Los principales cementantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementantes pueden utilizarse en forma individual o combinados entre sí.

Al referirse específicamente al concreto convencional, como se emplea en la construcción, resultan excluidas las cales hidráulicas, por lo cual solo procede considerar los cementos, las escorias, los materiales puzolánicos y sus respectivas combinaciones.

Por otra parte, bajo la denominación genérica de cementos hidráulicos existen diversas clases de cemento con diferente composición y propiedades; sin embargo, en el presente documento se abordará el cemento portland, en cuya elaboración intervienen normalmente la arcilla y la caliza como materias primas (materiales individuales) principales.

Para la elaboración del clinker portland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal y sílice, y accesoriamente óxido de hierro y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización, ya sea en seco o en húmedo.

La materia prima así procesada, ya sea en forma de polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de

1400 °C, hasta que alcanza un estado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm, cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clinker portland.

Una vez frío, el clinker se muele conjuntamente con una reducida proporción de yeso, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento portland simple. Además durante la molienda, el clinker puede combinarse con una escoria o un material puzolánico para producir un cemento mezclado portland-escoria o portland-puzolana, o bien puede molerse con determinados materiales de carácter sulfo-calcio-aluminoso para obtener los llamados cementos expansivos.

También es factible incorporar aditivos durante la molienda del clinker, siendo de uso frecuente los auxiliares de molienda y los inclusores de aire. Estos últimos dan por resultado los cementos inclusores de aire para concreto.

De conformidad con lo anterior, a partir del clinker portland es posible fabricar tres principales grupos o clases de cementos hidráulicos para la elaboración de concreto:

- 1) Los cementos portland propiamente dichos, o portland simples, moliendo solamente el clinker y el yeso sin componentes cementantes adicionales.

- 2) Los cementos portland mezclados, combinando el clinker y el yeso con otro cementante, ya sea este una escoria o una puzolana.
- 3) Los cementos expansivos que se obtienen añadiendo al clinker otros componentes especiales de carácter sulfatado, cálcico y aluminoso.

Así, mediante ajustes en la composición química del clinker, o por medio de la combinación con otros cementantes, o por la adición al clinker de ciertos materiales especiales, es factible obtener cementos con características y propiedades adecuadas para cada uso específico del concreto hidráulico.

AGUA

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua.

Aunque en estas aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear agua de una sola calidad en ambos casos. Así, normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utilice

para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime esta segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas.

En determinados casos se requiere, con objeto de disminuir la temperatura del concreto al ser elaborado, que una parte del agua de mezclado se administre en forma de hielo molido o en escamas. En tales casos, el agua que se utilice para fabricar el hielo debe satisfacer las mismas especificaciones de calidad del agua de mezclado.

Como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto.

MATERIALES GRANULARES

Son materiales a base de suelos, que deben presentar una granulometría adecuada a los requisitos y normalmente son utilizados como base y sub-base para pavimentos rígidos y flexibles. Debido a su naturaleza, deben ser compactados mecánicamente en presencia de una humedad tal que le brinde la máxima compactación posible.

RELLENO FLUIDO

Es una mezcla de cemento Pórtland, agregados, agua y aditivos, que reemplaza las bases granulares y aumenta la capacidad de soporte de la vía.

Las principales características son:

Consistencia: Puede variar entre fluida cuando se requiere auto nivelación y plástica cuando se trabaja en pendientes.

Excavabilidad: Los rellenos fluidos entre 5 y 20 kg/cm² se pueden excavar con retroexcavadora.

Los rellenos fluidos se pueden utilizar en bases de pavimentos y andenes, zanjas, relleno de tuberías, estabilizaciones y nivelaciones, etc.

CONCRETO

Mezcla de cemento Pórtland, agregado fino y grueso, agua y aditivos, que es dosificado y mezclado en planta, entregado en estado fresco y listo para colocar en la obra. Dependiendo de su dosificación, el concreto puede variar ampliamente de resistencias, por lo que necesariamente hay que ajustarse a los requisitos exigidos en el diseño. En el caso de los pavimentos de concreto, se especifica por su resistencia a la flexión o módulo de rotura.

3.9 Elaboración de la Mezcla

Para obtener un pavimento con un comportamiento satisfactorio durante toda su vida útil es necesario producir un concreto de buena calidad, homogéneo,

uniforme y no segregable. Así mismo, se debe producir un concreto que corresponda adecuadamente a las condiciones climáticas, a las de utilización del pavimento y a las particularidades económicas del proyecto.

Luego de definir las características del concreto para la pavimentación, se selecciona el sistema de producción con base en los siguientes factores, como mínimo:

- La disponibilidad de equipos
- La localización de la fuente de materiales
- Las dimensiones de la vía a pavimentar
- El equipo para el transporte
- La tasa de colocación del concreto en la obra.

3.9.1 Concreto mezclado en obra.

3.9.1.1 Dosificación.

La producción del concreto se puede realizar directamente en la obra, cuando no se requieran grandes volúmenes de concreto.

En este caso, el equipo necesario debe constar de una báscula para pesar los agregados, con un error máximo permisible del 1%, una mezcladora con capacidad mínima de un saco de cemento de 42.5 kg y un recipiente para cuantificar el agua.

Los materiales para la fabricación del concreto se dosifican por peso, en las proporciones establecidas en el diseño de la mezcla. En este tipo de obras, sólo

se pesan los agregados; el cemento se dosifica por sacos completos de 42.5 kg y el agua en recipientes de volumen conocido.

3.9.1.2 Mezclado.

Se pueden utilizar mezcladoras de eje horizontal o inclinado; el mezclado se inicia introduciendo el agregado, el cemento y el agua en la mezcladora, en el orden establecido en las especificaciones. Existen diversos criterios para la realización de esta operación, la cual depende fundamentalmente de la capacidad de la mezcladora. Es una práctica común que los materiales se lleven a la mezcladora en la siguiente secuencia: Primero, los agregados con la mitad de la cantidad de agua, luego el cemento y, por último, el resto del agua y los aditivos en estado líquido.

En cualquier caso, lo importante es recordar que el cemento no debe ser el primer material que se introduzca en la mezcladora, debido a que éste se adhiere fácilmente a las paletas.

Este proceso manual exige, por parte de los operarios, un estricto control del pesaje y mezcla de los materiales, con el fin de producir un concreto de buena calidad. Es recomendable incrementar el contenido de cemento en un 10%, para compensar las posibles fallas de este procedimiento.



Figs. 3.22 y 3.23. Mezcladora de concreto hidráulico.

Los materiales que componen el concreto se deben mezclar durante el tiempo y a la velocidad necesaria para obtener una mezcla homogénea. Aunque el tiempo depende de la capacidad de la mezcladora que se está utilizando y del concreto a producir, éste no debe ser inferior a un minuto desde el momento en que se hayan introducido en ella todos los materiales. La descarga de la mezcladora debe ser total antes de realizar la siguiente carga, de lo contrario es imposible controlar el contenido de agua del concreto.

Se debe limpiar la mezcladora completamente al final de cada jornada de trabajo y, cuando se den interrupciones en la producción por más de 30 minutos, antes de volverla a utilizar. En este proceso se introducen en la mezcladora agua y agregados y se agita lentamente con el fin de retirar el concreto adherido a las paletas.

3.9.1.3 Recomendaciones generales para el mezclamiento en obra.

La mezcladora se debe inspeccionar periódicamente para observar el estado de las paletas y prever su eventual reemplazo y así poder mantener la efectividad del proceso.

La velocidad de operación de la mezcladora debe ser la indicada por el fabricante, pues cualquier ajuste tendiente a aumentarla, para disminuir el tiempo de mezclado, tiene como consecuencia un concreto de calidad deficiente.

La mezcladora no se debe operar con volúmenes de material superiores a los establecidos por el fabricante, aún cuando en algunos casos se pueda admitir una sobrecarga del 10%. Así mismo, se recomienda no emplear la mezcladora con un volumen de carga inferior al 70% del valor nominal.

3.9.2 Concreto suministrado por una planta de mezclas.

El concreto producido en una planta de mezclas (concreto premezclado) se recomienda en la construcción de pavimentos donde con frecuencia se disponga de poco espacio para el almacenamiento de materiales e instalación de los equipos para mezclar, y en obras grandes en las cuales se requieren suministros de concreto de manera continua, oportuna y masiva, generalmente a grandes distancias.

La principal ventaja del concreto premezclado consiste en que el control de calidad se puede realizar en mejores condiciones de las que se tienen cuando se mezcla en obra.

Existen dos métodos para producir el concreto premezclado. En el primero de ellos la mezcla se realiza completamente en la planta y el concreto se transporta en un camión mezclador que lo agita lentamente para evitar que se segregue. En el segundo método los materiales se dosifican en la planta pero se mezclan en el camión mezclador, ya sea durante el viaje a la obra o inmediatamente antes de descargar el concreto; este sistema permite atender frentes de obra más alejados de la central, pues no se necesita añadir el agua hasta un poco antes de hacer la mezcla; sin embargo, el tiempo durante el cual el cemento y el agregado húmedo están en contacto se debe limitar a 90 minutos. En climas cálidos este tiempo se debe reducir a 45 minutos.

Con el fin de incrementar el rendimiento de la obra se pueden combinar los dos procedimientos (tercer método), mezclando parcialmente en la planta y terminar de hacerlo en los camiones.

El empleo de concreto premezclado obliga al constructor a programar y coordinar con mayor exactitud las actividades dentro de la obra.



Figs. 3.24 y 3.25. Planta de Mezclas Móvil. Dosifica y Mezcla el Concreto.



Figs. 3.26 y 3.27. Planta móvil para Mezclas de Concreto.

3.10 Transporte y Colocación del Concreto Hidráulico

El proceso constructivo de un pavimento de concreto sin refuerzo comprende las siguientes actividades fundamentales:

Construcción de las obras de drenaje, adecuación de la sub-rasante, conformación de la instalación de formaletas e incorporación de los pasadores de carga y de las barras de anclaje, distribución, compactación, acabado y curado del concreto y ejecución de juntas.

Preparativos para la colocación del concreto.

Las operaciones necesarias para la preparación de la fundación del pavimento son tan importantes como la construcción misma de las losas, ya que la estructura no se comporta satisfactoriamente si no se construye sobre una superficie de soporte estable, continua y homogénea.

Si bien es cierto que los defectos en la fundación del pavimento no están asociados con fallas catastróficas, como en el caso de las estructuras verticales, sí pueden inducir labores de mantenimiento prematuras más costosas que la misma construcción.

Las operaciones previas son comunes en todos los sistemas constructivos y en ellos se incluyen la adecuación de la sub-rasante, la construcción de la base y en algunos casos el aislamiento entre la base y la losa.

Colocación y compactación del concreto

El tipo de concreto a colocar y sus características deben cumplir con lo especificado en el diseño de la mezcla, por lo cual al realizar el pedido de

concreto a la planta se deben definir los siguientes parámetros dados en el diseño:

- Tamaño máximo del agregado
- Resistencia del concreto a la tracción por flexión o módulo de rotura MR a los 28 días
- Asentamiento en el sitio de entrega
- Si se requieren aditivos, el tipo, nombre y dosificación

El tiempo que transcurre entre la mezcla del cemento con el agua y todo el proceso de colocación y acabado del concreto no debe superar en ningún caso el tiempo de fraguado inicial del concreto. Para determinar este tiempo, se debe consultar con la empresa productora de concreto o con un laboratorio especializado.

Es necesario planear la coordinación entre la producción de la planta, el transporte y el vaciado para obtener un ritmo de producción adecuado a los recursos y evitar inconvenientes.

Es importante preparar la base sobre la cual se vaciará el concreto humedeciéndola superficialmente, evitando así restarle humedad a la mezcla; durante el vertimiento se debe limitar la altura de descarga a menos de 1 m.

Al usar reglas o rodillos vibratorios, el concreto debe quedar un poco rebosante, con el fin de tener material para esparcir, vibrar y compactar.



Fig. 3.28. Descarga y Distribución del Concreto.

ACABADO SUPERFICIAL

Los procesos de terminación y acabado superficiales son:

Nivelación y flotado, para eliminar imperfecciones dejadas durante el vibrado o comparación, se usa el flotador y la llana en sentido transversal.

Microtexturizado, logrado longitudinalmente con una tela humedecida de fique, de tejido cerrado y sin costuras e imperfecciones, que se arrastra paralelamente al eje de la vía, cubriendo la superficie de la franja de trabajo con una pasada, cuando empiece el proceso de exudación en el concreto.

Texturizado, para dejar una textura estriada transversal en la superficie, aumentando la adherencia entre ésta y las llantas de los vehículos, además de crear microdrenaje y eliminar el hidropelaje, se usan los peines metálicos.

El acabado estriado se produce cuando un operario hala hacia si, desde una orilla opuesta a su posición, el peine metálico, trazando surcos paralelos producidos por el peso propio de la herramienta.

El momento del cepillado es cuando la apariencia del concreto deja de ser brillante, aprovechando la plasticidad en su etapa de fraguado inicial pero antes de un endurecimiento que impida el estriado correcto.

El manejo óptimo de la herramienta se completa con un operario en cada orilla de la franja de trabajo, con el fin de trasladar el peine paralelamente cada vez que se hace una pasada, teniendo cuidado de empezar a 19 mm de donde se terminó la franja anterior o sea sin traslapos.

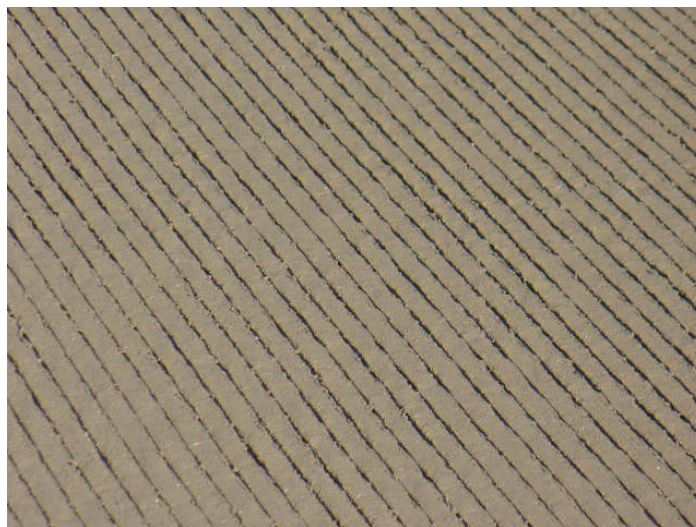


Fig. 3.29. Texturizado Transversal.

Curado

Este proceso de protección se inicia después del cepillado cuando desaparezca el brillo superficial del pavimento de concreto, y debe controlarse para que no queden en ningún momento superficies expuestas sin protección, garantizando

que el concreto alcance la resistencia y durabilidad para lo cual fue diseñado. El tiempo mínimo de curado es de 7 días.

El tipo de curado más adecuado en pavimentos, es la utilización de compuestos curadores, que son compuestos químicos que forman una membrana, sellando la superficie donde se aplica evitando la pérdida rápida de humedad.

Estos compuestos serán de color blanco y se aplican con aspersores que proporcionen un rocío fino en forma continua y uniforme. Se debe cubrir la totalidad de la superficie incluyendo las laterales.

Otros métodos de curado de pavimentos de concreto, son la utilización de cubiertas húmedas, plásticos o de riegos de agua. La utilización de estos sistemas debe cumplir con los requerimientos técnicos y deben ser aprobados por la supervisión.



Fig. 3.30. Curado químico del Pavimento de Concreto.



Fig. 3.31. Acabado superficial.



Figs.3.32 y 3.33. Acabado superficial



Fig. 3.34. Aserrado de las Juntas.

Modulación de juntas

La relación de esbeltez de las placas de concreto debe ser de máximo 1,25 (largo/ancho), para lo cual se deben tener en cuenta no solo el ancho de la calzada, sino también el espesor de la losa.

Si el ancho de la calzada dividido por 25 veces el espesor de la losa es mayor a uno, se necesita dividir la calzada en varias losas. En este caso el número resultante se aproxima al entero inmediatamente inferior y ese será el número de juntas longitudinales. El ancho de cada losa resulta de dividir la calzada por el número de losas. La junta transversal se debe cortar a máximo 1.25 veces esa dimensión.

3.10.1 Transporte del Concreto

Existen diversos sistemas para llevar a cabo el transporte del concreto desde el sitio donde está la planta hasta el lugar de su colocación. Sin embargo, los más empleados en la construcción de pavimentos de concreto son las carretillas y los camiones mezcladores, según el concreto se produzca en el sitio o sea premezclado. El sistema elegido resultará adecuado siempre y cuando se evite la segregación, pérdida de agua o contaminación de la mezcla. Así mismo el concreto debe conservar las características de trabajabilidad hasta el momento de su colocación.

Carretillas.

Es el medio de transporte empleado cuando se fabrica el concreto en la obra, ideal para distancias menores que 60.00 m. Las ruedas de las carretillas deben ser de caucho, para amortiguar el movimiento durante el transporte y, de esta forma, disminuir la segregación del concreto.

El rendimiento de este tipo de transporte depende de las condiciones de la obra y del número de carretillas disponibles. En condiciones normales se sabe que con una carretilla se pueden transportar entre 3.00 y 4.00 m³ de concreto por hora.



Fig. 3.35. Carretillas.

Camión mezclador.

Es el equipo ideal cuando se emplea concreto premezclado. Si bien es cierto que las condiciones de este tipo de transporte es responsabilidad de la empresa que suministra el concreto, conviene que el constructor del pavimento aprecie la diferencia entre las velocidades de mezclado y de agitación.

El número de revoluciones y velocidad de mezclamiento y agitación deben ser las recomendadas por el fabricante del equipo. La primera se refiere a la velocidad que se le debe imprimir al tambor cuando todos los componentes están dentro de éste, con el fin de mezclarlos satisfactoriamente para que el concreto adquiera una composición uniforme.

La velocidad de agitación es aquella a la cual debe girar el tambor para evitar que el concreto pierda la uniformidad, especialmente cuando el camión está en movimiento.

Cuando se presenten dificultades para el control de estos aspectos, se debe consultar la Norma ASTM C 94.



Fig. 3.36. Camión Mezclador

Transporte en volquetas.

El concreto se puede transportar en volquetas, siempre y cuando se mantengan las condiciones de homogeneidad durante el transporte y se entregue el concreto en la obra con el asentamiento previsto para el momento de su colocación.

La mezcla se debe proteger de las condiciones ambientales utilizando lonas o mantas impermeables para mantener constante su contenido de humedad.

El transporte del concreto se puede efectuar con las mezclas secas, o después de mezclarlo en las centrales.



Figs. 3.37 y 3.38. Volquetas ó Camiones de Volteo

3.10.1.1 Transporte del Concreto Mezclado en una Central

El transporte del concreto producido en centrales de mezclas se debe realizar en condiciones tales que, a la llegada a la obra responda a las características exigidas y pueda ser utilizado al instante; y que el abastecimiento sea suficiente para que la alimentación del equipo extendedor sea lo más regular posible, con el fin, sobre todo, de evitar las interrupciones sucesivas.

El transporte se efectúa mediante volquetas o camiones con capacidad para transportar un número de mezclas (1 ó 2).

El número de vehículos para el transporte del concreto debe ser mayor en dos o tres unidades al número teórico, teniendo en cuenta la distancia de la central a

la obra, las características de la vía que se toma (trazado, estado de recubrimiento, perfil), el tráfico y por lo tanto la velocidad media de circulación, la necesidad de asegurar una limpieza de vehículos y en especial, su lavado una vez cada tres días, y teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y las interrupciones accidentales.

Si el transporte se efectúa por una ruta que prevé el empleo de un tramo en donde la vía de concreto todavía no está construida, es posible que el jefe de obra esté obligado a prohibir la circulación de los vehículos cargados, teniendo en cuenta la edad, la resistencia insuficiente o la fragilidad de la capa de fundación y sólo permitir la circulación de vehículos vacíos o livianos; los cargados deberán tomar otras vías públicas, si existen, o utilizar los sitios de parada de emergencia, terraplenes provisionales, e inclusive rutas construidas al comienzo de la obra.

En ningún caso, los camiones cargados deben circular por los pavimentos recién construidos, excepto en el caso en que ellos hubieran sido construidos hace mucho tiempo y que el concreto haya alcanzado los límites de resistencia fijados para permitir la recepción de las obras y el paso de la circulación.

Convendrá por otra parte, estudiar con cuidado las posibilidades de circulación de los camiones y especialmente la de los remolques, para asegurar el vaciado de los vehículos delante del equipo extendedor de concreto, o para el vaciado dentro de la tolva de alimentación.

Se preparan rampas de acceso, sea para descender del pavimento existente a la fundación, o para efectuar el movimiento contrario. Se pueden utilizar placas de acero transportables que se colocan, cuando es necesario, evitando el desperdicio de materiales y trabajos de remoción posteriores y que aseguran un acceso que siempre estará bien ubicado cualquiera que sea el número de vehículos que lo usen.

El concreto se descarga directo sobre el suelo; en periodos cálidos y secos, el suelo debe humedecerse con el fin de evitar cualquier pérdida de agua del concreto.

Se practican dos métodos de descargue: El concreto se descarga en el eje de la vía o en dos cordones paralelos y la distribución del concreto sobre toda la longitud se hace con la ayuda de un tornillo sinfín.

Sin embargo, se debe anotar que el descargue en dos cordones cercanos a los bordes es preferible cuando el equipo deslizante trabaja en grandes anchos (8 m ó más), o inclusive cuando el dispositivo repartidor del equipo no es muy eficiente y actúa sólo en la superficie, provocando acumulaciones y escapes de mortero que, cuando se producen contra las formaletas, provocan hundimientos de los bordes de las losas a la salida de las formaletas deslizantes.

Cuando el suministro de concreto se hace a partir de una planta fija de concreto premezclado cercano a la obra, la primera operación que se debe efectuar a la llegada de la obra es la verificación del vale de entrega, en el cual se debe

controlar la hora de producción, la calidad y la cantidad de los diversos constituyentes.

Cuando el concreto se transporta con carros mezcladores, existe la posibilidad de girar la tolva con gran velocidad antes del descargue; esta operación tiene como fin reincorporar dentro de la masa del concreto el agregado que caería casi siempre al comienzo del descargue.

3.10.2 Colocación del Concreto

3.10.2.1 Labores Previas

En el diseño del pavimento se determinan todas las características del pavimento, tanto del trazado geométrico como el de las estructuras en sí, ya sea que se trate de un pavimento de concreto o de uno de asfalto.

El espesor de la losa podrá ser uniforme o tener un perfil trapezoidal con un sobre-espesor a la derecha, en el lado por donde circulan los vehículos pesados.

El tipo de drenaje entre las capas se debe definir con anterioridad con el fin de que los trabajos correspondientes se puedan realizar a tiempo, trátase de un concreto pobre que separe la fundación de la capa de rodadura, o de la capa drenante sobre la cual se coloca una losa gruesa, o de la capa de recubrimiento asfáltico.

Si el contrato de pavimentación no contempla la ejecución de la base, lo que es excepcional, el contratista procede, antes de empezar el trabajo, a revisar esta

capa y remitirle al jefe de obra la lista detallada de los defectos detectados, al menos cinco días antes de la ejecución de los trabajos.

La calidad de la base es muy importante para la durabilidad del pavimento, y es definitivo que en las juntas y en los bordes de la losa, la base sea bien drenada y lo menos sensible posible al agua, y que evite los riesgos de bombeo.

Los defectos que se deben señalar son los geométricos. Espesor y horizontalidad, pero también los defectos de homogeneidad de la resistencia, de dureza superficial, las fisuras, degradaciones superficiales, etc.

La colocación de los mojones en la obra obliga al contratista a verificar las cotas y dar a conocer sus observaciones; también debe proceder a colocar los mojones complementarios y, si no existen, abscisar cada 100 m.

Al mismo tiempo se deben determinar las coordenadas de los bordes de las losas de 10 en 10 m en los trayectos rectos, de 5 en 5 m en las curvas, de tal forma que se pueda asegurar la colocación de las formaletas o la implantación de los hilos en el caso de utilizar equipos dirigidos por sensores en dirección y altitud.

La flecha del hilo entre dos soportes debe ser inferior a 1 mm. De todas maneras, los topógrafos deben garantizar que los soportes no se desplacen.

Los soportes se deben instalar 48 horas antes del paso del equipo con el fin de verificar el espesor mínimo de la losa y rectificar si es necesario, el perfil longitudinal. Cuando se detecten grandes variaciones en el espesor del

concreto, especialmente en el borde de la vía, se puede colocar una capa de nivelación que sirva de refuerzo de la vía para el paso del equipo.

Teniendo en cuenta que los mojones condicionan el perfil definitivo de la vía, se deben instalar con cuidado.

Según las características del pavimento a construir, el concreto se puede colocar:

- Mediante la compactación del concreto con regla vibratoria, sostenida entre las formaletas.
- Por nivelación y compactación del concreto con un equipo apoyado sobre formaletas fijas.

Los procedimientos, a su vez, determinan los equipos de colocación y de cierta manera la evolución de las técnicas de construcción de los pavimentos de concreto, que ha pasado por:

- Formaletas fijas con vibración y terminación manual.
- Formaletas fijas, con vibración y terminación mecánica.

3.10.2.2. Colocación del Concreto

Se pueden iniciar los trabajos siempre y cuando los materiales de producción y los equipos de colocación del concreto hayan sido montados y estén en buen funcionamiento, además de que:

Su regulación está bien efectuada y los ensayos de dosificación hayan sido satisfactorios.

Los sitios de producción, de transporte y de colocación del concreto estén bien coordinados, y existe siempre comunicación entre el equipo de formaletas deslizantes y la central de producción del concreto.

El control de la producción del concreto se haya asegurado mediante registros.

El personal encargado del funcionamiento, del mantenimiento, de la regulación y del transporte de los materiales, haya sido instruido sobre lo que debe hacer para asegurar la buena marcha.

Cuando se haya realizado todo esto se deben iniciar los trabajos, adaptando el avance a las posibilidades humanas y de materiales, con el único interés de realizar un buen trabajo, y sin ningún ánimo de competencia.

3.10.2.3. Vaciado del Concreto y las Condiciones atmosféricas

Cuando las condiciones atmosféricas arriesgan perjudicar la calidad del concreto se deben tomar disposiciones particulares en la colocación del concreto. Para prever estas condiciones, conviene tener una relación estrecha con los servicios locales de meteorología, e inclusive disponer lo más cerca al lugar de la obra, de un registro de temperatura y humedad situado a un metro del piso.

Trátense de calor o de frío, las condiciones meteorológicas y sus evoluciones pueden ser tales que exijan la toma de disposiciones particulares que pueden ir hasta la interrupción de la colocación del concreto.

3.10.2.4. Vaciado del concreto en tiempo cálido

La colocación del concreto en tiempo cálido exige una atención particular en cuanto al secado superficial, y sobre todo en cuanto a la fisuración. Además, a mayor temperatura inicial del concreto las fisuras o las juntas se abren debido a la retracción térmica, lo que puede implicar una mala transferencia de carga de una losa a otra con un coeficiente de dilatación importante. Por lo tanto, toda precaución que conduzca a la disminución de la temperatura del concreto será favorable para la durabilidad de la estructura.

3.10.2.5. Vaciado del concreto en tiempo frío

Una característica de la colocación del concreto en épocas frías es el aumento del tiempo de fraguado y de endurecimiento, debido a la lentitud del fenómeno de hidratación del cemento.

Se puede prever la disminución de la cantidad de agua de la mezcla; se obtiene así un concreto con bajo asentamiento en el cono, de manera que se disminuyen los riesgos de asentamiento de los bordes como consecuencia de la prolongación del tiempo de fraguado.

Si se presentan riesgos de desecación superficial, inclusive en tiempo frío (viento, baja humedad), se puede exigir el refuerzo del producto de curado.

3.10.2.6. Colocación del Concreto en tiempo de lluvia

Una lluvia fina es desfavorable para el concreto, y mucho más lo son las lluvias violentas, que provocan problemas porque:

- Se borra el rayado del concreto fresco
- Se elimina el producto de curado
- Los bordes de las losas tienden a desmoronarse

En el primer caso, no hay nada que hacer de inmediato, fuera de recubrir la parte del concreto fresco con plásticos. Sin embargo, su peso y su contacto con el concreto borran las ranuras. No es aconsejable el rayado del concreto cuando el fraguado ha iniciado. La rugosidad se restablecerá posteriormente por un rayado en el concreto endurecido.

De todas maneras, después de la lluvia, es necesario volver a aplicar el producto de curado en aquellas partes donde se haya lavado por el agua.

Por el contrario, los desprendimientos de los bordes de las losas se pueden evitar colocando rápido formaletas livianas que se tienen almacenadas cerca de la obra a medida que avanza. Ellas se colocan sobre una longitud suficiente, desde el comienzo de la lluvia, de un lado y del otro de la losa.

De todas maneras, si se teme una lluvia violenta o prolongada, es preferible suspender los trabajos. La ejecución de las juntas de construcción, en condiciones meteorológicas muy desfavorables, se hace tomando precauciones similares a las expuestas en los párrafos correspondientes a la colocación del concreto.

3.10.2.7. Construcción de Juntas

El funcionamiento del pavimento depende de la correcta interpretación del diseño de las juntas y de una buena construcción del sistema de juntas.

A. Juntas transversales de contracción.

En la conformación de las juntas transversales de contracción se busca que en ella se dé una buena transmisión de cargas, ya sea por la trabazón de agregados o por la incorporación, en el concreto fresco, de dovelas.

B. Trabazón de agregados

La transmisión de cargas a través de los agregados exige una adecuada consolidación y uniformidad del concreto, que son los factores fundamentales para alcanzar las principales características del concreto tales como la durabilidad y la resistencia, por lo que la transmisión de cargas a través de los agregados se da como consecuencia natural de un buen proceso constructivo.

C. Corte de las juntas

El corte de las juntas es el medio más idóneo para generar las juntas transversales de contracción. El corte inicial produce un plano débil dentro de la losa por donde comienza la fisuración del concreto. Un corte posterior le dará a la junta el factor de forma acorde con el material de sello seleccionado para sellar las juntas.



Fig. 3.39. Ejecución de Juntas con Sierra de Disco.

El corte se ha de hacer, en el concreto endurecido, con la ayuda de sierras. La decisión del momento de hacer el corte es crítica y requiere experiencia y buen juicio, ya que la calidad del corte depende de la resistencia del concreto. Proceder a cortar muy rápido puede generar descascaramientos en el concreto y desviaciones en la dirección de la junta.

Hay que tener en cuenta que las condiciones ambientales (temperatura, humedad, velocidad del viento y la luz directa del sol) tienen gran influencia

sobre la velocidad con la que el concreto gana resistencia y sobre el momento ideal para comenzar los cortes.

El corte de las juntas sobre el concreto se debe hacer inmediatamente después de que el concreto alcance la resistencia necesaria para soportar el peso y el paso de los equipos de corte. Con condiciones normales, el corte se debe iniciar entre las 4 y 10 horas después de colocar el concreto, dependiendo del curado y del tipo de sub-base. Hay que tener especial cuidado en los climas cálidos en los que las condiciones ambientales son muy propicias para incrementar la velocidad de retracción del concreto que puede demandar un corte de las juntas antes de las cuatro horas mencionadas arriba.

El corte inicial para debilitar la sección, en pavimentos construidos sobre sub-bases granulares, se hace con una profundidad de una tercera parte del espesor de la losa con un ancho de 3 mm, una junta al menos cada 15 metros y luego se cortan las juntas intermedias. Cuando se trata de la construcción de pavimentos sobre bases estabilizadas, las juntas transversales de contracción se cortan sucesivamente, para evitar el agrietamiento errático.

El segundo corte, con el que se da el factor de forma, se puede hacer 7 días después del primer corte, pero antes de dar el pavimento de servicio.

La selección del material del disco (abrasivo seco o adiamantado húmedo) para el corte de las juntas depende de la dureza de los agregados utilizados para la producción del concreto, la cual puede ser baja, media o alta como lo indica la Tabla 3.2.

Los discos adiamantados pueden cortar todos los materiales, pero los abrasivos son suficientes y económicos para cortar concretos con agregados blandos.

Tabla 3.2.

Tabla de dureza de los agregados más comunes

Dureza		
Baja	Media	Alta
Caliza	Grava de río	Granito
Dolomita	Roca Volcánica	Pedernal
Coral		Calcedonia (Chert) Cuarzo

Hay que recordar que el operador de la sierra para el corte de vez en cuando medirá el diámetro del disco y la profundidad de los cortes en el concreto para asegurar que sí se está cortando la tercera parte del espesor del concreto.

El ritmo de construcción determina el número y la potencia de las máquinas para el aserrado de las juntas.

D. Limpieza de las Juntas

La caja en donde se aloja el material de sello debe estar limpia para asegurar una buena adherencia del material de sello y con esto garantizar un buen comportamiento a largo plazo. No se deben observar partículas duras, ni rastros de polvo provenientes del corte del concreto durante el proceso de sellado.

Se recomienda que al instante de terminar el corte de la junta se proceda a remover el lodo que se produce durante el corte. Cuando la junta se seque, se

remueven, con un procedimiento adecuado (chorro de arena y de aire, o sólo de aire), todos los residuos que se observen.

E. Sellado de la junta

Si el sellado se hace con productos líquidos cuando se terminen las labores de limpieza se procede a sellar las juntas, instalando primero el cordón de respaldo con las herramientas adecuadas para tal fin, que aseguren que el cordón de respaldo quedará a la profundidad deseada, luego se vierte el material de sello llenando la junta de abajo hacia arriba asegurando que se remueven las burbujas de aire atrapado.

Es recomendable que no se llene toda la junta, sino, por el contrario, dejar sin material de sello los 6 ó 10 mm superiores, para evitar que cuando la junta se cierre el material no sea extraído y no sea arrastrado por los vehículos.

El sellado de las juntas con sellantes de silicona de bajo módulo que no son autonivelantes, necesitan un acabado con herramientas manuales para dar la forma final y poner en contacto íntimo el sellante con las paredes de la junta.

Por último, el sellado con sellos preformados se hace untándole al sello el lubricante-adherente para después introducirlo en el corte de las juntas, el lubricante facilita la introducción y el adherente le da una ligera fijación a las paredes de la junta, durante el proceso de sellado hay que tener cuidado con no retorcer ni estirar el sellador. Algunos productores de estos sellos suministran equipos para instalarlos.



Fig. 3.40. Sellado de las Juntas.

F. Juntas transversales de construcción

Para los constructores estas son las juntas principales, porque no es fácil definir dónde se parará la obra. Si la junta transversal de construcción se va a realizar en el tercio medio de una losa de un carril adyacente es necesario que la junta de construcción esté dotada de hierros para cocerla evitando con ello los movimientos relativos y eliminando la posibilidad de que se desarrolle una fisura en la losa adyacente.

El método más común para finalizar las labores de construcción es rematando la obra contra una formaleta de madera que genera una cara lisa, por lo cual es necesario dotar esta junta de pasadores de carga. Así, en el resto del pavimento, la transferencia de cargas se está haciendo a través de la trabazón de agregados.

La formaleta se deja en su sitio hasta el momento de reiniciar las obras cuando se remueve. También se puede hacer una junta de construcción cortando el

concreto, en cuyo caso se extiende el concreto pasando por el sitio en que debe quedar la junta, y luego con la ayuda de sierras se corta y se remueve el concreto que esté más allá de la junta de construcción. Para alcanzar un buen resultado con el corte del concreto es necesario que las últimas tandas de concreto desarrollen más rápido la resistencia inicial. Al igual que con las juntas de construcción formaleteadas, es necesario poner dovelas, por lo que en este caso se necesita perforar agujeros para instalarlas.

Las juntas transversales de construcción no necesitan el corte inicial para debilitar la sección, sólo es necesario hacer el corte secundario para conformar la caja en la que se aloja el material de sello.

G. Juntas transversales de expansión

Junta de expansión sin dovela

La característica de las juntas de expansión sin dovelas es que el espesor de la losa se incrementa para reducir los esfuerzos de borde. El incremento del espesor es del orden de un 20% y la transición se desarrolla suavemente en una longitud de 6 a 10 veces el espesor de la losa.

H. Junta longitudinal de contracción

Las juntas longitudinales, cuando el pavimento se construye con un ancho de dos o más carriles, se cortan de manera similar a las juntas transversales de contracción, sólo que el momento del corte no es tan crítico, pero se deben

cortar rápidamente si la sub-base es estabilizada, apenas se corten las juntas transversales.

Por el poco movimiento que tienen estas juntas no necesitan de una caja para el sello, basta hacer un corte de 3 a 6 mm de ancho, con una profundidad igual a la tercera parte del espesor de la losa. Sin embargo, si se pide la caja para el sello, ésta se puede hacer con un equipo multi-disco que corta a la profundidad y anchos deseados.

Con el fin de optimizar el costo de los selladores de las juntas, en las longitudinales se puede utilizar un sellador diferente como consecuencia de los menores movimientos de estas juntas.

I. Junta longitudinal de construcción

En estas juntas hay dos aspectos para tener en cuenta: La inserción de las barras de anclaje y el sellado de las juntas. Respecto a la inserción de las barras de anclaje esto se puede hacer introduciendo, en el concreto fresco, las barras dobladas en un ángulo de 90°, perforando agujeros en las losas y luego meter las barras en ellos y asegurarlas con un mortero epóxico para que puedan cumplir su función, la cual es la de anclar las losas.

Cuando se opta por insertar las barras dobladas en un ángulo de 90° se debe preferir el acero de 40,000 psi al de 60,000 psi, ya que toleran mejor las deformaciones.

Las juntas longitudinales de construcción necesitan una caja para el sello, muy ancha para poder acomodar las variaciones longitudinales, en el borde de las losas, generadas por el proceso constructivo, pero el corte y el sellado son similares al de las juntas longitudinales de contracción.

3.11 EQUIPO UTILIZADO

FORMALETA PARA LOSAS

Las formaletas o moldes deben ser metálicos, rígidos, rectos, sin torceduras, con bordes formando ángulos rectos y de altura igual al espesor de la losa. La cantidad de moldes debe ser adecuada para el avance diario programado, considerando que no se debe desmoldar antes de lo especificado por diseño, según el tipo de concreto.



Figs. 3.41 y 3.42. Formaleta para losas.

EQUIPOS PARA LA FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y VACIADO DEL CONCRETO

El concreto a colocar en obra deberá ser suministrado y certificado por una planta de producción de concreto y transportado en camiones mezcladores, garantizando con esto las características de diseño de la mezcla en el momento de la colocación.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS PARA LA COLOCACIÓN Y ACABADO DEL CONCRETO

Reglas vibratorias

El empleo de equipos de vibración y colocación, resulta adecuado en la mayoría de las obras, produciendo simultáneamente la compactación y nivelación de la superficie. Se debe garantizar que el rendimiento, la calidad estructural y la rigidez del equipo, sean adecuados al tipo de obra a construir.

En este análisis se debe tener en cuenta el tipo de vía, ancho de calzada, espesor de la losa de concreto, pendiente, rendimiento necesario, índice de perfil y relación beneficio/costo.



Fig. 3.43. Reglas vibratorias.

Vibradores de inmersión

Se pueden utilizar como complemento en losas de gran espesor o en concretos de consistencia seca.



Fig. 3.44. Vibrador de Concreto.

Regla Manual ó Llana

Es una herramienta de acabado superficial, que es utilizada para allanar, pulir o alisar bien la superficie; consiste en un plato-base metálico liso y delgado provisto de un mango largo articulado, que al ser rotado acciona un mecanismo de elevación, que le permite deslizarse planeando sobre la superficie del concreto. La longitud del plato-base debe ser de mínimo 70 cm y su ancho de 15cm, también debe tener sus extremos redondos. Las llanas menores o manuales se emplean puliendo esquinas y bordes donde se requiere un mayor grado de detalle.



Fig. 3.45. Terminado o Acabado.



Fig. 3.46. Regla Manual ó Llana.

Peine metálico

Es una herramienta que consta de un cuerpo principal en forma de rastrillo o peine, que mide aproximadamente 80 x 20 cm, con dientes metálicos flexibles, y un mango, que se usa para dejar una textura estriada transversal en la superficie del concreto.

Los dientes del peine deben tener un ancho de cerda de $3 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ y una separación entre cerdas de $20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$. La huella que se deja en el concreto debe estar entre 3 y 6 mm de profundidad.



Fig. 3.47. Peine Metálico (Texturizado).

Máquinas cortadoras de concreto

Son equipos de corte, que utilizan discos diamantados de diferentes anchos, para realizar cortes iniciales y ensanche de las juntas en el pavimento de concreto.



Figs. 3.48 y 3.49. Máquina cortadora de concreto para el aserrado de las Juntas.

CAPITULO IV
CONTROL DE CALIDAD

CAPITULO IV

4.0 CONTROL DE CALIDAD

4.1 Concepto y Aspectos Básicos

El control de calidad se define como el conjunto sistemático de esfuerzos, principios, prácticas y tecnología de una organización de producción o industria, para asegurar, mantener o superar la calidad de un producto al menor costo posible.

La calidad quiere decir “lo mejor para el consumidor o el usuario”, dentro de ciertos atributos, como el costo inicial del producto y el servicio que proporcione, incluidos los problemas de operario o de uso; es decir, la calidad no es lo mejor sino lo más conveniente.

El control de calidad considera cuatro aspectos:

- Establecimiento de normas de calidad
- Estimación de concordancia con la normas
- Información oportuna y clara
- Acción cuando no se coincide con las normas

De la magnitud y el costo del producto, dependerá el grado de control que se tenga.

La intensidad del control de calidad depende del conocimiento que se tenga; de las necesidades y la magnitud de la obra o producción, así como de la disponibilidad de los elementos y la organización. Los últimos dos factores deben aumentar o mejorar si así lo requiere la obra; es decir, si al iniciarse una

obra no se cuenta con los suficientes elementos humanos y de equipo con la organización necesaria, se debe cuanto antes adquirir lo que se requiere, así como dar una organización adecuada para tener un buen control de calidad.

Las actividades del control de calidad son:

- *Preventivas*: se realizan investigaciones y se dan especificaciones y proyectos realistas.
- *Control de proceso*: se debe exigir el cumplimiento de las especificaciones y del proyecto en las etapas intermedias de producción o construcción.
- *Verificación del producto u obra*: se debe cumplir la meta propuesta y de acuerdo con lo alcanzado, se realizan los pagos y ajustes correspondientes; asimismo, se debe observar el comportamiento que se manifieste durante la operación o el uso del producto elaborado.
- *Motivación*: el control de calidad debe motivar en forma adecuada al personal para alcanzar la meta propuesta. En el control de calidad, se debe realizar la retroalimentación de las experiencias adquiridas durante la construcción o producción y tomarlas en cuenta para modificar total o parcialmente las especificaciones y los proyectos.

Para aplicar el control de calidad, se cuenta con diferentes herramientas, como las especificaciones y los proyectos; los procedimientos de prueba y aparatos

de medición; la estadística y los sistemas de información y procesamiento de datos.

Para el control de calidad, es muy importante el conjunto de especificaciones que se manejen, pues fijan de un modo u otro las metas que se persiguen, los procedimientos de construcción, la forma de medición de los volúmenes de obra, las bases de pago y el modo de verificar si se ha alcanzado lo deseado (procedimientos de prueba y normas de calidad).

Un cuadro completo de especificaciones técnicas es indispensable para manejar con claridad y de un modo razonable todos los aspectos legales de la construcción; pero una aplicación rígida de las especificaciones sin un criterio amplio, conduce al anquilosamiento de las técnicas empleadas y a la negación de la ingeniería.

La aplicación de las especificaciones debe estar a cargo de personas con suficientes estudios técnicos o prácticos, pues de otra manera se puede dar una interpretación contraria a la meta que se persigue.

Las especificaciones resultan de investigaciones, experiencias y estudios minuciosos de correlación, que toman en cuenta todos los datos recabados durante la construcción y operación de las obras, como las condiciones de clima, geología, tránsito, etc., que pudieran afectarles.

Para fijar las especificaciones, se requiere personal profesional, se recomienda capacidad técnica, teórica y práctica; y apoyarse en instituciones especializadas, como los centros de estudios superiores.

Hay tres tipos de especificaciones:

- a) Normas o especificaciones institucionales respecto a la construcción de un tipo general de obra; estas normas se aplican, por ejemplo, a todos los tipos de caminos construidos en un país.
- b) Las especificaciones particulares se refieren a la construcción especial de un tipo de obra de la que se contemplan en la normas. Para caminos, puede haber especificaciones particulares para autopistas, caminos vecinales, caminos de bajo costo, etc.
- c) Las especificaciones complementarias, se indican en el proyecto de una obra en particular.

Las especificaciones complementarias tienen mas valor en su aplicación; después siguen la particulares y al ultimo están las normas, cuando hay conceptos donde se contrapongan.

La trascripción ciega de normas técnicas producidas por instituciones de otros países, que parecen muy avanzadas, suelen conducir a políticas inadecuadas.

Las especificaciones deben ser realistas y ajustarse a lo que se debe y puede lograrse, dadas las características del país en donde se construirán las obras.

4.1.1 Inspección y Muestreo

El control final de calidad de los materiales y los métodos de construcción deben ser acompañados a través de la inspección del trabajo.

El muestreo y las pruebas deben hacerse de acuerdo a las especificaciones. El resto de la responsabilidad recae en el personal de campo, tiene la misión de verificar que los materiales usados cumplan con los requerimientos de la especificación y que los procesos especificados sean seguidos.

4.2 Control de Calidad en las Vías Terrestres

Para construir las vías terrestres, es necesario llevar a cabo diferentes controles, a fin de obtener obras con la calidad necesaria en el tiempo programado y con los costos presupuestados.

Se ha pensado que este control debe estar a cargo de los laboratorios; pero estos son solo auxiliares para controlar los materiales y los procedimientos de construcción, cuyas recomendaciones deben atender los ingenieros de obra; si hay discrepancias, es preciso aclarar los puntos de vista.

El control de calidad de caminos, interviene en todas las etapas de la obra; es decir desde el proyecto y construcción hasta la operación y el mantenimiento.

Un plan adecuado de control de calidad se basa en los siguientes factores:

- ¿Qué se desea? O ¿Qué se requiere?
- ¿Cómo pueden ordenarse y programarse las actividades que conduzcan a la meta?
- ¿Cómo determinar que se ha alcanzado esta meta?

En rigor, se necesita un sistema de acción susceptible de ser retroalimentado; de esta manera los requerimientos interaccionan continuamente con los logros parciales y finales de la obra.

Al formular la filosofía del proyecto, el ingeniero debe entender que la construcción no debe clasificarse como buena o mala, sino que habrá una gama de condiciones a partir de la óptimas y que deberá considerar las posibilidades de variación dentro del propio diseño, en relación con la calidad de los materiales y la técnicas constructivas, así como las tolerancias en casi todas la actividades.

Por último, se exige un sistema de inspección, muestreo de materiales y pruebas que permita analizar las condiciones para la construcción, así como las tendencias y oscilaciones de los trabajos.

Para conocer la calidad de los materiales, verificar la calidad de la obra y estructurar la sección transversal de una vía terrestre, es necesario apoyarse en laboratorios de materiales, en donde se ejecuten las pruebas adecuadas al caso.

En un programa de control de calidad se define el conjunto de pruebas que es necesario realizar para clasificar los materiales, verificar la calidad de la obra, proyectar la estructura y proporcionar la base metodológica y técnica del programa.

Las pruebas deben cumplir ciertos requisitos:

- Estar dirigidas a características esenciales
- Basarse en amplios estudios locales
- Estar rigurosamente estandarizadas
- Realizarse con rapidez y sencillez
- Interpretarse con facilidad
- Ser confiables
- Que requieran equipos económicos, de fácil reparación y calibración.

La elección de las pruebas debe basarse en el estudio detallado de las que se realizan en otros lados para el fin que se persigue. Asimismo, se deben tomar en cuenta diferentes aspectos, como la confianza que se puede tener en ellas por su reproducibilidad, el grado de dificultad en su ejecución, las posibilidades de error, la precisión requerida en los resultados, la disponibilidad de equipo, etc.

4.3 Plan de Control de Calidad.

Es una descripción detallada del tipo y frecuencia de la inspección, muestreo y ensayo considerado como necesario para medir y controlar las diferentes características establecidas en las especificaciones de un contrato para cada ítem de trabajo.

En el Plan de Control de Calidad debe detallarse el tipo y frecuencia de la inspección, muestreo y ensayos necesarios para medir y controlar las diferentes propiedades de los materiales y las construcciones gobernadas por las especificaciones.

Como mínimo, el plan de muestreo y ensayo deberá detallar la localización y las técnicas del muestreo en adición a la frecuencia de muestreo a utilizar. El muestreo y ensayo del Control de Calidad ejecutado por el Contratista podrá ser utilizado por la Supervisión para aceptación.

4.3.1 Generalidades

El Plan de Control de Calidad será un conjunto de actividades destinadas a verificar la calidad del producto terminado y de acuerdo a los resultados obtenidos, aceptarlo o rechazarlo. El control de calidad se realizará de conformidad con los documentos de las Bases de Condiciones Técnicas de la licitación y especificaciones del proyecto, cumpliendo con los valores permisibles de ensayos AASHTO y/o ASTM y las frecuencias de los ensayos, alcances de los servicios y el plan de control de calidad.

El Sistema de Control de Calidad cubrirá ciertos aspectos tales como:

- Materiales
- Equipos y maquinaria
- Topografía

- Procedimientos constructivos
- Factores climatológicos
- El personal.

El Control de Calidad funcionará por medio de una Unidad la cual dispondrá de una brigada de topografía, un laboratorio de suelos y materiales en obra e inspectores de campo.

La Brigada de topografía, será asignada a tiempo completo y radica en las inmediaciones de la obra.

La condición de permanencia de la brigada de Topografía y el manejo directo de la información topográfica, permitirá una relación directa con los encargados del área productiva para operativizar los aspectos relacionados al trazo, nivelación, ubicación de obras y recepción de niveles entre otros. Sin embargo su trabajo diario tiene que ser del conocimiento y aprobación tanto del Ingeniero de Topografía como del Ingeniero Residente de Proyecto quien oficializará los resultados e instrucciones sobre la topografía del proyecto.

Para asegurar la calidad de suelos, materiales y pavimento, se contará con los servicios de un laboratorio de suelos y materiales con sus respectivos técnicos los que serán asignados a tiempo completo y supervisados por el Ingeniero de Control de Calidad.

El plan debe detallar:

- La frecuencia del muestreo y ensayo, coordinación de actividades, acciones correctivas a ser implementadas y documentación general.

- Cómo los deberes y las responsabilidades serán logrados y documentados, y si requieren a más de un técnico certificado.
- El criterio utilizado por el Técnico para corregir o rechazar materiales no satisfactorios.

La inspección de los trabajos, el muestreo y las pruebas de laboratorio son procedimientos de control de calidad, cuya finalidad es el cumplimiento de las especificaciones técnicas.

a) Programa de control de la calidad

Algunas de las bases en que se sustenta el programa de control de calidad son:

- El control de calidad debe efectuarse previamente y en el transcurso de la obra.
- La mayoría de las etapas del proceso constructivo se pueden vigilar por simple observación, de forma tal que se generan resultados más sencillos y económicos que al estar realizando intensos muestreos y ensayos finales.
- El control en el desarrollo de los trabajos y su aceptación a través de la documentación referente a los requerimientos contractuales, serán de mucho apoyo en la recepción definitiva en la finalización de la obra.

b) Especificaciones y normas de referencia

Será indispensable mantener las especificaciones necesarias, para la realización de los trabajos.

Especificaciones:

En las especificaciones se detallan y enumeran aspectos (contractuales, de procesos, productos y materiales) que son parte de un proyecto; además, expresan valores de tolerancia para ciertos materiales y productos relacionados con la construcción.

Norma:

Es un ordenamiento imperativo de acción que persigue un fin determinado. Se traduce en un enunciado técnico que a través de parámetros cuantitativos y/o cualitativos, sirve de guía para la acción.

Las normas se emplean para la ejecución de ciertas pruebas y ensayos de control de la calidad.

En la actualidad las especificaciones y normas son una pieza fundamental en la ejecución de un segmento del control de la calidad en la construcción. Es de hacer notar, que los valores que brindan las normas indican únicamente parámetros esperados, los cuales no deben asumirse como una verdad absoluta; por lo cual, solamente deben servir de base como una guía de comparación.

4.3.2 Organización Técnica del Sistema de Control de la Calidad**a) Organización**

La organización va dirigida a tomar el control de la calidad del producto, basándose en los datos obtenidos.

a.1) Personal para ejecutar pruebas

El personal que ejecuta las pruebas debe tener suficiente práctica y habilidad en las labores que le corresponden, además de mostrar interés para que los resultados obtenidos sean de utilidad en la obra. Asimismo, será muy importante la ética del laboratorista para no alterar los resultados de las pruebas por dolo o imprevisión.

El jefe del laboratorio debe conocer la ejecución de la pruebas para detectar los posibles errores de los laboratoristas para así poder controlar y organizar los trabajos. Debe interpretar en forma adecuada los resultados pruebas, con objeto de hacer las observaciones y recomendaciones necesarias para realizar el proyecto y ejecutar las obras. Es preciso que tenga una gran ética profesional para resolver de modo adecuado la interacción existente entre la calidad, los avances y los costos de la obra.

El trabajo del jefe de laboratorio debe estar apoyado técnicamente en personas de mas experiencia que lo guíen, por lo que es necesario contar con un cuerpo de ingenieros supervisores, en numero suficiente según el volumen de la obras. Deben actualizarse en forma constante, pues además de supervisar los laboratorios, intervendrá en la formulación o modificación de las normas y los procedimientos de construcción.

El supervisor conocerá la capacidad del personal de los laboratorios y tendrá un contacto suficiente con el para transmitirle los nuevos conocimientos.

Asimismo, podrá hacer los movimientos necesarios para que cada laboratorio cuente con los laboratoristas, el equipo y la maquinaria (vehículos) que respondan al volumen y el tipo de de trabajo que se esté atendiendo.

a.2) Organigrama de los encargados del control de la calidad

El plan de control de la calidad, deberá poseer el organigrama del grupo que controlará la calidad del proyecto.

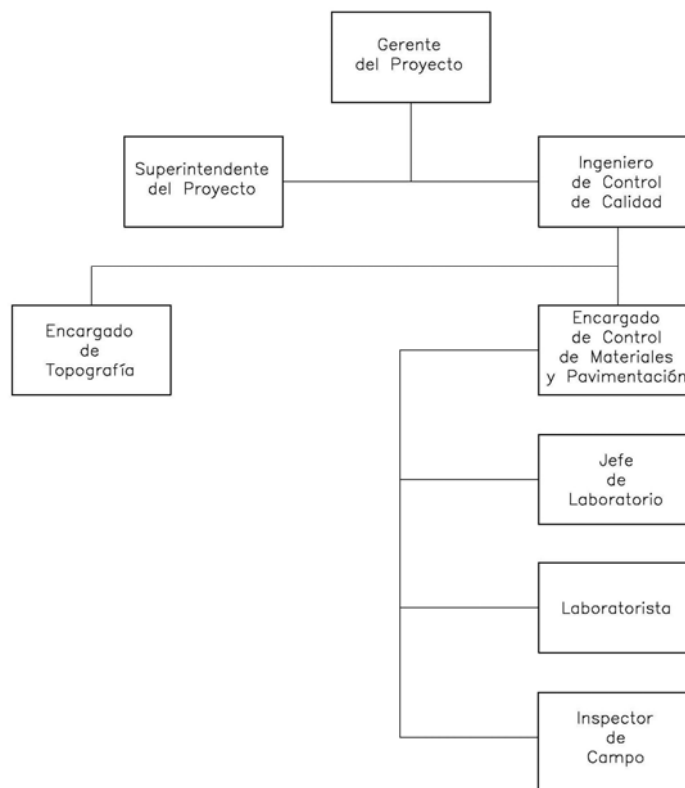


Fig. 4.1 Organigrama del Control de Calidad

a.3) Funciones y Responsabilidades del Personal de Control de Calidad.

Ingeniero de Control de Calidad

Tendrá la máxima autoridad de dicha área, tramita todas las orientaciones y disposiciones del resto de técnicos que trabajarán en el Control de Calidad.

Tareas Administrativas:

1. Control y administración de los recursos dispuestos para la Construcción del proyecto en lo que respecta al Control de Calidad.
2. Orientación al personal del Laboratorio para la realización de las tareas de autocontrol.
3. Coordinación y comunicación con el Supervisor, para la solución de los problemas.
4. Registro de todo lo relacionado a cambios, instrucción, comunicación y en general del Proyecto.
5. Elaboración de los documentos de Aprobación de Requisito Contractual.

Tareas Técnicas:

1. Estudio y conocimiento general del alcance de la obra y documentos iniciales (planos, especificaciones, etc.).
2. Revisión de levantamiento
3. Orientación al personal de Topografía.
4. Dirigir al personal del Laboratorio sobre la estrategia y control de la obra.
5. Coordinación y comunicación con el Superintendente de la Obra para una mejor ejecución.
6. Seguimiento en la programación mensual de la obra.
7. Orientar y verificar la frecuencia de muestreos de suelos y materiales y la ejecución de los diferente ensayos de laboratorio.

8. Control, verificación y seguimiento a recepciones de obras y calidad de materiales.
9. Definición de soluciones ante resultados no satisfactorios en chequeo topográfico, laboratorio.

Encargado de la Topografía del proyecto:

Debe conocer las técnicas utilizadas para realizar las diferentes mediciones, necesarias para el desarrollo de las actividades. Además de las tolerancias permisibles descritas en las especificaciones del proyecto.

Debe poseer una copia de todos los planos topográficos utilizados en el proyecto. Su responsabilidad reside en las siguientes actividades:

1. Coordinar el levantamiento topográfico del proyecto
2. Asegurar que la calibración de los equipos de topografía sea el adecuado antes de iniciar los levantamientos topográficos.
3. Entregar a la Supervisión para su chequeo todos los bancos de marca y los mojones para el control horizontal y vertical
4. Establecer bancos de marca adicionales según convenga para la ejecución de los trabajos
5. Resolver cualquier inexactitud encontrada en los planos.
6. Asegurarse que los trabajos topográficos se ejecuten en forma apropiada.

Encargado de control de materiales

Su misión es investigar la calidad de los materiales procedentes de los diferentes bancos de préstamo y los suministrados por las diferentes empresas proveedoras. Es de suma importancia la coordinación con el encargado del laboratorio para el desarrollo de un buen control de los materiales. La inspección de los materiales y su correspondiente control se puede realizar en diferentes puntos como:

- En el lugar de producción
- En el momento de entrega
- En el lugar de acopio de los mismos.

Para realizar su trabajo debe, conocer los ensayos a efectuar para medir la calidad de los materiales, además de poseer principios básicos de estadística.

Este deberá realizar las siguientes actividades, como parte de su trabajo:

1. Establecer y mantener procedimientos documentados para asegurar que los productos están conformes con los requisitos especificados.
2. Realizar el muestreo de los materiales en alguno de los puntos mencionados anteriormente.
3. Prevenir cualquier desabastecimiento de materiales, por medio del control de su suministro o existencia en el proyecto.
4. Realizar un control sobre el suministro de los materiales. Además de exigir la entrega de sus respectivos certificados de calidad.

5. Colaborar con el Ingeniero de Control de Calidad en la recopilación, interpretación y elaboración de informes de los ensayos realizados.
6. Asegurarse que todos los materiales cumplen con las especificaciones y que han sido propuestos para aprobación por medio de documentos.
7. Asegurar que los productos recibidos no serán utilizados hasta que hayan sido verificados como conformes con los requisitos especificados.
8. Establecer registros para demostrar que se han realizado las pruebas necesarias, estos registros deben mostrar aceptación o rechazo de los materiales a utilizar de acuerdo a los requisitos establecidos.

Jefe de Laboratorio.

Su apoyo será el laboratorio de suelos y materiales y estará subordinado al Ingeniero de Control de Calidad del Proyecto.

Será el encargado de:

1. Control de los trabajos de recepción, acomodo y ensaye de materiales.
2. Buen funcionamiento del laboratorio
3. Ejecución y supervisión en el desarrollo de las pruebas del laboratorio.
4. Evaluación de forma aleatoria al personal del laboratorio en el desempeño de los métodos de ensayo
5. Control de equipos para la ejecución de pruebas.
6. Resguardo y actualización de las Normas que rigen los ensayos
7. Sustituirá a cualquiera de los laboratoristas.

8. Seguimiento de la verificación y calibración de equipo.

9. Las demás que le asigne su superior.

Laboratorista de Suelos y Materiales

1. Revisará la calidad de los suelos y bancos de materiales que se utilizarán en la obra, recomendando la aplicación técnica más adecuada para cada uno de ellos.

2. Revisará los procedimientos para el control de calidad de los suelos y materiales que serán utilizados en la obra.

3. Revisará la calidad de los materiales encontrados.

4. Revisará la producción de agregados y creará el control de calidad necesario para que estos materiales cumplan con las especificaciones al llegar a obra.

5. Dará especial seguimiento al control de calidad del material empleado para pavimento .

6. Encargado de revisar y dar mantenimiento en forma periodica el equipo de laboratorio de suelos y materiales

7. Las demás que le asigne su superior.

Inspectores de Campo

Seguimiento continuo a las obras en ejecución, son los encargados de velar en los diferentes frentes de trabajo que los procesos constructivos se ejecuten de acuerdo a lo establecido en las Especificaciones Técnicas.

Controlar la calidad de los materiales utilizados, así como la calidad de mano de obra.

4.3.3. Procedimientos de Construcción

En este apartado deben describirse los procedimientos utilizados para construir el elemento, en este caso, la capa de rodadura.

4.3.4 Metodología del Plan de Control de Calidad

a) Planteamiento general

Se da a conocer la metodología del plan para el control de calidad de los diversos aspectos, utilizando como base las especificaciones y normas.

b) Sistema aplicado al control de la calidad

Es una pequeña descripción de la organización del control de la calidad, el sistema de control de la calidad, el tipo y cantidad de mínima de ensayos necesarios.

4.3.5 Comunicación durante El Desarrollo del Proyecto

a) Reuniones

Se establece la realización de reuniones en el proyecto, detallando lugar de realización y fecha tentativa de las reuniones, además deben fijarse con claridad diversos pormenores que deben abordarse en estas, tales como: avance físico de la obra, problemas importantes, entre otros.

b) Documentos

En este apartado se establecen los documentos que se utilizarán y se presentarán en el proyecto.

El Contratista deberá mantener un registro adecuado de todas las inspecciones y ensayos. Los registros deberán indicar la naturaleza y el número de las observaciones hechas, el número y tipo de las deficiencias encontradas, las cantidades aprobadas y rechazadas y la naturaleza de la apropiada acción correctiva tomada. La documentación de los procedimientos del Contratista serán sujetos de aprobación por parte de la Supervisión, previos al inicio del trabajo y a las revisiones de conformidad durante el desarrollo del mismo.

4.3.6 Procedimientos de Control de la Calidad

a) Aspectos a controlar en la estructura del pavimento.

Estos aspectos miden el nivel de desempeño del proceso, en el cual se presentan una serie de variables que afectan su desarrollo como:

La calidad de los materiales empleados, el método (procedimientos) de construcción propuesto para realizar la obra, entre otros. Pero a la vez se encuentran algunos problemas para el desarrollo del proyecto; tal es el caso de la necesidad de cumplir con programas de desarrollo de obras estrictos, que pueden provocar descuidos e inexactitud en los trabajos, etc.

Lo anterior permite observar que existen ciertos factores que afectan la variación en el resultado del proceso constructivo (ver figura 4.2).

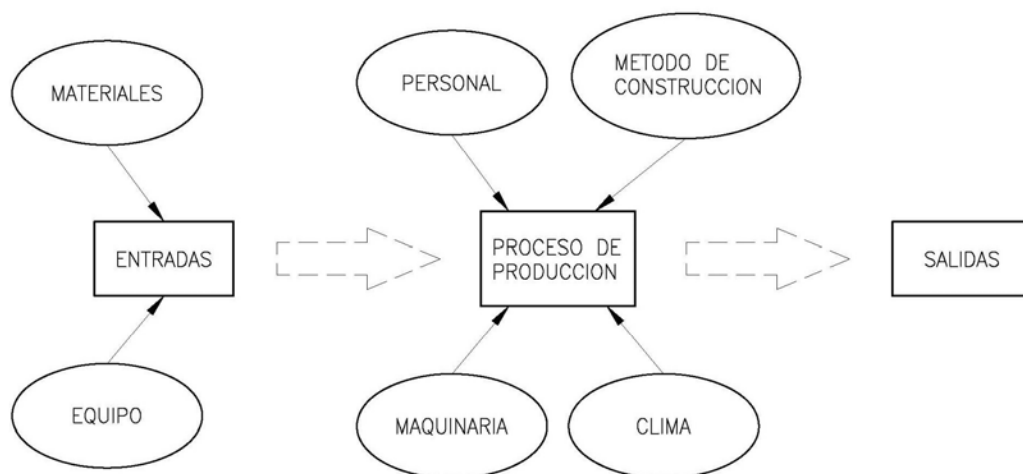


Figura 4.2 Diagrama de proceso de producción común, de forma general y los factores que influyen en la variabilidad del mismo.⁴

a.1) Formatos de control e inspección

Estos deber ser creados para brindar un mayor entendimiento de los resultados tanto de inspecciones como de ensayos.

⁴ Fuente: Evans, J.; “Administración y Control de la Calidad”; Grupo Ed. Iberoamericana, México.

El Contratista deberá mantener un registro adecuado de todas las inspecciones y ensayos. Los registros deberán indicar la naturaleza y el número de las observaciones hechas, el número y tipo de las deficiencias encontradas, las cantidades aprobadas y rechazadas y la naturaleza de la apropiada acción correctiva tomada. La documentación de los procedimientos del Contratista serán sujetos de aprobación por parte de la Supervisión, previos al inicio del trabajo y a las revisiones de conformidad durante el desarrollo del mismo.

Todas las inspecciones y resultados de ensayos conformes y no conformes deberán guardarse completamente y deberán estar disponibles todo el tiempo para la Supervisión durante la ejecución del trabajo. Los formatos estarán en un medio informático aceptable y donde se requiera. Las copias deberán someterse a aprobación de la Supervisión a medida que progresa el trabajo.

Todas las cartas y expedientes que documentan la inspección y las pruebas del control de calidad del contratista se convertirán en documentación de la Supervisión sobre la terminación del trabajo.

a.2) Control de materiales

Conocer la calidad de los materiales antes de su utilización ayuda a que algunos constructores puedan observar una posible amenaza en cuanto a su incumplimiento con respecto a las especificaciones, pues un aparente beneficio económico en muchos casos, genera errores de información, regulación y

certificación de la calidad de los productos disminuyendo la calidad del pavimento construido.⁵

Los responsables que intervienen en los materiales utilizados para la construcción de una vía de comunicación se mencionan a continuación y lo hacen de esta forma:

Los materiales empleados en un proyecto son especificados por el diseñador, quien transfiere la información al propietario o propietarios del proyecto, estos a su vez se las proporcionan a las constructoras que finalmente adquieren los materiales y productos necesarios, además son estos quienes emplean los materiales para la construcción de una obra civil, influyendo directamente en su calidad (Figura 4.3).

También intervienen en este proceso los proveedores, quienes poseen información acerca de sus productos y procesos, y son los encargados, en primer momento, de mantener la calidad de sus productos al momento de su fabricación.

⁵ Véase el “Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales”, Comitran XXIII, SIECA, Sección 104.07, “Materiales”, y Sección 106, aspectos relacionados a bancos de préstamo. (Marzo de 2001).

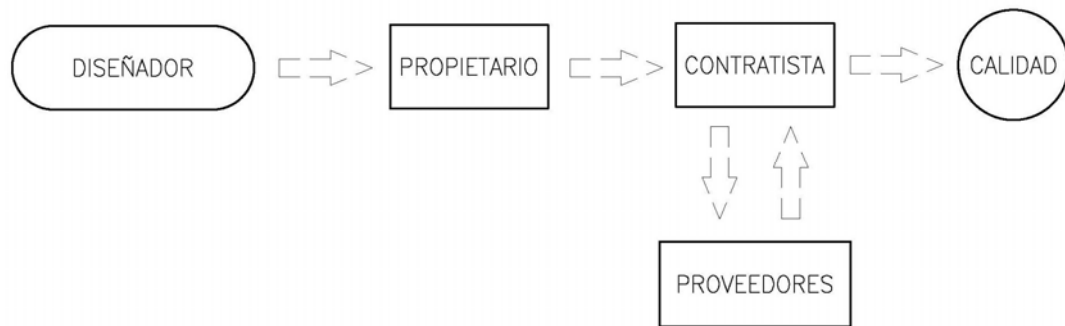


Figura 4.3. Muestra el flujo de información acerca de los materiales utilizados en la construcción de un pavimento.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, podemos dividir el estudio de los factores que afectan a los materiales en 3 etapas:

1. Diseño (El diseñador y el propietario)
2. Manufactura (Los proveedores)
3. Utilización (Los Constructores)

a.3) Control de procedimientos de construcción

El método utilizado para la elaboración de una obra civil define las actividades a ejecutar para realizar la construcción y además las variables a controlar en el mismo.

El contratista además de identificar y planear los procedimientos, debe asegurar que estos se llevarán a cabo bajo condiciones controladas; algunos requisitos que deben cumplirse en este punto son los siguientes:

- a) Establecer procedimientos documentados que definan la forma de producción, construcción e instalación.

- b) Definir y utilizar equipo apropiado de construcción, para realizar los procedimientos propuestos, además de poseer conocimiento pleno del mismo.
- c) Contratar y recurrir a personal responsable, con un alto conocimiento de los procesos y procedimientos y que posea suficiente experiencia.
- d) Cumplir con normas, especificaciones o códigos establecidos para el desarrollo de los procedimientos establecidos.
- e) Desarrollar el monitoreo y control de parámetros apropiados del proceso y características del producto.

Cuando los resultados de los procesos no puedan ser completamente verificados mediante inspección y prueba sucesiva del producto y donde los errores en el pavimento, solamente puedan ser aparentes después de su utilización; las actividades deben ser realizadas por operadores calificados y/o mediante monitoreo y control continuo de los parámetros, para asegurar que se cumplan los requisitos.

a.4) Consideraciones Climatológicas

Este es un aspecto que se maneja a nivel técnico o con muy pocas bases científicas; muchas veces se asocia al retraso en la ejecución de las actividades o la presentación de problemas en materiales o errores en los procedimientos de construcción, que ideológicamente van asociados a cierto costo económico (de materiales, mano de obra, maquinaria y reparaciones), sin observar muchos otros factores que son influenciados, indirectamente.

Un problema que frecuentemente se aprecia es que los inspectores, restringen el estudio de estos factores a lo citado por las especificaciones y normas utilizadas para la realización de los trabajos, lo que a veces dificulta la capacidad en la recolección de información, análisis y predicción; destinado a anticipar, corregir y prevenir los posibles efectos que el medioambiente puede tener sobre el proceso de construcción de una obra vial.

a.5) Maquinaria

La maquinaria juega un papel muy importante en la calidad de un pavimento, ya que interactúa directamente con la estructura del mismo. Sin embargo se puede observar la existencia de poca referencia, de acuerdo a normas, que se refieran a este componente (maquinaria) de la construcción de un pavimento.

a.6) Equipo

Son todas aquellas herramientas, instrumentos o aparatos de uso convencional; utilizados para el desarrollo de diferentes actividades, en el área de la construcción.

Los equipos en conjunto con la maquinaria y de forma incidental, se utilizan en el desarrollo de los diferentes trabajos.

El equipo utilizado para realizar las diferentes actividades en la construcción de una carretera es variado; el cual puede ir desde una simple balanza o cinta métrica, hasta equipo más complejo como lo es una cortadora mecánica o un aparato de medición con estación total. De igual manera su utilización es muy variada; ya que hay equipo que puede ser utilizado como un instrumento para

tomar medidas hasta equipo utilizado para protegerse de los accidentes más frecuentes ocurridos en el desempeño de las labores.

a.7) Calidad Final Del Producto

Este es el último control que se aplica, antes de la recepción de la obra. Consiste en la verificación de ciertos parámetros por medio de ensayos y pruebas aplicadas al producto entregado, estos se realizan con equipos especializados para medir los factores o propiedades que se establecen son de mucha importancia para la operación del producto. Las pruebas que se realizan en esta parte, ya están definidas por las especificaciones. Pero resultaría de utilidad definir muy bien que pruebas son necesarias realizar en esta parte del proceso de control de la calidad, ya que podría estarse midiendo propiedades innecesarias que no son bajo las cuales trabajará la obra; de ser así estaría desperdiciándose tiempo y dinero en pruebas que no servirán de nada sino solamente para complicar el entendimiento de las propiedades del producto o generar inseguridad en los resultados anteriores.

Recordemos que las características que debe reunir un pavimento son las siguientes:

- Comodidad: Es la capacidad de un pavimento de no causar molestias al usuario cuando este se conduce por dicho pavimento.
- Durabilidad: Es la característica que nos permite conocer la duración de un pavimento y esta relacionada con su capacidad estructural o resistencia.

- Seguridad: Es la capacidad por medio de la cual se puede conducir sobre de un pavimento, sin que ocurra un accidente debido al tránsito.

Y es bajo esas características de trabajo que un pavimento debe ser evaluado al final de su construcción.

b) Procedimientos de obtención de la información

Debe establecerse por medio de procedimientos documentados, la manera en que se recolectará la información obtenida del control de la calidad.

4.3.7 Control Estadístico de la Calidad

a) Establecimiento de las herramientas de análisis estadístico de los datos

Se debe establecer la utilización de las herramientas estadísticas apropiadas para el análisis de los datos, que puedan brindar resultados útiles para el análisis.

b) Justificación de los métodos de control estadístico

Se debe justificar bajo información efectiva, la utilización de las herramientas propuestas para el análisis estadístico de los datos.

c) Formas de presentación

La forma de su presentación se establecerá de acuerdo a las circunstancias de su empleo, estas pueden ser: escritas, digitales, gráficas, entre otras.

4.3.8 Funcionamiento de Laboratorio de Suelos y Materiales

El funcionamiento del laboratorio básicamente se limita a verificar las propiedades tanto de los materiales como de las mezclas a utilizar en la obra, ya sea en el campo como en el laboratorio que estará ubicado en el sitio de obra, por lo que para ello se contará con el equipo necesario, el procedimiento de aprobación de los materiales a utilizar y los procesos de construcción. Se deberá contar con las instalaciones y elementos adecuados para el buen funcionamiento del laboratorio, dentro de los cuales podemos mencionar las siguientes:

- Área de trabajo para realizar los ensayos correspondientes.
- Área de instalación de los equipos a utilizar
- Tarimas de almacenamiento de muestras según sea su clasificación.
- Formularios para registros de ensayos, entre otros.

La importancia de un laboratorio de suelos y materiales, radica en su utilización para realizar pruebas o ensayos que forman parte del control de la calidad tanto de los materiales como de los procesos y el resultado del producto terminado. Dichos ensayos se deben desarrollar a través de procedimientos confiables, de los cuales se puedan obtener resultados que reflejen lo que está ocurriendo en el área de trabajo o campo, y los que se confrontan con los parámetros de diseño establecidos en las especificaciones técnicas de cada proyecto.

Con lo anterior, podemos entender que el laboratorio, no es más que una herramienta utilizada para realizar el control de la calidad en la construcción; y como toda herramienta o equipo, necesita una calibración o inspección para que pueda desempeñar un trabajo libre de errores. Es debido a lo mencionado anteriormente, que se ha decidido investigar las variables que afectan en su desarrollo y que, como consecuencia también afectan al control de la calidad en la obra.

Para obtener dichas variables es necesario observar el trabajo que se realiza a diario en el laboratorio, específicamente el proceso que se lleva a cabo. Al observar dicho proceso podremos dividirlo en actividades básicas utilizadas para la realización del trabajo que se desempeña en este lugar.

Las actividades principales, en que se dividen el proceso realizado en un laboratorio de suelos y materiales, son las siguientes:

1. Conocimiento del ensayo a realizar.
2. Obtención de una muestra de material (muestreo de campo) para realizar el ensayo.
3. Apuntes de aspectos importantes del lugar de muestreo (ubicación, observaciones, entre otros).
4. Desarrollo de la prueba o ensayo.
5. Obtención de los resultados
6. Presentación y archivo de los resultados.

Las actividades mencionadas anteriormente por lo general componen el sistema empleado en un laboratorio de suelos y materiales. Estas se encuentran influenciadas por factores que intervienen en su desarrollo. Generalmente, se exige al Laboratorio, para poder desarrollar sus funciones en una forma efectiva, constante y confiable, que cuente con personal de laboratorio altamente capacitado y equipo de medición y ensayo adecuado.

a) Establecimiento de procedimientos de muestreo y almacenamiento

Etapa de Producción y Manejo

Una vez el proceso de producción ha iniciado, es necesario que tanto en la planta de producción como en el sitio de la obra, se ejecuten los muestreos y ensayos necesarios para controlar que los agregados y la mezcla tengan las propiedades establecidas durante la etapa de diseño. El muestreo y los ensayos a ejecutar en la planta de producción, deben realizarse en una ubicación conveniente cerca del punto de carga. La muestra debe ser tomada una vez la bachada está completamente cargada y dentro del camión que la transportará.

b) Equipo utilizado

En este punto deben de mencionarse todos y cada uno de los equipos utilizados, además su frecuencia de calibración y mantenimiento.

c) Seguridad en el laboratorio.

Se deben seguir las medidas de seguridad para aquellos ensayos que representen algún tipo de riesgo, y de esta manera poder llevar a cabo efectivamente las actividades.

d) Ensayos de laboratorio a realizar

Se deben mencionar mediante un listado, los ensayos que el laboratorio de la empresa puede realizar en el campo y los que se realizarán externamente.

e) Procedimientos de documentación y registro

Deberán establecerse procedimientos escritos de documentación y registro para su aprobación. Además se debe evaluar la forma de almacenamiento de la información, el flujo y entrega de los documentos.

4.3.9 Tratamiento de la Información

a) Manejo de la información

En este punto deben definirse, los procedimientos de manejo de la información, por medio de documentos determinando:

- El flujo de estos
- Las personas que deben recibir, analizar y aprobar dicha información.

b) Procedimientos propuestos para el tratamiento de no conformidades.

Se propondrán y establecerán procedimientos para la identificación y análisis de no conformidades en el proyecto y su respectivo tratamiento.

Según lo requerido en las Condiciones Técnicas, se indica el proceso de resolución de problemas propuesto para casos de posible no-conformidad con las especificaciones u otros documentos contractuales.

b.1) Ensayos no conformes

Cuando cualquier aspecto ligado al ensayo de materiales tenga resultados que no satisfagan aquellos que sean predecibles de la aplicación de una Instrucción de Ensayo en particular, se sigue según establece el Procedimiento de Control de Ensayos No Conformes. En este procedimiento se han establecido las responsabilidades y las autoridades para gestionar ensayos no conformes:

- Definir las acciones inmediatas cuando se detecten ensayos no conformes.
- Evaluar la magnitud del trabajo no conforme.
- Tomar acciones correctivas.
- Notificar al cliente, si aplica
- Autorizar la continuación del trabajo

El resultado de la investigación y las decisiones y acciones tomadas respecto a cada ensayo detectado como No Conforme son registrados y mantenidos por el Gestor de Calidad.

b.2) Acciones correctivas

Las acciones correctivas son tomadas para eliminar las causas de no conformidades con respecto al ensayo de materiales, quejas o reclamos de los clientes, quejas de los proveedores, Sistema de Gestión de Calidad y auditorías internas. Se efectúan de modo que correspondan apropiadamente a la magnitud de los problemas y en concordancia con los riesgos involucrados.

b.3) Análisis de Causas

El Procedimiento de Acciones Correctivas establece la necesidad y la responsabilidad de realizar una investigación de las causas de no conformidades para determinar los orígenes de los problemas.

b.4 Selección e Implantación de Acciones Correctivas

Se identifican las posibles causas de no conformidades, así como las acciones correctivas potenciales con el propósito de seleccionar aquellas acciones correctivas que eliminan el problema.

Si se considera necesario, se puede realizar una acción preventiva para prevenir la recurrencia del problema y tomar ventaja de las oportunidades de mejora.

Si como resultado de la aplicación de una acción correctiva se efectúan cambios en la documentación, los mismos serán controlados, aprobados e implementados.

b.5) Seguimiento de las Acciones Correctivas

Cada acción correctiva que es implementada es sometida a seguimiento para asegurar que las acciones correctivas tomadas han sido efectivas. Durante las actividades de Revisión por la Dirección se consideran las acciones correctivas como parte de dicha revisión para determinar los Planes de Acción requeridos para el mantenimiento y mejora del Sistema de Gestión de Calidad.

4.3.10. Procedimientos de almacenamiento.

Definición de la forma de almacenamiento de la información

Este es un aspecto de mucha importancia ya que, es importante conservar la información en forma ordenada y en buen estado para disponer de ella en el futuro.

4.4 Control de calidad en la construcción de los pavimentos con mezclas en frío

En el control de calidad de las mezclas bituminosas se pueden distinguir cuatro fases:

- Control de los materiales
- Control del proceso de fabricación
- Control de la puesta en obra
- Control de la capa terminada

En la primera fase hay que realizar unos ensayos, tanto en su origen (Fig. 4.4) como en los acopios (Fig. 4.5) (que deben estar hechos en una proporción elevada antes del comienzo de las obras) para garantizar que los materiales básicos cumplen con lo especificado.



Figura 4.4. Banco de Agregados



Figura 4.5. Acopio de Materiales

En la central de fabricación se debe controlar, en primer lugar, el buen funcionamiento de sus diversos elementos, poniendo especial atención en la calibración de los sistemas de dosificación.

Sobre la mezcla fabricada se deben realizar periódicamente unos controles del contenido de ligante y de la granulometría de los áridos, realizando ensayos de extracción.

Con una frecuencia menor, hay, que fabricar probetas y comprobar que se satisfacen las características mecánicas y de contenido de vacíos que fueron fijados en el proceso de dosificación.

Al salir la mezcla de la Planta de fabricación se deben tomar muestras con la que se elaboran probetas cuya densidad se toma como referencia para el control de la compactación. Terminada esta, hay que comprobar que se ha alcanzado la densidad especificada. Los métodos de control de densidad que tienen un mayor rendimiento son los basados en técnicas nucleares, similares a

los que se usan en el control de la compactación de los suelos. Aunque con ellos no se obtiene una medida precisa de la densidad de la capa, proporciona unos valores relativos suficientemente significativos no solo del grado de compactación, sino también de la homogeneidad de la capa. Al final de la jornada hay que extraer núcleos de forma rotativa (Fig. 4.6), lo que sirve también como comprobación de los espesores y para poder contratar en el laboratorio las características mecánicas de la mezcla.



Figura 4.6. Núcleos extraídos del pavimento

4.4.1 Especificaciones

Emulsión Asfáltica Aniónica.

De conformidad con AASHTO M 140 (ver tabla 4.1 a y b). Para los grados RS-1h y RS-2h, se deberán cumplir los mismos requisitos para los grados RS-1 y RS-2, excepto que el asfalto residual (producto del ensayo de destilación)

deberá presentar una penetración a 25°C (AASHTO T 49) de 0.40 a 1.00 centímetros.

Emulsión Asfáltica Catiónica.⁶

De conformidad con AASHTO M 208 (Tabla 4.2). Para los grados CRS-1h y CRS-2h, se deberán cumplir los mismos requisitos para los grados CRS-1 y CRS-2, excepto que el asfalto residual (producto del ensayo de destilación) deberá presentar una penetración a 25°C (AASHTO T 49) de 0.40 a 1.00 centímetros.

Emulsión Asfáltica de Rotura Acelerada.

De conformidad con los requisitos mostrados en la Tabla 4.3.

⁶ En El Salvador, actualmente sólo se emplean Emulsiones Catiónicas, de acuerdo a consultas realizadas a empresas que producen asfalto en el país. Información proporcionada por: Ing. Dilber Sánchez (Catedrático Universidad de El Salvador); Ing. Aníbal Nájera (Multipav, S.A. de C.V.); Julio de 2008.

Tabla 4.3**Requisitos De Calidad para Emulsiones de Rotura Acelerada**

Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	AASHTO T 59 20 a 100 s F
Residuo por destilación	AASHTO T 59 57 % mín
Ensayo de tamizado por malla No. 20	AASHTO T 59 0.10 % máx.
Pruebas en el asfalto residual producto del ensayo de destilación	
(a) Penetración a 25°C, 100 g, 5s	AASHTO T 49 0.40 a 1.00 cm
b) Solubilidad en tricloroetileno	AASHTO T 44 97.5 % mín.
(c) Ductilidad a 25°C, 50 min / min	Ductilidad a 25°C, 50 min / min

Temperaturas de aplicación.

La aplicación de cementos asfálticos de acuerdo a las normas será de conformidad con la Tabla 4.4.

Tabla 4.4
Temperaturas de aplicación – rangos en grados centígrados (°C)

Tipo y grado de emulsión asfáltica	Rangos de temperatura para la aplicación del cemento asfáltico	
	Temperaturas de aplicación (aspersión)	Temperaturas de mezclado (1)
RS-1	20 – 60	x
RS-2	50 – 85	x
MS-1	20 – 70	20 – 70
MS-2, 2h	x	20 – 70
HFMS-1, 2, 2h, 2s	20 – 70	10 – 70
SS-1, 1h	20 – 70 (2)	20 - 70
CSS-1, 1h	20 – 70 (2)	20 – 70
CRS-1	50 – 85	x
CRS-2	60 – 85	x
CMS-2, 2h	40 – 70	50 - 60

(1) Temperatura de la mezcla asfáltica en la descarga.

(2) Para sellos asfálticos y riegos de imprimación.



Figura 4.7. Medición de la temperatura.

4.4.2 Materiales

Los agregados pétreos no deben ser susceptibles de ninguna meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que puedan darse en la zona de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua.

Deben realizarse todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exijan en especificaciones propias de cada proyecto.

Agregado grueso.

Este material consiste en piedra o grava de buena calidad, triturados y mezclados de manera que el producto obtenido cumpla con los requisitos siguientes:

- (1) Abrasión de los Ángeles, (AASHTO – T 96), 40% máx.
- (2) Pérdida por disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio (ácidos), AASHTO T 104, 12% máx.
- (3) Caras fracturadas, FLH T 50T, 75% min
- (4) Índice de durabilidad (grueso), AASHTO T 210, 35 min

No deben usarse agregados con caras pulidas o que contengan carbonato soluble. El residuo insoluble debe ser menor del 25% por peso, de acuerdo a ASTM D 3042.

Agregado fino.

El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena, de acuerdo con la especificación AASHTO M 29, incluyendo la pérdida en sulfato. La proporción de arena natural no podrá exceder de veinticinco por ciento (25 %) para bajo tráfico. En todo caso, la proporción de agregado fino no triturado no podrá exceder la del agregado fino triturado

Debe llenar además, los requisitos siguientes:

(1) Índice de durabilidad (fino), AASHTO T 210 35 min

(2) Equivalente de arena, AASHTO T 176 35 min

El llenante mineral podrá proceder de la trituración de los agregados o aportarse como producto comercial o especialmente preparado para este fin. La proporción de llenante mineral de aporte se fijará en las especificaciones particulares de cada proyecto.

Granulometría de agregados mezclados.

Consiste en la combinación de diferentes tamaños de agregados que deben llenar los requisitos siguientes:

(1) Mezcla de granulometría densa (Tabla 4.3)

(2) Mezcla de granulometría abierta (Tabla 4.5)

(3) Grumos de arcilla y partículas friables, AASHTO T 112, 1% máx

(4) Libre de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias deletéreas.

Tabla 4.5
Rangos requeridos Granulometría densa para pavimentos con emulsión
asfáltica

Malla	Porcentaje por peso pasando la malla estándar (AASHTO T 27 Y AASHTO T 11)				
	Designación de la granulometría				
	A	B	C	D	E
50 mm	100				
37.5 mm	95-100	100			
25 mm		95-100	100		
19 mm	60-80 (7)		95-100	100	
12.5 mm		60-80 (7)		95-100	100
9.5 mm			60-80 (7)		95-100
4.75 mm	20 -55 (7)	25 -60 (7)	35-65 (7)	45-70 (7)	60-80 (7)
2.36 mm	10-40 (6)	15-45 (6)	20-50 (6)	25-55(6)	35-65 (6)
300 µm	2-16 (4)	3-18 (4)	3-20 (4)	5-20(4)	6-25 (4)
75 µm	0-5 (3)	1-7 (3)	2-8 (3)	2-9(3)	2-10 (3)

() Desviación permisible (±)

Tabla 4.6 Muestreo y Ensayo para mezcla asfáltica densa

Material o Producto	Propiedad o Característica	Categoría	Método de Prueba o Especificación	Frecuencia	Punto de Muestreo
Capa de mezcla asfáltica de graduación densa y asfalto emulsificado	Contenido de asfalto	I	AASHTO T 164	1 cada 500 Toneladas	Posterior a la colocación, previo a la compactación
	Granulometría (1) 4.75 mm 2.36 mm 75 µm otros tamices especificados	I II I II	AASHTO T 27 y T11	1 cada 500 Toneladas	Posterior a la colocación, previo a la compactación
	Densidad (a partir de núcleos) (2)		AASHTO T 166/AASHTO T 209	1 cada 500 Toneladas	En sitio, posterior a la compactación

(1) Utilizar sólo los tamices requeridos por las especificaciones de granulometría.

(2) Obtener los núcleos en la capa compactada, de acuerdo con AASHTO T230 (método B). Llenar y compactar los orificios de las muestras con mezcla asfáltica con graduación densa y asfalto emulsificado.

Tabla 4.7**Rangos requeridos Granulometría abierta para pavimentos con emulsión asfáltica**

Porcentaje por peso pasando la malla estándar (AASHTO T 27 Y AASHTO T 11)				
Malla	Designación de la Granulometría			
	A	B	C	D
37.5 mm	100			
25 mm	95-100	100		
19 mm		95-100	100	
12.5 mm	25-65 (7)		95-100	95-100
9.5 mm		25-55 (7)	35-40 (7)	
4.25 mm	0-10 (5)	0-10 (5)		
2.36 mm	0 -5 (3)	0 -5 (3)	3-7(3)	
1.18 μ m				0 -5 (3)
75 mm	0 -2 (1)	0 -2 (1)	0-1(1)	0 -2 (1)

() Desviación permisible (\pm)

Tabla 4.8

Muestreo y Ensayo para mezcla asfáltica abierta

Material o Producto	Propiedad o Característica	Categoría	Procedimiento de ensayo	Frecuencia de muestreo y ensayo	Punto de Muestreo
Mezcla asfáltica de graduación abierta preparada en frío con emulsión asfáltica	Contenido de asfalto residual	I	AASHTO T 164	1 cada 500 Toneladas	Vehículo de transporte, posterior a la descarga de Planta.
	Granulometría (1) 9.5 mm 4.75 mm 75 µm Otros tamices especificados	I I I II	AASHTO T 27 y T 11	1 cada 500 Toneladas	Vehículo de transporte, posterior a la descarga de Planta.

(1) Utilizar sólo los tamices indicados para la granulometría especificada.

Las recomendaciones más generales para el transporte/almacenamiento de las emulsiones asfálticas son las que se describen a continuación:

1) Si el depósito se usó para almacenar emulsiones aniónicas y se van a almacenar emulsiones catiónicas, es necesario neutralizar la acción de aquella lavando el tanque, primero con agua y posteriormente con ácido clorhídrico diluido al uno por ciento.

- 2) Por el contrario, si el depósito se usó para almacenar emulsiones catiónicas y se quiere almacenar emulsiones aniónicas, se tendrá que lavar con agua y neutralizarlo con soda cáustica al 0.3 por ciento.
- 3) Para descargar más emulsión sobre la ya almacenada, es necesario que el tubo de descarga llegue al fondo para no romper la nata de la superficie, de otra forma, se corre el riesgo de obstruir las bombas.
- 4) Cuando una fábrica o compañía está establecida permanentemente en una región donde se registran temperaturas muy bajas, los tanques deben tener un sistema de calentamiento adecuado o estar cubiertos con algún sistema aislante, para evitar la congelación.
- 5) Cuando los tanques de almacenamiento sean los que usa una compañía constructora, los depósitos se protegerán con mechones alrededor, lo que será suficiente para que no baje la temperatura. Si los tanques están enterrados, no hay necesidad de tomar otra medida para evitar la congelación.
- 6) Antes de recibir una emulsión en obra, se recomienda comprobar su calidad y el tipo de emulsión de que se trate, haciendo las pruebas de identificación que se recomiendan en cada caso.
- 7) Una emulsión que cumple con las especificaciones de calidad, puede estar almacenada durante más de un año, si se recircula sistemáticamente para mantenerla homogénea.
- 8) Los tanques de almacenamiento deberán tener un sistema de recirculación, con el objeto de evitar el asentamiento del asfalto contenido en la emulsión.

9) La temperatura ambiente al aplicarse la emulsión, deberá ser de 10°C mínimos y en ascenso y nunca debe aplicarse la emulsión cuando baje la temperatura durante la noche.

10) La emulsión, una vez que es desestabilizada (o sea que ya se produjo el rompimiento), no debe de re-emulsificarse aún en presencia de agua y del paso de los vehículos; por este motivo es muy importante que el emulsificante sea el adecuado.

Agua

El agua por emplear en la elaboración de mezclas densas en frío deberá ser limpia y libre de materia orgánica. Su pH, medido de conformidad con la norma ASTM D-1293, deberá encontrarse entre cinco y medio y ocho (5.5 - 8.0) y el contenido de sulfatos, expresado como SO_4^{-2} , y determinado según norma ASTM D-516, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1 g/l).

Preparación de la superficie existente

La mezcla asfáltica en frío no debe extenderse hasta que se haya comprobado que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas de nivel indicadas en los planos.

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias admitidas en la especificación respectiva, deberán ser corregidas de acuerdo con lo establecido en ella.

Antes de aplicar la mezcla, se verificará que haya ocurrido el curado del riego previo, no debiendo quedar restos de fluidificante en la superficie. Si hubiera

transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se comprobará que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial; si ello ha sucedido, deberá efectuarse un riego adicional de adherencia.

Un riego de imprimación sirve tres propósitos:

- Ayuda a prevenir la posibilidad de que se desarrolle un plano de deslizamiento entre la capa de base y la capa superficial.
- Evita que el material de base se desplace bajo las cargas de tránsito, durante la construcción antes de que la primera capa sea colocada
- Protege las capas de base de la intemperie.

La cantidad de aplicación para riegos de imprimación varía con el tipo de asfalto utilizado. Para un asfalto diluido de curado medio MC-30, 70 o 250, la cantidad de aplicación varía entre 0.9 a 2.3 litros por metro cuadrado; cuando se usa asfalto emulsificado SS-1, SS-1H, CSS-1 o CSS-1H, varían entre 0.5 y 1.4 litros por metro cuadrado por cada 25 mm de profundidad. Los valores exactos de aplicación son determinados por el ingeniero.

Si existiese exceso de asfalto sobre la capa de base, deberá secarse con arena limpia.

4.4.3 Elaboración de la mezcla

Cuando la mezcla se elabore en instalaciones fijas, los agregados se suministrarán fraccionados. El número de fracciones deberá ser tal que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias aceptadas en la

granulometría de la mezcla. Cada fracción será suficientemente homogénea y deberá poderse acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación.

Cada fracción del agregado se acopiará separada de las demás para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los quince centímetros (15 cm) inferiores de ellos. Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a un metro y medio (1.5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se acopiarán por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado.

La carga de las tolvas se realizará de forma que éstas contengan entre cincuenta por ciento (50%) y cien por ciento (100%) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas se regularán de forma que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de obra de alimentación en frío.

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, se pesarán o medirán exactamente; y se transportarán al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Si la instalación de fabricación de la mezcla es de tipo continuo, una vez que los agregados se encuentren en el mezclador, se introducirá el agua de pre-
envuelta necesaria de acuerdo con la humedad de aquéllos y, más adelante, la
cantidad de emulsión requerida a la temperatura apropiada, manteniendo la
compuerta de salida a la altura que proporcione el tiempo teórico de mezcla
especificado.

La tolva de descarga se abrirá intermitentemente para evitar segregaciones en
la caída de mezcla al camión.

Si la instalación es de tipo discontinuo, después de haber introducido los
agregados en el mezclador, se añadirá el agua necesaria de preenvuelta de
acuerdo con la humedad de aquéllos y, tras un lapso que permita el
humedecimiento homogéneo de los agregados, se añadirá automáticamente el
material bituminoso calculado para cada bachada, el cual deberá encontrarse a
la temperatura adecuada y se continuará la operación de mezcla durante el
tiempo especificado.

En mezcladores de ejes gemelos, el volumen total de los agregados, agua y
asfalto no será tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando
éstas se encuentren en posición vertical.

Según el tipo de instalación, la mezcla puede caer directamente a la volqueta, a
una banda transportadora, a un silo desde donde se vierte a la volqueta o
directamente a una pila de almacenamiento. En el caso de emplearse una
banda, se deberá regular su velocidad, verificar el buen funcionamiento del

raspador y lubricar con una pequeña cantidad de agua, con el fin de evitar segregaciones de la mezcla.

Cuando la mezcla se elabore en plantas ambulantes, la dosificación de los agregados se deberá efectuar en una instalación ubicada fuera de la obra, donde las volquetas serán cargadas y transportarán la mezcla de agregados a la tolva receptora de la planta ambulante, la cual estará provista de dispositivos dosificadores similares a los de las plantas continuas, los cuales deberán ser sincronizados para obtener las proporciones deseadas de agregados, agua y emulsión. Los ingredientes serán conducidos a una mezcladora continua que verterá la mezcla en la carretera. La distribución de la mezcla se hará por medio de dos tornillos sinfín delante de una viga maestra niveladora, que extiende y perfila la capa.

En todos los casos en que se empleen aditivos, éstos se unirán a los agregados antes de su mezcla con la emulsión asfáltica.

4.4.4 Transporte de la mezcla

La mezcla se transportará a la obra en volquetas, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con la luz solar. Sólo se permitirá el trabajo en horas de la noche si, a juicio del supervisor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de la mezcla de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla deberán tomarse las precauciones necesarias para reducir al mínimo las pérdidas de humedad, así como para prevenir la segregación de la mezcla.

4.4.5 Colocación de la mezcla

La mezcla densa en frío se extenderá con la máquina pavimentadora, de modo que se cumpla con los alineamientos, anchos y espesores señalados en los planos.

A menos que se ordene otra cosa, la extensión comenzará a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior de las secciones peraltadas. La mezcla se colocará en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad de la operación de extendido, teniendo en cuenta el ancho y pendientes de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

La colocación de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, verificando que la pavimentadora deje la superficie a las cotas previstas con el objeto de no tener que corregir la capa extendida. Por ningún motivo se permitirá el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se permitirá la segregación de materiales. Si ocurre, la extensión de la mezcla deberá ser suspendida inmediatamente hasta que su causa sea

determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación, deberá ser removida y reemplazada con material apropiado, a expensas del Constructor.

Tras la pavimentadora se deberá disponer un número suficiente de obreros especializados, agregando mezcla y enrasándola, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada se ajuste enteramente a las condiciones indicadas en esta especificación.

En el caso de que la mezcla se elabore y extienda con la planta ambulante, serán igualmente aplicables todas estas instrucciones.

En los sitios en que a juicio del Supervisor no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras o plantas ambulantes, la mezcla podrá extenderse a mano. La mezcla se descargará fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se distribuirá en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos, en una capa uniforme y de espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a los planos o a las instrucciones del Supervisor, dentro de las tolerancias establecidas en las especificaciones.

No se permitirá la extensión de mezclas densas en frío cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a diez grados Celsius (10°C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra.

4.4.6 Compactación de la mezcla

La compactación de la mezcla se realizará de acuerdo con el plan propuesto por el Constructor y aprobado por el Supervisor durante la fase de experimentación.

La compactación deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindro avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aceptada por el Interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Los rodillos deberán llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el Interventor, y sus cambios de dirección se harán sobre la mezcla ya compactada.

La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se complementará con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Se cuidará que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos.

En los lugares inaccesibles a los equipos normales de compactación, el proceso se efectuará mediante máquinas de tamaño y diseño adecuado para la labor por realizar.

Cuando la mezcla tenga por objeto servir como capa de rodadura, la textura del pavimento terminado deberá ser uniforme y permitir una adecuada adherencia con las llantas de los vehículos en condición de superficie húmeda.

El grado de compactación deberá ser del 96% como mínimo, según ASTM 2950.

Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el supervisor determinará el espesor medio de la capa compactada el cual no podrá ser inferior al de diseño. Además, el espesor obtenido en cada determinación individual, deberá ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, admitiéndose sólo un valor por debajo de dicho límite.

Planeidad

La superficie debe ser chequeada con una regla de 3 m en sentido transversal y longitudinal. La superficie acabada no podrá presentar zonas de acumulación de agua ni debe variar más de 5 mm en los 3 metros paralelos a la línea central y no más de 8 mm en los 3 m perpendiculares a la línea central.

Las zonas que presenten deficiencias en planeidad deberán ser fresadas y repuestas por el Constructor.

Textura y resistencia al deslizamiento

En el caso de mezclas compactadas como capa de rodadura, el coeficiente de resistencia al deslizamiento deberá ser, como mínimo de 0.55 en cada ensayo individual, (debiendo efectuarse un mínimo de tres) pruebas por lote. Estas medidas se realizarán transcurridos como mínimo treinta días de puesta en servicio de la capa.

Si este requisito no se cumple, la capa de mezcla densa en frío correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta por el constructor.

Rugosidad

Para mezclas densas en frío que hagan las veces de capa de rodadura, el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se comprobará en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Su determinación se realizará con un equipo de medida de precisión o por medio de un sistema de referencia inercial, en tramos de un hectómetro. Los requisitos por cumplir, son los indicados en la tabla siguiente.

TABLA 4.9. Valores de IRI que deben cumplir Pavimentos de Nueva Construcción

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	IRI (m/km) o (dm/hm)
50	< 1.5
80	< 2.0
100	< 2.5

Juntas de trabajo

Las juntas presentarán la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa compactada.

El borde de la capa extendida con anterioridad se cortará verticalmente con el objeto de dejar al descubierto una superficie plana y vertical en todo su espesor, que se pintará como se ha indicado en el párrafo anterior. La nueva mezcla se extenderá contra la junta y se compactará y alisará con elementos adecuados, antes de permitir el paso sobre ella del equipo de compactación.

Las juntas transversales en la capa de rodadura se compactarán transversalmente.

Cuando los bordes de las juntas longitudinales sean irregulares, presenten huecos o estén deficientemente compactados, deberán cortarse para dejar al descubierto una superficie lisa vertical en todo el espesor de la capa. Donde el Supervisor lo considere necesario, se añadirá mezcla que, después de colocada y compactada con pisonos, se compactará mecánicamente.

Se procurará que las juntas de capas superpuestas guarden una separación mínima de cinco metros (5 m) en el caso de las transversales y de quince centímetros (15 cm) en el caso de las longitudinales.

4.4.7 Equipo Utilizado

Los principales elementos requeridos para la ejecución de los trabajos, son los siguientes:

Equipo para la elaboración de agregados triturados

La planta de trituración estará provista de una trituradora primaria, una secundaria y una terciaria siempre que ésta última se requiera; deberá incluir

también una clasificadora y, de ser necesario, un equipo de lavado. Además, deberá estar provista de los filtros necesarios para prevenir la contaminación ambiental.

Planta mezcladora

La mezcla densa en frío deberá fabricarse en plantas apropiadas, capaces de manejar simultáneamente el número de fracciones de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada. Dichas plantas deberán cumplir con todo lo referente al control de polución.

Si se utiliza una planta fija para la fabricación de una mezcla densa en frío, ésta podrá ser de tipo continuo o discontinuo y dispondrá del número necesario de tolvas, con sus dosificadores, que le permita manejar simultáneamente el número de fracciones de agregados disponibles para obtener la granulometría seleccionada para la elaboración de la mezcla.

Las tolvas deberán tener paredes resistentes y estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición. El número mínimo de tolvas será función del número de fracciones de agregados por emplear.

Las instalaciones de tipo discontinuo deberán estar provistas de dispositivos de dosificación por peso cuya exactitud sea superior al medio por ciento (0.5%).

Los dispositivos de dosificación de agua y ligante tendrán una exactitud, como mínimo de tres por mil (0.3%). El ligante, que deberá tener un sistema idóneo de almacenamiento y alimentación, deberá ser distribuido uniformemente en el

mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no deberán permitir fugas ni goteos.

Si se emplea una instalación de tipo continuo, un sistema de bandas transportará los agregados desde las tolvas hasta el mezclador, que será del tipo de ejes gemelos, donde se incorporarán el agua y el ligante bituminoso. Los dosificadores de agua y ligante deberán estar sincronizados con los dosificadores de los agregados, de manera que se pueda reproducir la fórmula de trabajo. La planta deberá disponer, además, de dispositivos para su calibración a la presión de trabajo, así como para la toma de muestras. En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de ellos.

Las mezclas densas en frío podrán ser elaboradas también en plantas ambulantes montadas sobre bastidores autopropulsados, las cuales actuarán al mismo tiempo como extendedoras. Constarán de tolva de recepción de agregados ya mezclados y con la gradación adecuada, depósitos de agua y emulsión y eventuales aditivos, y dispositivos de alimentación de todos los materiales a la mezcladora. Dispondrán, además, de una extendedora que regule el espesor y proporcione el perfil transversal y un buen acabado superficial.

Equipo para el transporte

Tanto los agregados como las mezclas elaboradas en plantas fijas, se transportarán en volquetas debidamente acondicionadas para tal fin. Cuando

vaya a transportar mezcla, la superficie interna del platón deberá ser tratada con un producto, que evite la adherencia de la mezcla a ella. La forma y altura del platón serán tales, que durante el vertido en la pavimentadora, la volqueta sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos para ello.

Tanto los agregados como las mezclas deberán cubrirse con lonas u otros cobertores adecuados, asegurados a la carrocería, tanto para protegerlos como para prevenir emisiones contaminantes.

Equipo para la extensión de la mezcla

La extensión y terminación de las mezclas densas en frío se hará con una pavimentadora autopropulsada, adecuada para extender y terminar la mezcla con un mínimo de pre-compactación de acuerdo con los anchos y espesores especificados. La capacidad de la tolva, así como la potencia de la máquina, deberán ser adecuadas para el tipo de trabajo que deban desarrollar. La pavimentadora estará equipada con un vibrador y un distribuidor de tornillo sinfín, de tipo reversible, capacitado para colocar la mezcla uniformemente por delante de los enrasadores. Poseerá un equipo de dirección adecuado y tendrá velocidades para retroceder y avanzar. La pavimentadora tendrá dispositivos mecánicos compensadores para obtener una superficie pareja y formar los bordes de la capa sin uso de formaletas. Será ajustable para lograr la sección transversal especificada del espesor de diseño.

Si se determina que el equipo deja huellas en la superficie de la capa, áreas defectuosas u otras irregularidades objetables que no sean fácilmente

corregibles durante la construcción, debe exigirse su inmediata reparación o cambio.

Cuando la mezcla se realice en planta ambulante, la misma planta realizará su extensión sobre la superficie.

Equipo de compactación

Se deberán utilizar compactadores autopropulsados de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios, triciclos o tándem y de neumáticos. El equipo de compactación será aprobado, a la vista de los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

Todos los compactadores estarán dotados de dispositivos para la limpieza de los rodillos o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario, así como inversores de marchas suaves.

Los compactadores de rodillos no deberán presentar surcos ni irregularidades.

Los compactadores vibratorios dispondrán de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslapo de las huellas delanteras y traseras.

Las presiones lineales, estáticas o dinámicas, y las presiones de contacto de los diversos tipos de compactadores, serán las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir rotura del agregado.

Equipo accesorio

En caso de que la mezcla se elabore en plantas ambulantes, deberá disponerse de vehículos adecuados para el suministro permanente de agregados, agua y emulsión a las plantas.

Se requieren, además, elementos para limpieza, preferiblemente barredora o sopladora mecánica; así mismo, herramientas menores para efectuar correcciones localizadas durante la extensión de la mezcla.

4.5 Control de calidad en la construcción de los pavimentos de concreto

En el control de calidad de los pavimentos de concreto se pueden distinguir cuatro fases diferentes:

- Control de los componentes del concreto
- Control de la fabricación del concreto
- Control de la puesta en obra
- Control de la unidad de obra terminada

En cuanto a la primera fase, hay que realizar los correspondientes ensayos, tanto en origen como en el lugar de fabricación, para garantizar que los componentes del concreto cumplen las especificaciones.

En la central de fabricación hay que controlar, en primer lugar, el buen funcionamiento de sus diversos elementos, poniendo especial atención en la calibración de los sistemas de dosificación de los distintos componentes. Periódicamente se deben preparar con el concreto fabricado unas probetas

prismáticas para su ensayo a flexo-tracción. Además, se deben realizar comprobaciones de la granulometría y en su caso, de la proporción de aire ocluido en el concreto.

En el proceso de puesta en obra es fundamental controlar la temperatura y humedad relativa del ambiente: por ejemplo, debe suspenderse el colado con lluvia intensa. En general, hay que evitar el endurecimiento prematuro o la desecación rápida de la superficie.

Hay que controlar el proceso de puesta en obra para que se ajuste en todas sus fases y detalles a las especificaciones, a las indicaciones del director de las obras y a las normas de buena práctica. En particular, debe comprobarse frecuentemente el espesor extendido.

Terminada la puesta en obra, se deben controlar los siguientes puntos:

- Regularidad superficial. Si no se cumplen las especificaciones suele ser debido a alteraciones en el ritmo de extensión. Si el índice de irregularidad es superior al límite fijado hay que fresar las zonas altas.
- Espesor. El espesor del pavimento no debe ser inferior en ningún punto al previsto en los planos, por lo que el espesor medio tiene que ser necesariamente algo superior.
- Resistencia a la flexión y a la compresión. Se efectúan los ensayos correspondientes para verificar que la resistencia característica cumpla con los parámetros exigidos. Según los resultados obtenidos, se aceptará el lote en

cuestión, se aplicarán las penalizaciones que pudieran estar estipuladas, se procederá a la demolición y reconstrucción de las losas afectadas.

- Integridad de las losas. Las losas no deben presentar grietas. Sin embargo, no deben considerarse como tales las pequeñas fisuras ocasionales de retracción plástica, corta longitud y que manifiestamente no afecten más que a la superficie de las losas. Dependiendo de la gravedad de cada caso, habrá que sellar o grapar las grietas o bien demoler y reconstruir total o parcialmente la losa.

4.5.1 Especificaciones

Calidad del Concreto

Las mezclas del Concreto Hidráulico para Pavimentos deben de estar previstas para:

- a) Garantizar una durabilidad satisfactoria dentro de las condiciones de requerimiento del Pavimento.
- b) Para asegurar la resistencia deseada a la flexión.

La flexión en los Pavimentos de Concreto Hidráulico, bajo las cargas aplicadas por los neumáticos, produce esfuerzos de compresión y tensión. Los esfuerzos de compresión son pequeños en relación a la resistencia de la misma, y sin mayor incidencia en el espesor de la losa.

Por lo tanto el concreto hidráulico que se utiliza en los pavimentos se especifica por su resistencia a la flexión, medida por el Módulo de Rotura a Flexión, a los

28 días. (MR) expresada en kg/cm^2 y generalmente varía entre los siguientes valores:

$$40 \leq MR \leq 50$$

A continuación se presenta un gráfico de la correlación entre el Módulo de Rotura (MR) y la resistencia a la compresión del Concreto Hidráulico a los 28 días ($f'c$).

$$MR = PL/bd^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$0.10f'c \leq MR \leq 0.17f'c$$

Donde:

P = Carga de Rotura

L = Distancia entre apoyos

b = ancho de la viga

d = peralte de la viga

En Pavimentos de Concreto Hidráulico se exige:

MR \geq 40 kg/cm^2 o sea $f'c \geq$ 280 kg/cm^2

Aceptándose $f'c \geq$ 210 kg/cm^2 para tráfico ligero.

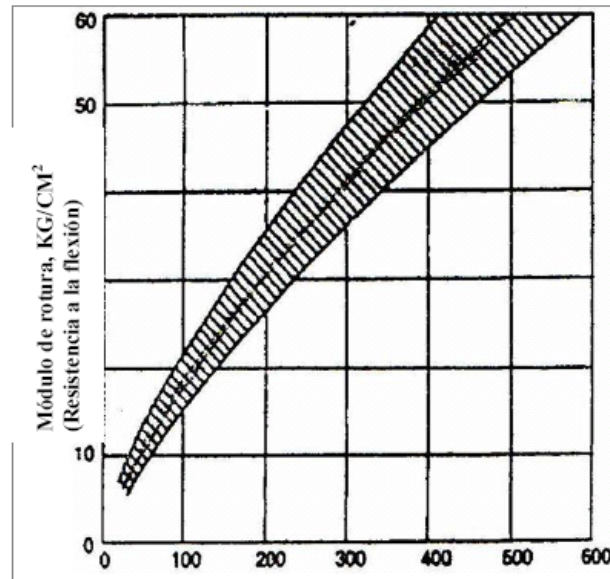


Figura 4.8. Gráfico de la correlación entre el Módulo de Rotura (MR) y la resistencia a la compresión del Concreto Hidráulico a los 28 días ($f'c$).

Materiales

(a) Resistencia. La resistencia de diseño del concreto a la tensión por flexión ($S'c$), o el módulo de ruptura especificado a los 28 días, se verificará en especímenes moldeados durante el colado del concreto, correspondientes a vigas estándar de quince por quince por cincuenta (15 x 15 x 50) centímetros, compactando el concreto por vibro compresión; una vez curados los especímenes adecuadamente, se ensayarán a los 3, 7 y 28 días, aplicando las cargas en los tercios de su luz (ASTM C 78).

(b) Especímenes de prueba. Se deberán tomar muestras de concreto para hacer especímenes de prueba para determinar la resistencia a la flexión durante

el colado del concreto. Especímenes de prueba adicionales podrán ser necesarios para determinar adecuadamente la resistencia del concreto cuando la resistencia del mismo a temprana edad limite la apertura del pavimento al tránsito. El procedimiento seguido para el muestreo del concreto deberá cumplir con la norma ASTM C 172.



Figura 4.9. Prueba de Revenimiento en Obra.



Figura 4.10. Toma de Muestras para Ensayos de Flexión del Concreto.



Figs. 4.11 y 4.12. Toma de Muestras para Ensayo de Flexión y Compresión del Concreto.

(c) Trabajabilidad. El asentamiento promedio de la mezcla de concreto deberá ser de cuatro (4) centímetros al momento de su colocación; nunca deberá ser menor de dos punto cinco (2.5), ni mayor de seis (6) centímetros.

Las mezclas que no cumplan con este requisito deberán ser destinadas a otras obras de concreto como cunetas y drenajes, y no se permitirá su colocación para la losa de concreto.

El concreto deberá de ser uniformemente plástico, cohesivo y manejable. El concreto trabajable es definido como aquel que puede ser colocado sin que se produzcan demasiados vacíos en su interior y en la superficie del pavimento.

Cuando aparezca agua en la superficie del concreto después del acabado se deberá efectuar inmediatamente una corrección por medio de una o más de las siguientes medidas:

- 1) Rediseño de la mezcla
- 2) Adición de relleno mineral o de agregados finos
- 3) Incremento del contenido de cemento
- 4) Uso de un aditivo inclusor de aire o equivalente, previamente aprobado.

(d) Membrana de curado. Para el curado de la superficie del concreto recién colada deberá emplearse un líquido de color claro, el que deberá cumplir con los requisitos de calidad que se describen en la norma ASTM C171. La membrana de curado a emplear será de un componente cuya base sea agua y parafina de pigmentación blanca.

Deberán utilizarse membranas que eviten se tapen las boquillas de los equipos de rociado.

(e) Acero de refuerzo. El acero de refuerzo necesario para la construcción del pavimento se coloca en las juntas, ya sea como pasadores de cortante ó pasajuntas o como barras de amarre para mantener los cuerpos del pavimento unidos.

(f) Barras de amarre. En las juntas que muestra el proyecto y/o en los sitios que indique el Contratante, se colocarán barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas. Las barras serán corrugadas, de acero estructural, con límite de fluencia (f_y) de cuatro mil doscientos (4,200 kg/cm²) kilogramos por centímetro cuadrado, debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y en la posición indicada en el proyecto.

(g) Sellador para juntas. El material sellante para las juntas transversales y longitudinales deberá ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes con el concreto y permitir las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas sin agrietarse, debiéndose emplear productos a base de silicona, poliuretano - asfalto o similares, los cuales deberán ser autonivelantes y solidificarse a temperatura ambiente.

El material se deberá adherir a los lados de la junta o grieta con el concreto y deberá formar un sello efectivo contra la filtración de agua o incrustación de materiales incomprensibles. En ningún caso se podrá emplear algún material sellador no autorizado por el Contratante.

Para todas las juntas de la losa de concreto se deberá emplear un sellador de silicón o similar de bajo módulo y autonivelable. Este sellador deberá ser un compuesto de un solo componente sin requerir la adición de un catalizador para su curado. El sellador deberá presentar fluidez suficiente para autonivelarse y no requerir de formado adicional.

El sellador de silicón de bajo módulo deberá cumplir con los siguientes requisitos y especificaciones de calidad:

Tabla 4.10. Silicón – Especificaciones

ESPECIFICACION	METODO DE ENSAYE	REQUISITO
Esfuerzo de tensión a 150% de elongación (7 días de curado a 25° C ± 5° C, y 45% a 55% de humedad relativa).	ASTM D 412	3.2 kg/cm2 max.
Flujo a 25°C ± 5° C	ASTM C 639 (15% Canal A)	No deberá fluir del canal.
Tasa de extrusión a 25°C± 5° C	ASTM C 603 (1/8" @ 50 psi)	75-250 gms/min
Gravedad Específica	ASTM D 792 (método A)	1.01 a 1.51
Dureza a - 18°C (7 días de curado a 25°C± 5°C)	ASTM C 661	10 a 25
Resistencia al intemperismo después de 5,000 horas de exposición continua	ASTM C 793	No agrietamiento, pérdida de adherencia o superficies polvosas por desintegración.
Superficie seca a 25°C± 5°C, y 45% a 55% de humedad relativa.	ASTM C 679	Menor de 75 minutos.
Elongación después de 21 días de curado a 25°C± 5°C, y 45 % a 55% de humedad relativa.	ASTM D 412	1,200 %
Fraguado al tacto a 25°C±5°C, y 45% a 55% de humedad relativa.	ASTM C 1640	Menos de 75 minutos
Vida en el contenedor a partir del día de embarque.	--	6 meses mínimo
Adhesión a bloques de mortero	AASHTO T 132	3.5 kg/cm2
Capacidad de movimiento y adhesión. Extensión de 100% a 18°C después de 7 días de curado al aire a 25°C±5°C, seguido por 7 días en agua a 25°C± 5°C.	ASTM C 719	Ninguna falla por adhesión o cohesión después de 5 ciclos.

La tirilla de respaldo a emplear deberá impedir efectivamente la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta. La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de polietileno y de las dimensiones indicadas en los documentos de construcción. La tirilla de respaldo deberá ser compatible con el sellador de

silicón a emplear y no se deberá presentar adhesión alguna entre el silicón y la tirilla de respaldo.

a. Requerimientos para la construcción

(a) Composición de la Mezcla (diseño de la mezcla de concreto). La mezcla de concreto debe diseñarse de acuerdo a la Tabla 4.11 siguiente:

Tabla 4.11. Composición del concreto de cemento Pórtland para pavimento

Relación agua/cemento (máxima)	Temperatura del concreto	Revenimiento	Contenido de aire (%)	Tamaño de agregado ⁽¹⁾ (AASHTO M 43)	Resistencia a la compresión a 28 días (mínima)
0,50	20±10 °C	25 - 40 mm	4½ mín.	No. 57 o 67	25 MPa

(1) Otros tamaños de agregados especificados en AASHTO M 43 más pequeños que el No. 57 o 67 pueden ser usados en el diseño de la mezcla de concreto. Sin embargo, si el tamaño máximo nominal del agregado es 12,5 mm o menor, debe proveerse al menos el 5% de contenido de aire. En este caso debe utilizarse cemento Portland tipo I o tipo II.

(b) Equipo. Los principales elementos requeridos para la ejecución de los trabajos son los siguientes:

(1) Equipo para la elaboración de agregados y la fabricación del concreto.

Para la elaboración de los agregados pétreos se requieren equipos para su explotación, cargue, transporte y proceso. La unidad de proceso consistirá en una unidad clasificadora y, de ser necesario, una planta de trituración provista de trituradoras primaria, secundaria y terciaria siempre que esta última se

requiera, así como un equipo de lavado. La planta deberá estar provista de los filtros necesarios par controlar la contaminación ambiental de acuerdo con la reglamentación vigente.

La planta de fabricación del concreto deberá efectuar una mezcla regular e íntima de los componentes, dando lugar a un concreto de aspecto y consistencia uniforme, dentro de las tolerancias establecidas.

(2) Equipo para la ejecución de los trabajos con formaletas fijas.

Cuando se emplee el método de construcción con formaletas fijas, el equipo mínimo necesario para la ejecución de las obras estará integrado por los siguientes elementos:

(I) Formaletas. Las formaletas para la construcción no deberán tener una longitud menor de tres metros (3 m) y su altura será igual al espesor del pavimento por construir. Deberán tener la suficiente rigidez para que no se deformen durante la colocación del concreto o cuando van a servir como rieles para el desplazamiento de equipos.

En la mitad de su espesor y a los intervalos requeridos, las formaletas tendrán orificios para insertar a través de ellos las varillas de unión o anclaje, cuando ellas estén contempladas en el proyecto de la obra.

La fijación de las formaletas al suelo se hará mediante pasadores de anclaje que impidan cualquier desplazamiento vertical u horizontal, debiendo estar separados como máximo un metro (1 m), y existiendo el menos uno (1) en cada extremo de las formaletas o en la unión de las mismas.

En las curvas, las formaletas se acomodarán a los polígonos más convenientes, pudiéndose emplear formaletas rectas rígidas, de la longitud que resulte más adecuada. Se permitirá el uso de formaletas curvas con radios ajustados al solicitado en planos para la curva en particular.

Se deberá disponer de un número suficiente de formaletas para tener colocada, en todo momento de la obra, una longitud por utilizar igual o mayor que la requerida para tres (3) horas de trabajo, más la cantidad necesaria para permitir que el desformaletado del concreto se haga a las dieciséis (16) horas de su colocación.

(II) Equipo para la construcción del pavimento. Estará integrado por una extendedora que dejará el concreto fresco repartido uniformemente; una terminadora transversal con elementos de enrase, compactación por vibración y alisado transversal; y una terminadora longitudinal que realice el alisado en dicho sentido.

Los vibradores superficiales deberán tener una frecuencia no inferior a tres mil quinientos (3.500) ciclos por minuto y los internos de cinco mil (5.000) ciclos por minuto.

Para el acabado superficial, se utilizarán llanas con la mayor superficie posible, que permitan obtener un acabado del pavimento al nivel correcto y sin superficies porosas.

(III) Elementos para la ejecución de las juntas. Para la ejecución de las juntas en fresco se empleará equipo apropiado, el que debe ser aprobado de previo por el Contratante.

Si las juntas se ejecutan sobre el concreto endurecido, se emplearán sierras cuyo disco requiere la aprobación previa del Contratante, en lo relacionado con el material, espesor y diámetro. Las sierras serán del tipo autopropulsadas a criterio del Contratante. Debe disponerse de las sierras necesarias para completar a tiempo la operación de corte de las juntas y de al menos una sierra de repuesto por cada equipo que se encuentre en obra. En caso de que el colado de las losas tenga un ancho mayor a un carril, el Contratista como mínimo deberá emplear una sierra adicional por cada carril que sea colado en forma simultánea. El número necesario de sierras se determinará mediante ensayos de velocidad de corte empleado en la construcción del pavimento.

(IV) Distribuidor de productos de curado. En caso de que el pavimento se vaya a curar con un producto químico que forme membrana, se debe disponer del equipo adecuado para que la aspersion sea homogénea en toda la superficie por curar y sin que se produzcan pérdidas por la acción del viento.

b. Operaciones de construcción.

(a) Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo. Dicha fórmula señalará:

- Proporciones en que deben mezclarse los agregados disponibles y la granulometría de los agregados combinados, por los tamices de 50,8

mm, 37,5 mm, 19,0 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm
600 mm, 150 mm y 75 mm (2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜", y Nos. 4, 8, 16, 30,
50, 100 y 200).

- Las dosificaciones de cemento, agua libre y eventuales adiciones, por metro cúbico (m³) de concreto fresco.
- La consistencia del concreto.

La fórmula deberá reconsiderarse, cada vez que varíe alguno de los siguientes factores:

- El tipo, clase o categoría del cemento y su marca.
- Cuando cambien las propiedades de los agregados (granulometría, densidad, absorción).
- Cuando cambie alguna de las fuentes de agregados.
- El tipo, absorción o tamaño máximo del agregado grueso.
- El módulo de finura del agregado fino en más de dos décimas (0,2).
- La naturaleza o proporción de los aditivos.
- El método de puesta en obra.

Los documentos del proyecto indicarán la resistencia por exigir al concreto destinado a la construcción del pavimento. La resistencia especificada será la característica a flexo-tracción y a compresión a veintiocho (28) días, la primera en probetas prismáticas de sección cuadrada y la segunda en cilindros estándar.

Para cada dosificación ensayada, se controlarán la consistencia (AASHTO T 119), las resistencias a flexo-tracción (AASHTO T 97), a compresión (AASHTO T 22), ambas a siete (7) y veintiocho (28) días y, cuando se exija, el contenido de aire incluido (AASHTO T 152 ó AASHTO T 196). Los especímenes de muestra serán curados de acuerdo con AASHTO T 23.

Los ensayos de resistencia se llevarán a cabo sobre probetas procedentes de cuatro (4) amasadas diferentes de concreto, confeccionando series de cuatro (4) probetas por amasada. De cada serie se ensayarán dos (2) probetas a siete (7) días y dos (2) a veintiocho (28) días, obteniéndose los valores medios de cada grupo de resultados. Se considerará como fórmula de trabajo la mezcla cuyo valor medio obtenido a veintiocho (28) días supere la resistencia especificada con margen suficiente para que sea razonable esperar que con la dispersión que introduce la ejecución de la obra, la resistencia característica real de ésta sobrepase la especificada.

La relación agua/cemento no será superior a 0.50 y el asentamiento, medido según la norma AASHTO T 119, deberá estar entre veinticinco y cuarenta milímetros (25 mm – 40 mm). En el caso de colocación manual del concreto, , pueden permitirse asentamientos de hasta 100 mm, siempre y cuando se utilicen aditivos retardadores de fragua en la fórmula de trabajo, debidamente aprobados por el Contratante y empleados de acuerdo con las especificaciones dadas por el fabricante.

(b) Ensayos característicos de obra y ejecución de tramos de prueba.

Estos ensayos tienen por objeto verificar que con los medios disponibles en la obra, resulta posible fabricar un concreto de las características exigidas.

Para cada dosificación de posible aplicación en obra, determinada a partir de los ensayos previos de laboratorio en tramos de prueba, se efectuarán ensayos de resistencia sobre probetas prismáticas procedentes de seis (6) amasadas diferentes, confeccionando dos (2) probetas por amasada, las cuales se ensayarán a flexo-tracción a siete (7) días, obteniéndose el valor medio de los resultados de las roturas. Para cada serie de probetas se controlará la resistencia y, de ser necesario, el aire incluido, con los mismos métodos empleados para los ensayos previos. Si el valor medio de la resistencia obtenida a los siete (7) días es igual o superior al ochenta por ciento (80%) de las resistencias especificadas a los veintiocho (28) días, y no se han obtenido resultados fuera de especificación para la consistencia o el aire incluido, se efectuará un tramo de prueba con concreto de dicha dosificación. En caso contrario, se harán los ajustes necesarios hasta conseguir un concreto que cumpla las exigencias de este numeral. El tramo de prueba, cuya longitud será determinada por el Contratante, en consideración al método de colocación, podrá ser construido por fuera de la calzada por pavimentar. El tramo servirá para verificar que los medios de vibración disponibles son capaces de compactar adecuadamente el concreto en todo el espesor del pavimento, que se cumplen las limitaciones de regularidad y rugosidad establecidas por las

especificaciones, que el proceso de curado y protección del concreto fresco es adecuado y que las juntas se realizan correctamente.

En caso de que los resultados del primer tramo no sean satisfactorios, se construirán otros introduciendo variaciones en los equipos, métodos de ejecución o, incluso, en la dosificación, hasta obtener un pavimento con las condiciones exigidas. Logrado esto, se podrá proceder a la construcción del pavimento.

Del trabajo satisfactorio se extraerán seis (6) testigos cilíndricos a los cincuenta y cuatro (54) días de la puesta en obra, para la determinación de la resistencia del concreto, cada uno de los cuales distará del más próximo cuando menos siete metros (7 m) en sentido longitudinal y estarán separados más de quinientos milímetros (500 mm) de cualquier junta o borde. Estos testigos se ensayarán a tracción indirecta (ASTM C 496) a la edad de cincuenta y seis (56) días, luego de ser sometidos a curado húmedo durante las cuarenta y ocho (48) horas previas al ensayo.

(c) Preparación de la superficie existente. La mezcla no se extenderá hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos o definidas por el Contratante. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación de la unidad de obra correspondiente, se corregirán de acuerdo con lo establecido en ella, a plena satisfacción del Contratante.

Cuando se emplee el método de construcción con formaletas fijas, se controlará que su altura libre corresponda efectivamente al espesor de diseño de las losas. Antes de verter el concreto, se saturará la superficie de apoyo de las losas sin que se presenten charcos o, si el proyecto lo contempla, se cubrirá con papel especial o material plástico con traslajos no inferiores a ciento cincuenta milímetros (150 mm) y plegándose lateralmente contra las formaletas, cuando éstas se utilicen. El traslajo se hará teniendo en cuenta la pendiente longitudinal y transversal, para asegurar la impermeabilidad.

En todos los casos, se prohibirá circular sobre la superficie preparada, salvo las personas y equipos indispensables para la ejecución del pavimento.

(d) Elaboración de la mezcla.

(1) Manejo y almacenamiento de los agregados finos. No se permitirá ningún método de manejo y almacenamiento de los agregados que pueda causar segregación, degradación, mezcla de distintos tamaños o contaminación con suelo u otros materiales.

La cantidad de los agregados almacenados al iniciar las obras, debe ser suficiente para diez (10) días de trabajo.

(2) Suministro y almacenamiento del cemento. El cemento en sacos se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo, sobre parrillas de madera o piso de tablas; no se apilará en hileras superpuestas de más de 14 sacos de altura para almacenamiento de 30 días, ni de más de 7 sacos de altura para almacenamientos hasta de 2 meses.

Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en sitios aislados de la humedad. La capacidad máxima de almacenamiento será la suficiente para el consumo de dos (2) jornadas de producción normal.

Todo cemento que tenga más de dos (2) meses de almacenamiento en sacos o tres (3) meses en silos, deberá ser examinado por el Contratante, para verificar si aún es susceptible de utilización.

(3) Almacenamiento de aditivos. Los aditivos se protegerán convenientemente de la intemperie y de toda contaminación. Los sacos de productos en polvo se almacenarán bajo cubierta y observando las mismas precauciones que en el caso del almacenamiento del cemento. Los aditivos suministrados en forma líquida se almacenarán en recipientes estancos. Los aditivos químicos líquidos deberán almacenarse en lugares protegidos de la acción directa de los rayos solares y de temperaturas menores a los 5 grados centígrados.

(4) Básculas. Las básculas para el pesaje de los materiales deben tener una precisión mínima de uno por ciento ($\pm 1\%$). Se calibrarán cada vez que el Contratante lo considere necesario y, como mínimo, cada quince (15) días.

En todos los casos las tolerancias no deberán ser menores al 1% del peso de cada una de las materias primas empleadas.

El equipo de pesaje estará aislado contra vibraciones y movimientos de otros equipos de la planta de forma que, cuando la planta esté en funcionamiento, las

lecturas no varíen en más de uno por ciento ($\pm 1\%$) para los diferentes ingredientes.

(5) Dosificación del concreto. Los agregados y el cemento a granel para la fabricación del concreto se dosificarán por peso, por medio de equipos automáticos de dosificación.

En la fórmula de trabajo, las dosificaciones de los agregados se establecerán en peso de materiales secos, teniéndose en cuenta su humedad al ajustar los dispositivos de pesaje. En el momento de su dosificación, los agregados tendrán una humedad suficientemente baja para que no se produzca un escurrimiento de agua durante el transporte desde la planta de dosificación al dispositivo de mezclado y lo suficientemente alta para evitar la absorción de agua libre de la mezcla y la producción de cambios volumétricos en el concreto por este motivo.

El cemento a granel deberá ser pesado en una báscula independiente de la utilizada para dosificar los agregados.

Los aditivos en polvo se medirán en peso y los aditivos líquidos o en pasta, se medirán en peso o en volumen, con una precisión de tres por ciento ($\pm 3\%$) de la cantidad especificada.

(6) Mezcla de los componentes. La mezcla se realizará en una planta central. En obras de pequeño volumen se podrá autorizar la mezcla en camiones mezcladores, cuyas características deben ser de aceptación del Contratante. Los componentes de la mezcla se introducirán en la mezcladora de acuerdo

con una secuencia previamente establecida por el Contratista y aprobada por el Contratante. Los aditivos en forma líquida o en pasta se añadirán al agua antes de su introducción en la mezcladora. Los aditivos en polvo se introducirán en la mezcla junto con el cemento los agregados, excepto cuando el aditivo contenga cloruro de calcio, en cuyo caso se añadirá en seco mezclado con los agregados, pero nunca en contacto con el cemento; no obstante, en este último caso se prefiere agregarlo en forma de disolución.

Los materiales deberán mezclarse durante el tiempo necesario para lograr una mezcla íntima y homogénea de la masa, sin segregación. Su duración mínima se establecerá mediante las pruebas pertinentes y deberá contar con la aprobación del Contratante.

(e) Transporte de concreto. El transporte entre la planta y la obra se efectuará de la manera más rápida posible. El concreto se podrá transportar a cualquier distancia, siempre y cuando no pierda sus características de trabajabilidad, se encuentre todavía en estado plástico en el momento de la descarga y cumpla con las especificaciones de revenimiento y resistencia.

En el caso de construcción en tiempo caluroso, se cuidará de que no se produzca desecación de la mezcla durante el transporte. Si a juicio del Contratante existe tal riesgo, se deberán utilizar retardadores de fraguado.

En caso necesario y con las debidas pruebas, el Contratante podrá autorizar la adición de aditivos retardadores de fragua a los camiones mezcladores, en cuyo

caso deberá asegurarse que la mezcla sea revuelta en el camión mezclador por un lapso no menor de cinco minutos.

(f) Colocación de formaletas. Cuando la obra se ejecute entre formaletas fijas, éstas podrán constituir por sí mismas el camino de rodadura de las máquinas de construcción del pavimento o podrán tener un carril para atender esa función. Las caras interiores de las formaletas aparecerán siempre limpias, sin restos de concreto u otras sustancias adheridas a ellas. Antes de verter el concreto, dichas caras se recubrirán con un producto antiadherente, cuya composición y dosificación deberán ser aprobadas previamente por el Contratante.

Cuando la máquina utilice como formaleta un bordillo o una franja de pavimento construido previamente, éste deberá tener una edad de cuando menos tres (3) días.

C. Acabado superficial. El acabado superficial longitudinal del concreto recién colado podrá proporcionarse mediante llanas mecánicas y a continuación, mediante el arrastre de tela de yute o bandas de cuero húmedas.

Posteriormente con un equipo de texturizado por medio de herramientas manuales desarrolladas específicamente para este trabajo, se procederá a realizar el texturizado transversal mediante una rastra de alambre en forma de peine, con una separación entre dientes de 20 milímetros, ancho de dientes de 3 milímetros y con una profundidad de penetración máxima de 6 milímetros y mínima de 3 milímetros a todo lo ancho de la superficie pavimentada. Esta

operación se realizará cuando el concreto esté lo suficientemente plástico para permitir el texturizado, pero lo suficientemente seco para evitar que el concreto fluya hacia los surcos formados por esta operación.

El acabado final deberá proporcionar una superficie de rodamiento con las características mínimas de seguridad (coeficiente de fricción) y de comodidad (índice de perfil) que se indican en seguida.

Una vez terminados los trabajos de construcción de las losas correspondientes a un día, y durante las siguientes cuarenta y ocho (48) horas, el contratista se obligará a realizar los estudios necesarios para garantizar el acabado final de la superficie de rodamiento. Dichos estudios consistirán en la determinación del índice de perfil de acuerdo con la especificación complementaria correspondiente a la determinación de la calidad de la superficie terminada (rugosidad). El contratista deberá garantizar que el índice de perfil del pavimento construido cumpla con la especificación complementaria correspondiente y con las tolerancias incluidas en esta especificación.

En caso que se requiera y cuando lo solicite el Contratante, para efectos de frenado, el Contratista deberá garantizar mediante estudios que realice, que la superficie terminada presenta una resistencia al derrapamiento que, al medirse con un dispositivo de medición continua, arroje un valor igual o mayor de siete décimas (0.7) en condiciones de pavimento mojado y a velocidad de setenta y cinco kilómetros por hora (75 kph); la medición se realizará por lo menos sobre la huella de la rodera externa de cada carril (ASTM E 670).

D. Protección del concreto fresco. Durante el tiempo de fraguado, el concreto deberá ser protegido contra el lavado por lluvia, la insolación directa, el viento y la humedad ambiente baja.

Para ello se dispondrá en obra de toldos a base de manteados o plásticos que eviten el lavado de las texturas superficiales de las losas o, si lo ameritara, de la acción directa de los rayos solares. Los mismos deberán colocarse cada vez que sea necesario o cuando lo indique el Contratante. Si el Contratista no atiende esta orden y las losas sufren un lavado del acabado superficial, deberá someter por su cuenta la superficie a un ranurado transversal, de acuerdo con las indicaciones del Contratante.

Durante el período de protección, que en general no será inferior a tres (3) días a partir de la colocación del concreto, estará prohibido todo tipo de tránsito sobre él, excepto el necesario para el aserrado de las juntas cuando se empleen sierra mecánicas.

E. Curado. El curado deberá hacerse inmediatamente después del acabado final, cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial. Esta operación se efectuará aplicando en la superficie una membrana de curado a razón de un litro por metro cuadrado (1 lt/m^2), para obtener un espesor uniforme de aproximadamente un milímetro (1 mm), que deje una membrana impermeable y consistente de color claro que impida la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco. Su aplicación debe realizarse con irrigadores mecánicos a presión o por medio de aspersores manuales que garanticen la

perfecta aplicación de la membrana en todas las caras expuestas de la losa vertical u horizontal.

El espesor de la membrana podrá reducirse si de acuerdo con las características del producto que se use se puede garantizar su integridad, cubrimiento de la losa y duración de acuerdo con las especificaciones del fabricante de la membrana de curado, sin embargo esta reducción no podrá ser de más de un 15%.

En el caso de que durante la época de pavimentación se presenten vientos fuertes rasantes, combinados o no con temperaturas ambiente elevadas, se deberá proveer una doble capa de membrana de curado, aplicándose la primera capa inmediatamente después del flotado del concreto y la segunda posterior al texturizado transversal.

Durante el tiempo de endurecimiento del concreto, deberá protegerse la superficie de las losas contra acciones accidentales de origen climático, de herramientas o del paso del equipo o seres vivos.

(a) Curado con productos químicos que forman película impermeable.

Cuando el curado se realice con productos de este tipo, ellos se deberán aplicar inmediatamente hayan concluido las labores de colocación y acabado del concreto y el agua libre de la superficie haya desaparecido completamente. Sin embargo, bajo condiciones ambientales adversas de baja humedad relativa, altas temperaturas, fuertes viento o lluvias, el producto deberá aplicarse antes de cumplirse dicho plazo.

El producto de curado que se emplee deberá cumplir las especificaciones dadas por el fabricante y la dosificación de estos productos se hará siguiendo las instrucciones del mismo. Su aplicación se llevará a cabo con equipos que aseguren su aspersion como un rocío fino, de forma continua y uniforme. El equipo aspersor deberá estar en capacidad de mantener el producto en suspensión y tendrá un dispositivo que permita controlar la cantidad aplicada de la membrana.

Cuando las juntas se realicen por aserrado, se aplicará el producto de curado sobre las paredes de ellas. También se aplicará sobre áreas en las que, por cualquier circunstancia, la película se haya estropeado durante el período de curado, excepto en las proximidades de las juntas cuando ellas ya hayan sido selladas con un producto bituminoso.

No se permitirá la utilización de productos que formen películas cuyo color sea negro.

(b) Curado por humedad. Cuando se opte por este sistema de curado, la superficie del pavimento se cubrirá con telas de yute, arena u otros productos de alto poder de retención de humedad, una vez que el concreto haya alcanzado la suficiente resistencia para que no se vea afectado el acabado superficial del pavimento.

Mientras llega el momento de colocar el producto protector, la superficie del pavimento se mantendrá húmeda aplicando agua en forma de rocío fino y

nunca en forma de chorro. Los materiales utilizados en el curado se mantendrán saturados todo el tiempo que dure el curado.

No se permite el empleo de productos que ataquen o decoloren el concreto.

F. Desformaleteado. Cuando el pavimento se construya entre formaletas fijas, el desformaleteado se efectuará luego de transcurridas dieciséis (16 horas) a partir de la colocación del concreto. En cualquier caso, el Contratante podrá aumentar o reducir el tiempo, en función de la resistencia alcanzada por el concreto.

G. Juntas. Las juntas deberán ajustarse al alineamiento, dimensiones y características consignadas en el proyecto.

Después del curado de las losas se procederá al corte de las juntas transversales y longitudinales con discos abrasivos si se realizan los cortes en seco, o con discos de diamante que enfriados con agua. El corte de las juntas deberá comenzar por las transversales de contracción, e inmediatamente después continuar con las longitudinales. Este corte deberá realizarse cuando el concreto presente las condiciones de endurecimiento propicias para su ejecución y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados. El contratista será el responsable de elegir el momento propicio para efectuar esta actividad sin que se presente pérdida de agregado en la junta o desmoronamiento de los bordes de los cortes o de la losa; sin embargo, una vez comenzado el corte deberá continuarse hasta finalizar todas las juntas. El inicio de los trabajos deberá iniciar entre las 4 ó 6 horas de haber colocado el

concreto y deberá terminar antes de 12 horas después del colado. Las losas que se agrieten por aserrado inoportuno deberán ser demolidas y/o reparadas de acuerdo y a satisfacción del Contratante.

En el caso de que se requiera de cortes de juntas en dos etapas (escalonados), el segundo corte no deberá realizarse antes de 48 horas después del colado.

En la construcción de las juntas deberá considerarse la siguiente clasificación:

- Longitudinales de contracción aserradas y con barras de amarre (Tipo A)
- Longitudinales de construcción y con barras de amarre (Tipo C)

La junta longitudinal de construcción con barras de amarre (Tipo C) quedará formada en la unión de la junta fría entre las dos franjas de pavimentación como se indica en el proyecto.

Las ranuras aserradas deberán inspeccionarse para asegurar que el corte se haya efectuado hasta la profundidad especificada. Toda materia extraña que se encuentre dentro de todos los tipos de juntas deberá extraerse mediante agua a presión, chorro de arena (*sand blast*) y aire a presión los cuales deberán ser aplicados siempre en una misma dirección. El uso de este procedimiento deberá garantizar la limpieza total de la junta y la eliminación de todos los residuos del corte.

La longitud de las losas en el sentido longitudinal será de acuerdo a lo indicado en el proyecto, con la tolerancia que se indique en los planos y especificaciones especiales. El alineamiento de las juntas longitudinales será el indicado en el

proyecto, con la tolerancia establecida en los planos y especificaciones especiales.

Deberán tomarse las precauciones necesarias para evitar que se dañen los bordes de las juntas por impactos del equipo o de la herramienta que se estén utilizando en la obra. En el caso de que produzcan daños en las juntas, el contratista deberá corregirlos sin cargo alguno formando una caja mínima de 50 centímetros de ancho por 50 centímetros de largo por un medio del espesor de la losa de profundidad por medio de la utilización de cortadoras de disco. No se permite el uso de equipos de impacto para el formado de la caja. El concreto a ser empleado en la reparación deberá ser del tipo que no presente contracción ni cambio volumétrico alguno por las reacciones de hidratación del cemento.

H. Junta pavimento – bordillo. La junta entre el pavimento de concreto con el bordillo no es considerada como parte de la estructura del pavimento, por lo que no se requiere de algún refuerzo de amarre. Sin embargo, es probable que se pudiera producir cierta separación entre ambos con el paso de los años.

Para evitar esta separación, se colocará una varilla de amarre del No. 4 de 90 cm de longitud a cada 120 cm y se sellará esta junta con el mismo material empleado en las juntas del pavimento. Las varillas de acero de amarre deberán ser de grado 40 ($f_y = 3,250 \text{ kg/cm}^2$) pudiéndose doblar a 90° en caso de ser necesario. La construcción del bordillo se realizará posteriormente.

I. Defectos en las juntas a causa del aserrado. Si a causa de un aserrado prematuro se presentan descascaramientos en las juntas, deberán ser

reparados por el Contratista, a su costa, con un mortero de resina epóxica aprobado por el Contratante.

J. Conservación. El pavimento de concreto hidráulico deberá ser mantenido en perfectas condiciones por el Contratista, hasta el recibo definitivo de los trabajos.

K. Tolerancias. Para dar por recibida la construcción de las losas de concreto hidráulico se verificarán el alineamiento, la sección en su forma, espesor, anchura y acabado, de acuerdo con lo fijado en el proyecto y/o ordenado por el Contratante, con las siguientes tolerancias:

Tabla 4.12. Tolerancias - Generales

Caso	Tolerancia
Pendiente transversal con respecto a la del proyecto	$\pm 0.5\%$
Coefficiente de fricción inicial de la superficie de rodamiento	0.70 mínimo

Para la determinación de la deficiencia en el espesor de la losa y el factor de ajuste aplicable para cada sección de 500 metros, se deberá seguir el procedimiento indicado en la especificación complementaria correspondiente, incluida en estas especificaciones.

Para la determinación de la calidad de la superficie terminada del pavimento y el factor de ajuste aplicable para cada sección de 200 metros, se deberá seguir el procedimiento indicado en la especificación complementaria correspondiente, incluida en estas especificaciones.

L. Espesor de la losa del concreto

(a) Extracción de Núcleos. Se deberán extraer núcleos del pavimento de concreto en los lugares especificados por el Contratante después de que se hayan llevado a cabo todas las correcciones requeridas y antes de que se efectúe la aceptación final del pavimento. El espesor del pavimento se deberá determinar siguiendo los lineamientos de la especificación ASTM C 42 y ASTM C 174.

Tabla 4.13. Tolerancias – Espesor de Losa de Concreto

Deficiencia en espesor de losa determinada por cada sección de 500 m	Factor de ajuste aplicable sobre el precio unitario contratado
De 0.0 a 5.0 mm	1.00
De 5.1 a 7.5 mm	0.85
De 7.6 a 10.0 mm	0.75
Mayor que 10.0 mm	SUBSTITUIR

M. Índice de rugosidad superficial para la losa de concreto

(a) Generalidades. El contratista deberá proveer y mantener durante el tiempo que dure la obra un perfilómetro que cumpla con las especificaciones ASTM E-1274. La calibración del equipo, siguiendo los lineamientos de la misma especificación, deberá ser verificada por el Contratante antes de su uso en el proyecto. Los resultados del ensayo del perfilómetro serán evaluados por el Contratante.

(b) Alcance. El ensayo de la superficie de pavimento será limitado a aquellos pavimentos con más de 200 metros de longitud de construcción.

Aquellos pavimentos con curvas horizontales que tengan un radio de curvatura al eje del camino menor que 300 metros no serán ensayados, al igual que las transiciones de la sobre-elevación correspondiente a dichas curvas. El pavimento comprendido dentro de los 5 metros subsecuentes a un pavimento existente no colocado dentro de este proyecto, o a una estructura o losa de aproximación, no será ensayado por medio del perfilómetro. Para estos casos deberá emplearse una regla de 3 metros de longitud, y las irregularidades comprendidas en cualquier dirección (en el caso de que existan) no deberán exceder 5 milímetros.

(c) Perfiles del Pavimento. Cada carril de circulación deberá ser evaluado como a continuación se indica.

La obtención del perfil del pavimento comenzará a 5 metros dentro del concreto previamente colocado, y será medido a lo largo de las líneas imaginarias que son paralelas a aquellas que delimitan cada carril de circulación, y que están ubicadas aproximadamente a 1 metro dentro del carril que está siendo evaluado. Las mediciones efectuadas a lo largo del pavimento siendo evaluado serán divididas en tramos consecutivos de 200 metros cada uno, con el fin de establecer secciones que podrán tener un premio o una deducción debido a la calidad de la superficie terminada. El índice de perfil a considerar para evaluar cada sección de 200 metros será el promedio de las dos mediciones tomadas dentro del ancho de cada carril de circulación evaluado.

Alternativamente, cuando se lleve a cabo pavimentación completa del ancho de corona en una sola pasada del tren de pavimentación, y la sección transversal del pavimento esté compuesta por al menos dos carriles de circulación más los acotamientos correspondientes, se podrá obtener sólo un perfil del pavimento por carril de circulación para efectos de esta evaluación.

El índice de perfil a considerar para evaluar cada sección de 200 metros será el promedio de todas las mediciones tomadas en la sección transversal que cumpla con lo aquí estipulado.

(d) Control de la superficie del pavimento. Al inicio de las operaciones de pavimentación, ya sea al arranque de la pavimentación o después de tiempos prolongados de inactividad, la superficie del pavimento será revisada con el perfilómetro, tan pronto como sea posible sin dañar la superficie del pavimento. El propósito de este ensayo es ayudar al contratista a evaluar los métodos y equipos de pavimentación. La longitud de esta sección de prueba inicial no deberá exceder 400 metros. Cuando los métodos de pavimentación y el equipo empleado produzcan un índice de perfil dentro de tolerancia sin castigo, o menor, el Contratista podrá proceder con las operaciones de pavimentación. En el caso de que este índice de perfil inicial exceda de la tolerancia sin castigo, el contratista deberá efectuar correcciones en sus operaciones de pavimentación, las cuales deberán ser aprobadas por el Contratante, antes de que pueda proceder a pavimentar y evaluar otra sección de prueba de 400 metros.

(e) Índice de perfil promedio diario. Un día de pavimentación será definido como un mínimo de 200 metros de longitud de pavimento colocado durante un mismo día. Cuando la colocación de concreto de un solo día no exceda 200 metros de longitud, dicha pavimentación deberá ser agrupada con la del día de pavimentación inmediato siguiente. Los perfiles del pavimento deberán medirse tan pronto como sea práctico y posible, pero no más tarde que el siguiente día de trabajo.

El índice de perfil promedio deberá ser determinado para cada día de pavimentación por medio del promedio aritmético de todos los índices de perfil calculados por cada una de las secciones de 200 metros comprendidas dentro de la longitud de pavimentación del día correspondiente. Cuando el índice de perfil promedio diario exceda el valor de reposición, las operaciones de pavimentación, deberán ser suspendidas inmediatamente hasta que el contratista efectúe las correcciones pertinentes que sean aprobadas por el Contratante. Para reanudar las operaciones de pavimentación, el contratista deberá cumplir con lo estipulado en el procedimiento correspondiente al arranque de las operaciones de pavimentación, incluido en esta especificación.

(f) Evaluación del pavimento y correcciones. Después de que la superficie del pavimento sea ensayada, todas aquellas áreas que presenten una desviación igual o mayor a 10 milímetros en 7.5 metros o menos deberán corregirse. Después de su corrección deberán ensayarse de nuevo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

Después de la corrección individual de todas las desviaciones, cualquier sección de 200 metros de longitud que presente un índice de perfil mayor que el correspondiente de corrección deberá ser corregida para reducir dicho índice al valor de tolerancia sin castigo o menor. Estas secciones de pavimento donde se han requerido correcciones deberán ser ensayadas una vez que dicha correcciones estén incluidas para asegurar que efectivamente se ha reducido el índice de perfil al correspondiente a tolerancia sin castigo o menos.

Cuando el índice de perfil de cualquier sección de 200 metros exceda de la tolerancia sin castigo, pero no exceda el valor de corrección, el contratista podrá elegir entre corregir la calidad de la superficie terminada o aceptar una penalización dentro de su precio unitario de pavimento debido a la calidad deficiente de dicha superficie terminada.

Todos los trabajos de corrección que deberán efectuarse a la superficie terminada del pavimento serán con cargo al contratista. Todo método de corrección de la superficie del pavimento deberá ser aprobado por el Contratante. No se le permitirá al contratista efectuar trabajos de corrección por medio del empleo de equipos de impacto que puedan dañar la estructura de pavimento ni mediante retoques superficiales adheridos.

Una vez que se efectúen los trabajos de corrección de la superficie del pavimento donde así se requiera, el contratista deberá restablecer a satisfacción del Contratante, la textura de dicha superficie.

4.5.2 Materiales

a) Cemento. De cada lote de cemento que llegue a la planta se tomarán muestras para efectuar las pruebas prescritas en las especificaciones ASTM C 150.

Por lo menos una vez al mes, o cuando se detecten anomalías en el suministro de Cemento, se efectuarán los ensayos de calidad en la especificación antes citada.

Si la proporción de cualquier componente del cemento variara en más de cinco puntos porcentuales respecto a aquella a la cual se realizaron los ensayos para fijar la dosificación de trabajo, éstos deberán repetirse.

El cemento Portland debe cumplir con las especificaciones indicadas en la tabla 4.14.

Tabla 4.14. Especificaciones requeridas para el Cemento Pórtland

(Referencia: Especificaciones para la Construcción de la SIECA)

AASHTO	Referencia
T-89	Finura del cemento (por turbidímetro)
T-105	Composición química del cemento
T-106	Resistencia a la compresión del mortero del cemento
T-107	Expansión del cemento en autoclave
T-127	Muestreo del cemento
T-131	Tiempo de fraguado (aguja de Vicat)
T-137	Contenido de aire del mortero de cemento
T-153	Finura del cemento (permeámetro)
T-154	Tiempo de fraguado (aguja de Gilmore)
T-186	Endurecimiento inicial del cemento

b) Agregados. De cada banco de agregados y para cualquier volumen de producción previsto se tomarán cuatro muestras, determinándose en cada una

de ella las siguientes propiedades, de conformidad con los métodos establecidos en la especificación ASTM C 33:

- Desgaste de Los Ángeles del agregado grueso
- Contenido de partículas silíceas
- Granulometría de los agregados finos y grueso
- Equivalente de arena del agregado fino y
- Contenido de partículas arcillosas en el agregado fino

Se examinará la descarga a los almacenes o a la alimentación de la planta, debiendo desecharse los agregados que a simple vista presenten vestigios de arcilla o tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo. Asimismo, se almacenarán por separado aquellos que presenten anomalías como coloración, segregación, partículas en forma de lascas, finos plásticos, etc. Se vigilará además el estado de los almacenes y la forma de manejo de los agregados.

Sobre cada fracción de agregado que se produzca o reciba, se realizarán las siguientes pruebas por lo menos dos veces al día:

- Granulometría
- Equivalente de arena del agregado fino
- Contenido de partículas arcillosas en el agregado fino

De igual manera, por lo menos una vez por semana o cuando se cambie de procedencia, se efectuarán los siguientes ensayos:

- Contenido de partículas en forma de laja
- Proporción de partículas del agregado grueso con dos o más caras producidas por trituración
- Proporción de impurezas del agregado grueso

Por lo menos una vez a al mes o cuando se cambie de procedencia, se efectuarán los siguientes ensayos:

- Desgaste de Los Ángeles
- Densidad y absorción

c) Aditivos y adiciones activas. Se verificará que el aditivo suministrado en la obra sea igual, en su comportamiento y composición, al aditivo presentado como muestra, ensayado y aprobado en las mezclas de prueba. Para esta verificación se empleará el cemento, agregados y agua recibidos en la obra, y el concreto así elaborado deberá cumplir con los requisitos físicos señalados en las especificaciones ASTM C 260, D 98, C 494.

d) Agua. El agua empleada para la elaboración y el curado, así como para el lavado de los agregados, tendrá que investigarse cuando haya sospechas de contaminación u ocurra un cambio de procedencia. Deberá satisfacer los requisitos indicados en las especificaciones y AASHTO T 26.

e) Acero. Se muestrearán y ensayarán especímenes tomados de cada lote recibido en la obra, debiendo satisfacerse los requisitos indicados en las especificaciones ASTM A 615, A 616 y A 617.

f) Otros materiales y productos. Deberán muestrearse y ensayarse especímenes tomados de cada lote recibido en la obra, debiendo satisfacerse los requisitos fijados en el proyecto.

4.5.3 Elaboración de la mezcla

a) Se tomará diariamente un mínimo de dos muestras, una por la mañana y otra por la tarde, de cada fracción de agregados antes de su entrada al mezclador, y se efectuarán los siguientes ensayos:

- Granulometría

- Equivalente de arena

- Contenido de arcilla en el agregado fino

b) Diariamente se tomará por lo menos una muestra de la mezcla de agregados y se determinará su granulometría.

c) Al menos una vez cada 15 días, se verificará la precisión de las básculas de dosificación.

d) En la descarga de la mezcladora a las unidades de transporte, se verificarán:

- El aspecto del concreto fresco, se rechazarán batchadas que presenten segregación o mezclado heterogéneo.
- Medición de la temperatura, en condiciones de clima caluroso o frío.
- Contenido de aire incluido, el cual se determinará por lo menos dos veces al día.
- Homogeneidad del concreto que se produce, lo cual se comprobará tomando en cuenta dos muestras de la misma revoltura. Una de éstas debe obtenerse durante la descarga de la primera cuarta parte de la cuarta parte final.
- La determinación de peso volumétrico, revenimiento, contenido de aire, temperatura de las mezclas tanto en planta como en el sitio de colocación, se efectúa durante los primeros tres a cinco camiones de cada día. Estas mediciones se suspenderán cuando ya no existan variaciones importantes en dichas propiedades. En caso de que haya paros de equipos por más de una hora, por cualquier tipo de problema, tales determinaciones volverán a ejecutarse.
- El peso volumétrico y el contenido de aire se determina en el primer y tercer camión que salga de la planta y posteriormente en forma aleatoria en lapso no mayores de una hora.
- En condiciones normales, se determinan en campo de manera aleatoria los revenimientos y el contenido de aire en un mínimo de tres pruebas diarias de preferencia en aquellos camiones de los que se haya obtenido concreto para la

fabricación de especímenes. Se registrará el cadenamamiento en donde se coloque la mezcla de la cual se obtuvieron las muestras respectivas.

- Los especímenes se fabricarán del contenido de camiones cuyas mezclas correspondan a producciones consistentes, sin cambios bruscos en su calidad o propiedades aparentes

Para cada muestra se preparará el siguiente número de especímenes:

- Seis vigas para determinar la resistencia a la flexión, dos para ensaye a los siete días y tres para ensaye a los 28 días,

- Cinco cilindros para la determinación de resistencia a la compresión, dos a los tres días, uno a los siete días y dos a los 28 días.

- El número de especímenes puede variar, entre otras razones, por la resistencia y uniformidad encontrada en los agregados como en los concretos producidos.

- Para determinar el número aproximado promedio de especímenes, es común considerar muestras cada 250 m³ colocados. Dentro de los primeros días, la frecuencia del muestreo se incrementa, y posteriormente se reduce dependiendo de la evolución de los resultados. El contratista deberá considerar el volumen de concreto necesario para estos ensayos.

4.5.4 Transporte de la mezcla

a) Se vigilará que el transporte del concreto fresco de la planta a la obra se realice en el tiempo establecido para cada tipo de concreto.

b) Deberá vigilarse que el concreto fresco transportado en vehículos abiertos esté protegido con lonas, contra la evaporación, el polvo frío calor o lluvia, para evitar que pierda humedad y trabajabilidad. Asimismo, durante el transporte no se debe producir segregación ni perderse “lechada” en el caso de concretos fluidos, se vigilará que el equipo de transporte esté provisto de elementos de agitación.

4.5.5 Colocación y compactación del concreto

a) Se determinará diariamente la temperatura y la humedad relativa del ambiente.

b) Se determinará la consistencia del concreto y siempre que surjan dudas relativas con el aspecto del concreto fresco, el cual deberá desecharse cuando el valor de la consistencia resulte mayor que el establecido en el proyecto.

c) Se determinará frecuentemente el espesor del concreto extendido mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el ingeniero residente.

d) Se comprobará la eficiencia del equipo de pavimentación, verificando la frecuencia y amplitud de los vibradores.

4.5.6 Formación de juntas y sellado

a) Se debe asegurar que todas las juntas sean construidas cuidadosamente en la ubicación y con las dimensiones indicadas en el proyecto, cuidando además que se ejecuten en el momento oportuno, antes de que ocurra el agrietamiento

aleatorio en el concreto y se pueda de efectuar el serrado sin que se produzcan despostillamientos.

b) La colocación del sellador no deberá permitirse hasta que la junta se encuentre perfectamente limpia y sean corregidas las fracturas, los despostillamientos u otras irregularidades.

c) El sellador colocado debe cumplir con los requisitos de acabado y del factor de forma indicados en el proyecto, vigilando además que haya quedado adherido a las paredes de la junta.

4.5.7 Curado

Se vigilará que el curado del concreto se inicie en el momento adecuado con el equipo y los materiales indicados en el proyecto y que cubra todas las superficies expuestas durante el tiempo necesario.

Refiriéndose a las características físico-químicas del agua para concreto, no parece haber consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse a las sustancias e impurezas cuya presencia es relativamente frecuente, como puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros, sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, dióxido de carbono disuelto, etc. Sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo es que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas, como grasas, aceites, azúcares y ácidos, por ejemplo. La presencia de alguna de estas sustancias, que por lo demás no es común, debe tomarse como un síntoma de

contaminación que requiere eliminarse antes de considerar la posibilidad de emplear el agua.

4.5.8 Descimbrado

Se vigilará que las cimbras permanezcan en su posición el tiempo necesario, para asegurar que los bordes de las losas no se dañen al removerlas, utilizándose además las herramientas y los útiles apropiados para tal fin.

4.5.9 Resistencia requerida

a) El concreto hidráulico cumplirá la resistencia fijada en el proyecto, si satisface lo que se indica a continuación como criterio de aceptación y rechazo:

- Se aceptará el lote investigado si la resistencia correspondiente al 5 por ciento no es menor que la resistencia de proyecto.
- Si la resistencia correspondiente al 5 por ciento es menor que la de proyecto pero mayor que 90 por ciento de esta última, el contratista podrá elegir entre aceptar las sanciones previstas o solicitar la ejecución de pruebas de verificación.
- Cuando el 5 por ciento sea menor que el 90 por ciento de la resistencia de proyecto se realizarán pruebas de verificación.

b) Las pruebas de verificación se efectuarán en seis especímenes cilíndricos obtenidos del lote investigado, antes de que hayan transcurrido 54 días de su

construcción. Los especímenes se obtendrán en puntos aleatorios con una separación mínima de 7 mm entre sí en sentido longitudinal y distantes más de 50 cm de cualquier junta o borde.

Los especímenes se ensayarán a la tensión indirecta, de acuerdo con el método descrito en la especificación ASTM C 496. Los especímenes se ensayarán a la edad de 56 días. El valor medio de los resultados obtenidos se comparará con el valor medio de los resultados de ensayos similares efectuados en el tramo de prueba, según el criterio siguiente:

- Si no fuera menor, el lote se considerará aceptable
- Si fuera menor que él pero mayor que el 90 por ciento del mismo, se aplicarán las sanciones previstas para una reducción similar de la resistencia de proyecto.
- Si fuera menor de 90 por ciento pero mayor de 70 por ciento se podrá optar entre aplicar las sanciones previstas a la demolición y reconstrucción del lote a expensas del contratista.

En caso de resistencias mayores que la de proyecto, se bonificará 2 por ciento del precio de concurso por cada 0.35 MPa (3.5 kg/cm²) en pruebas de resistencia a la flexión hasta un máximo de 12 por ciento.

4.5.10 Integridad

- a) Los bordes de losas y juntas en el concreto vibrado que presenten astilladuras se repararán con resinas epóxicas.

b) Las losas de concreto no deberán presentar grietas y solamente podrán aceptar pequeñas fisuras de contracción plástica de corta longitud y que manifiestamente sólo afecten en forma limitada la superficie de las losas. En losas con otros tipos de grietas se podrán aceptar u ordenar su total o parcial demolición y su reconstrucción posterior en el primer caso, la grieta deberá inyectarse con resinas epóxicas tan pronto como sea posible.

4.5.11 Textura superficial

a) La superficie del pavimento de concreto deberá presentar una textura uniforme y exenta de segregaciones.

b) La profundidad de la textura superficial, determinada de acuerdo con el método del círculo de arena descrito en la especificación ASTM E 965, deberá estar comprendida entre 0.7 y 1 milímetro.

c) La profundidad media de la textura superficial deberá estar dentro de los límites especificados y ninguno de los resultados individuales podrá ser inferior a 0.5 mm. Si la profundidad de la textura resultara insuficiente, podrá exigirse el tratamiento de la superficie.

4.5.12. Planeidad

La planeidad es una expresión de la regularidad superficial y se presenta en los pavimentos según el grado de acercamiento a una superficie plana.

El ensayo más generalizado está constituido por una regla de 3 metros nivelada, rodante o directamente apoyada sobre el soporte, que permite medir las irregularidades existentes bajo la misma.

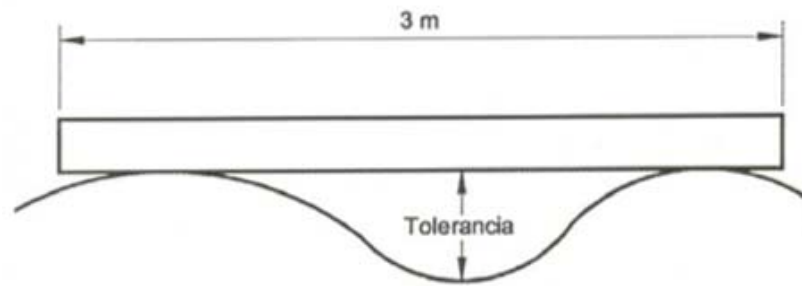


Figura 4.13. Esquema sobre la realización del ensayo de planeidad.

La medida con regla tiene el inconveniente de determinar únicamente la amplitud de la irregularidad pero no la longitud de onda, que es importante en vehículos que circulan a velocidad elevada.

A velocidades superiores de 60 km/h la mayor longitud de onda afecta en mayor grado. A menos de 60 km/h son perjudiciales las ondas cortas y medias.

El ensayo debe efectuarse tan pronto como sea posible, al término del periodo de curado y al día siguiente de su colocación si se usa membrana de curado.

Conviene que el peralte de la regla sea mayor a 150 mm, para evitar la formación de la flecha.

La regla debe ser calibrada periódicamente. Se deben evitar deformaciones o pérdidas de alineación en la regla, por condiciones de fabricación o el trabajo en obra.

CAPITULO V

CARACTERISTICAS SUPERFICIALES

PARA LA EVALUACION DE

PAVIMENTOS

CAPITULO V

5.0 CARACTERISTICAS SUPERFICIALES PARA LA EVALUACION DE PAVIMENTOS.

Las características funcionales de una vía son de gran importancia, ya que determinan las condiciones de seguridad y comodidad de los usuarios, como también repercuten en el aspecto económico, relacionados con los costos de operación de los vehículos y mantenimiento de las carreteras. La satisfacción de los usuarios se manifiesta, fundamentalmente, por la calidad en que se encuentran los pavimentos o capas de rodadura y los elementos que constituyen la seguridad vial.

Existen en la actualidad diversos indicadores que permiten establecer la calidad del servicio que se presta o, como se le denomina, la serviciabilidad. Parte fundamental de la definición de los niveles de serviciabilidad es establecer valores que corresponderían a serviciabilidades extremas, es decir, a un pavimento nuevo y a uno que resulta prácticamente intransitable.

Los criterios más modernos sobre serviciabilidad comprenden aspectos que guardan relación con el deterioro funcional del pavimento, la capacidad estructural del pavimento y la seguridad de los usuarios.

La serviciabilidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario. Por lo tanto, se relaciona fundamentalmente con la rugosidad o, más exactamente, con la regularidad que presenta la superficie y que, en una carretera bien diseñada (y

bien construida), es el principal factor que define el nivel de la serviciabilidad funcional que presta.

La serviciabilidad estructural representa la condición física en que se encuentra el pavimento; depende de las grietas y otras fallas presentes que afectan adversamente la capacidad para soportar el tránsito que debe servir.

La seguridad es un concepto de más reciente incorporación a la serviciabilidad y guarda relación con la disposición, calidad y cantidad de elementos de seguridad, y con un adecuado diseño vial.

Las investigaciones sobre el comportamiento de los pavimentos indican que la serviciabilidad inicial es un factor que debe tenerse en consideración al proyectar la vida útil de la estructura; un pavimento que se construye con una rugosidad inicial deficiente siempre tendrá una serviciabilidad inferior a otro, igualmente construido, pero bien terminado.

Por tanto, surge la necesidad de conocer el estado de la regularidad superficial del pavimento a través del tiempo, desde el inicio de su operación y en cualquier momento en que sea requerido, para definir las correspondientes acciones preventivas y/o correctivas, y poder, de esta manera, prolongar la vida útil del pavimento y que pueda cumplir con el periodo para el cual se ha diseñado. La realización de las obras de conservación, rehabilitación y modernización requeridas son muy importantes para que las redes de carreteras funcionen adecuadamente y formen una infraestructura capaz de promover el crecimiento, integración y desarrollo de las regiones y de un país.

Por otro lado, también se debe destacar la relevancia que tiene **la Inspección o el Inventario Físico**, por cuanto, es el método utilizado por todos los sistemas de gestión, de carácter visual y cualitativo; el manual o método de inspección se diseñó simplificando para los diferentes casos que se dan en la infraestructura vial, por ejemplo: fijándose para el caso de los deterioros, aquellos que se presentan con mayor frecuencia en la red, tomando en cuenta que desarrolla un sistema de gestión para ser usado con fines de planificación.

El término Inspección, es un método utilizado para todos los Sistemas de Gestión, de carácter visual y cualitativo, como ya se ha mencionado antes; agrupándose en este contexto, todos aquellos elementos que lo constituyen y que caen dentro de este término, tales como:

1. Identificación y localización de la Ruta
2. Geometría
3. Drenajes
4. Guardavías
5. Separador Central
6. Señalización Vertical
7. Muros
8. Daños en el pavimento y obras de paso
9. Organización y Recursos necesarios para desarrollar el inventario

5.1 Características superficiales

Los objetivos principales de la superficie de rodamiento en pavimentos para carreteras son proporcionar al usuario características de confort, seguridad y durabilidad. Lo dicho anteriormente se debe respaldar cumpliendo ciertos parámetros de acuerdo con los objetivos a seguir.

La superficie de rodamiento de un pavimento se clasifica considerando la naturaleza de las irregularidades superficiales; las cuales afectan a la seguridad, comodidad y costos de los usuarios.

Se consideran de importancia para caracterizar a los pavimentos, desde el punto de vista superficial, las siguientes:

Tabla 5.0 Índices para cuantificar la Rugosidad y la Fricción

Parámetro	Medida
Rugosidad	IRI (Índice de Rugosidad Internacional)
Fricción	IFI (Índice de Fricción Internacional)

5.1.1 Generalidades

En la ingeniería de carreteras, la calidad del pavimento se analiza determinando la Regularidad Superficial, que tiene que ver con las deformaciones verticales acumuladas a lo largo de un kilómetro con respecto a un plano horizontal en un pavimento, denominadas irregularidades. Éstas se deben principalmente a dos causas: la primera, al procedimiento constructivo, y la segunda, al daño producido a la carretera misma por el tránsito vehicular. En ocasiones dichas irregularidades son una combinación de ambas; así por ejemplo, las diferentes

capas que constituyen a un pavimento suelen presentar irregularidades debidas a asentamientos o acomodados de los materiales que las constituyen, y son función de las cargas que circulan sobre el pavimento y de un deficiente proceso constructivo.

La regularidad superficial se define normalmente por un índice que se refiere a una determinada longitud de carretera. Los índices se obtienen midiendo el perfil longitudinal y aplicando un modelo matemático de análisis para reducir el perfil a un índice estandarizado.

En el pasado, los equipos y métodos más utilizados para cuantificar la regularidad de un perfil, han sido una regla con una determinada longitud, de 3 hasta 9 metros, que define las irregularidades del punto medio de la regla respecto a los dos extremos (que definen el plano de referencia).

Actualmente, se utilizan equipos más modernos tales como: el perfilógrafo longitudinal (Fig. 5.1), ya sea de 3 ó 7 metros y que mediante un sistema gráfico o computarizado, determina las irregularidades del punto medio del perfilógrafo respecto a los dos extremos. También se utilizan otros como, el Analizador Dinámico del Perfil Longitudinal (APL, equipo francés) (Fig. 5.2), el Analizador de la Regularidad Superficial (ARS, equipo español) (Fig 5.3) y el Mays Ride Meter (equipo americano) (Fig.5.4) Todos estos equipos se caracterizan por desplazarse a velocidades de operación en las carreteras, no interfiriendo con el flujo vehicular y las velocidades de operación van desde los 20 hasta los 80 km/h.



Fig. 5.1 Perfilógrafo Longitudinal



Fig. 5.2 Analizador de Perfil Longitudinal (APL)



Fig. 5.3 Analizador de Regularidad Superficial (ARS)



Fig. 5.4 Mays Ride Meter

5.2. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

5.2.1 Definición

Con el fin de estandarizar el valor de la regularidad superficial, el Banco Mundial propuso en 1986 el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) que se basa en un modelo matemático denominado cuarto de carro normalizado (Golden Quarter Car) circulando a 80 km/h.

Índice que permite evaluar las deformaciones verticales de un camino, que afectan la dinámica de los vehículos que transitan sobre él.

El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como **IRI** (International Roughness Index), es un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino. El cálculo matemático del Índice Internacional de Rugosidad está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con

respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de vehículo (cuarto de carro, Figura 5.5), dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km, o millas) que se produce por los movimientos al vehículo, cuando éste viaja a una velocidad de 80 km/hr. El IRI se expresa en unidades de mm/m, m/km, pulg/mi, etc. El propósito de este índice es analizar la red por segmentos de 1 km y establecer sus características de regularidad superficial. Así, el IRI es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino.

5.2.2 Generalidades

El Índice Internacional de Rugosidad es el primer índice de perfil ampliamente utilizado, donde el método de análisis está adaptado para trabajar con diferentes tipos de equipos de medición de rugosidad y se puede decir que es una propiedad del perfil de un camino. Las ecuaciones de análisis han sido desarrolladas y ensayadas para minimizar los efectos de algunos parámetros de mediciones de perfil, tales como el intervalo de muestreo.

El cálculo del Índice Internacional de Rugosidad se basa en un modelo matemático llamado *Cuarto de Carro* (Quarter-Car). El sistema del Cuarto de Carro calcula la deflexión de la suspensión de un sistema mecánico simulado como una respuesta similar a la que tuviera el pasajero, Los desplazamientos de la suspensión del modelo son acumulados y divididos entre la distancia

recorrida para dar el Índice Internacional de Rugosidad, en unidades de m/km., mm/m, pulg/mi, etc.

5.2.3 Características

El modelo de *Cuarto de Carro* utilizado en el algoritmo del IRI debe su nombre a que implica la cuarta parte de un vehículo. El modelo se muestra en la Figura 5.5; que incluye una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador, y la masa del vehículo soportada por la suspensión de dicha rueda. El modelo *Cuarto de Carro* fue ajustado para poder establecer una correlación con los sistemas de medición de rugosidad del tipo respuesta.

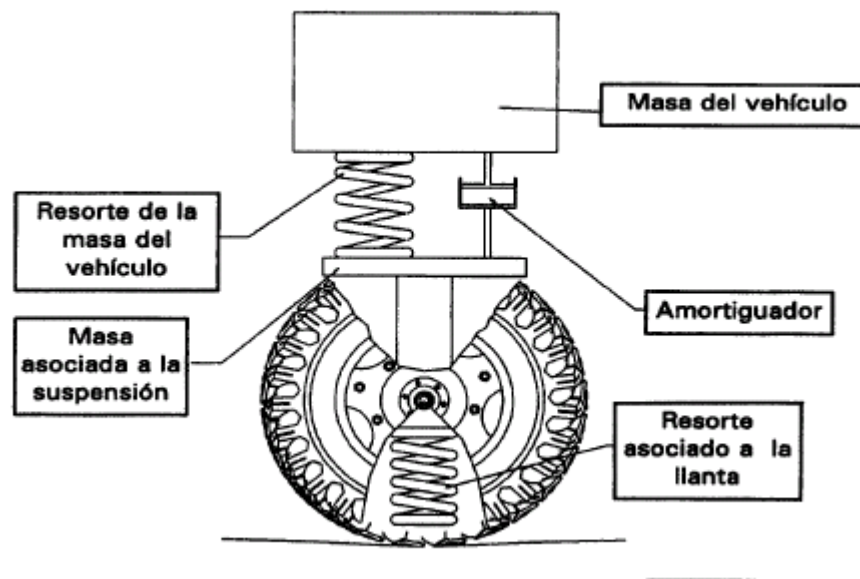


Figura 5.5. Representación gráfica del modelo "Cuarto de Carro".

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, Secretaria de Comunicaciones y Transportes

5.2.4 Escala y características del IRI

La escala y características involucradas en el IRI son las siguientes:

- Las unidades están en mm/m, m/km o pulg/mi
- El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 pulg/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable. En la Figura 5.7 se presentan las características de los pavimentos dependiendo del valor del IRI.

Para una superficie con pendiente constante sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente, como tal, no influye en el valor del IRI, no así los cambios de pendiente.

Para este caso, se decide en principio un valor límite de IRI igual a 3.0 m/km (de acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú). Debe mencionarse que dicho valor de umbral se puede modificar de acuerdo con las características de la red analizada y con la experiencia del administrador o responsable de la misma. En muchos casos, el TPDA presente en el tramo analizado puede utilizarse como criterio para la elección de un valor límite de IRI, ya que el tránsito constituye un indicador de la importancia de la carretera y, por lo tanto, del nivel de deterioro tolerable en la misma.

En la Tabla 5.1 se establece el valor límite del IRI para cada uno de los pavimentos de acuerdo a la velocidad de proyecto; dicha tabla es producto de la experiencia internacional en caminos y sirve de normadora de criterios. Para un pavimento de baja intensidad de tráfico, el TPDA, se considera menor a 400.

Tabla 5.1 Recomendaciones del TRB (*Transportation Research Board*) para la selección de valores máximos admisibles de IRI en función del TPDA.

Tránsito Diario Promedio Anual (TPDA)	Índice Internacional de Rugosidad, IRI (m/km)						
	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 - 10	10 – 12	> 12
0 – 4 999	<i>Muy bueno</i>		<i>Bueno</i>				
5 000 – 9 999			<i>Regular</i>	<i>Malo</i>			
10 000 – 19 999						<i>Muy malo</i>	
> 20 000							

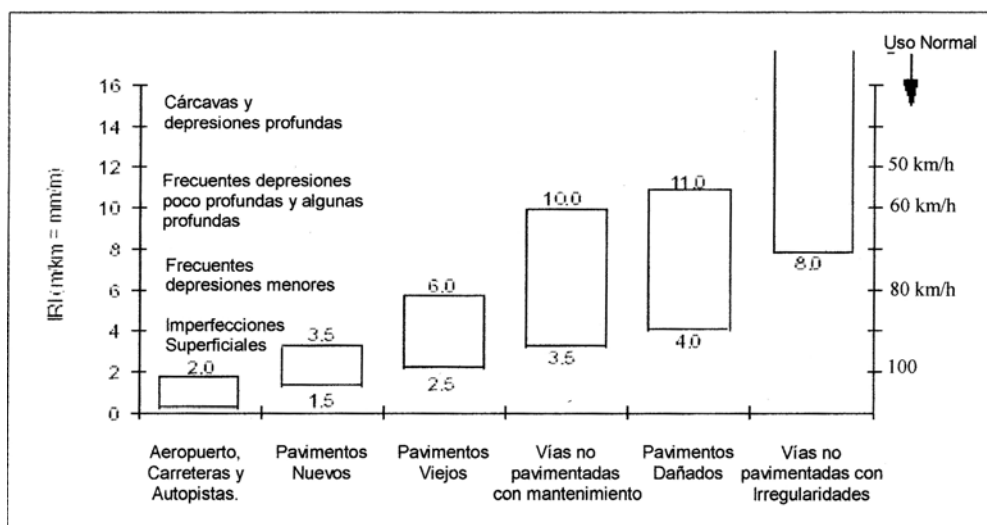


Figura 5.6 Escala del IRI

Fuente: Banco Mundial

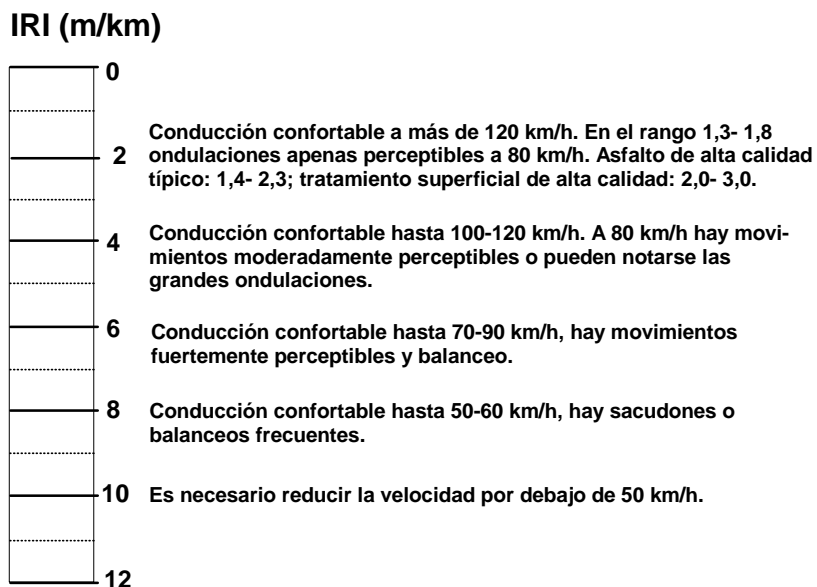


Figura 5.7 Características del Pavimento Según IRI

Fuente: Banco Mundial

5.2.5 Determinación del IRI

En vista de la importancia que reviste la determinación del IRI como control receptivo en los proyectos de infraestructura vial, es necesario establecer un intervalo de longitud para la determinación del IRI, ya que a intervalos de longitudes mayores ocultan niveles altos de regularidad superficial en los pavimentos, obteniendo de una manera inadecuada valores de IRI satisfactorios. Por otra parte la utilización de intervalos de longitudes menores para la determinación del IRI puede detectar niveles altos de regularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort.

5.2.5.1 Determinación del IRI en El Salvador

En el país, la medición de la regularidad de los pavimentos, para efectos de control de calidad y recepción de los proyectos de infraestructura vial, actualmente es realizada a través del Índice de Regularidad Internacional (IRI), el cual se determina con base en lo indicado en la especificación AASHTO PP37-02, “**Standard Practice for Quantifying Roughness of Pavements**”. Dicha especificación indica que el valor de IRI se determina longitudinalmente por carril, en sentido del tránsito y calculado cada 100 m (0.1 km), para ambas roderas (interna y externa), el promedio de los dos valores de IRI (rodera interna y externa), es registrado como la regularidad de la sección del pavimento y se reporta en unidades de IRI, m/km, aproximado a un decimal (0.1 m/km).

De igual manera para la medición de la regularidad es considerado lo establecido en el Apéndice E del Highway Performance Monitoring System Field Manual (“Measuring Pavement Roughness”) del Office of Highway Policy Information de la FHWA, el cual menciona que los valores de IRI deben ser obtenidos cuando existan buenas condiciones climáticas, preferiblemente cuando la superficie de la carretera se encuentre seca. Asimismo la medición deberá determinarse en sectores homogéneos, que corresponden a un pavimento de estructuración uniforme y que no es dividido por puentes, líneas férreas, cruces de calle y otros, que puedan alterar el perfil longitudinal del

camino e incrementar el valor de IRI. Deberá además seguirse los procedimientos recomendados por el fabricante del equipo.

A continuación se detallan algunas de las especificaciones relacionadas con la determinación de la regularidad de los pavimentos:

- a) ASTM E 1170, “Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces”. (Ensayo Estándar para la Simulación de la Respuesta Vehicular en Perfiles Longitudinales de Superficies Transitadas).
- b) ASTM E 950, “Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference”. (Método de Ensayo Estándar para la Medida del Perfil Longitudinal de Superficies Transitadas con Acelerómetro, estableciendo como Referencia el Perfil Inercial).
- c) ASTM E 1364, “Standard Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method”. (Método de Ensayo Estándar para la Medida de la Rugosidad del Camino por el Método del Nivel Estático).
- d) ASTM E 1926, “Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements”. (Método de Ensayo Estándar para el Cálculo del Índice de Rugosidad Internacional en Caminos con las Medidas del Perfil Longitudinales).

- e) Standard Test Method for Measurement of Vehicular Response to Traveled Surface Roughness. "ASTM E 1082-90 (2002)" (Método de Ensayo Estándar para la Medida de la Respuesta Vehicular de Superficies Transitadas).

Tabla 5.2. Especificaciones Internacionales para el IRI

ESPECIFICACION	REQUERIMIENTOS DE IRI SEGÚN TIPO DE PAVIMENTO O SUPERFICIE			
	Procedimiento General	Asfáltico	Hidráulico	Tratamientos Superficiales
SIECA-2004*	IRI obtenido en sub-lote de 0.1 km	No especifica		
ASTM E 1926-98	No especifica	Presenta dos escalas de valores de IRI con descripción verbal, una para pavimentos de concreto asfáltico o tratamiento superficial y una para vías no pavimentadas. Dichas escalas han sido tomadas de la especificación ASTM E 1926 "Standard Practice for Computing International Roghness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements"		
AASHTO-PP 37-02	Regularidad: Promedio de los valores de IRI determinados en cada rodera en tramos de 100 m	No especifica		
FP-2003	La regularidad del pavimento se especifica en términos del Índice de Perfil (PI)	-----		

*Fuente: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, 2da. Edición, Sección 401.16, Pág. 400-18.

Tabla 5.3. Requerimientos de IRI por Agencias Públicas en El Salvador

INSTITUCION PUBLICA	REQUERIMIENTOS DE IRI SEGÚN TIPO DE PAVIMENTO O SUPERFICIE			
	Procedimiento General	Asfáltico	Hidráulico	Tratamientos Superficiales
Ministerio de Obras Públicas de El Salvador	Caminos Rurales			
	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI no mayor a 3.0 m/km	-----	-----
	Vías Interurbanas			
	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI no mayor a 2.0 m/km	IRI no mayor que 2.5 m/km	-----

5.3 Índice de Serviciabilidad

AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para establecer el nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la estructural. Introdujo para ello el concepto de serviciabilidad, derivado de una encuesta efectuada en la década del 60 entre usuarios de carreteras en los Estados Unidos. La serviciabilidad fue definida como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. Los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones.

Los resultados de la encuesta fueron luego correlacionados con el estado real de deterioro que presentaban los pavimentos evaluados, ligando de esta

manera la condición funcional con la estructural y convirtiéndolo así en un indicador objetivo, el Índice de Serviciabilidad de un pavimento.

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otras palabras, a un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas condiciones).

A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de serviciabilidad ($\Delta PSI = P_o - P_t$).

Los valores que se recomiendan (según SIECA) dependiendo del tipo de pavimento son los siguientes:

Índice de serviciabilidad inicial:

$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos

$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles

Índice de serviciabilidad final:

$P_t = 2.5$ o más para caminos muy importantes

$P_t = 2.0$ para caminos de tránsito menor

Actualmente para medir el índice de serviciabilidad presente se utiliza el IRI, Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index).

Para correlacionar el Índice de Serviciabilidad y el IRI, se utiliza la siguiente fórmula:

$$PSI = 5 \times e^{(-0.0041 \times IRI)} \quad [\text{Ec. 5-1}]$$

En donde:

PSI = Índice de Serviciabilidad

IRI = Índice Internacional de Rugosidad

e = 2.71828183... (Base de los logaritmos neperianos)

Es de tomar en cuenta, que en esta fórmula y con estos valores, lo que se obtiene es pulgadas por milla.

5.4 Fundamentos de la evaluación de estado de los pavimentos

La evaluación de estado del pavimento consiste en el relevamiento de las fallas más significativas que afectan al mismo. Estas son:

- Deformación longitudinal (D1)
- Deformación transversal (D2)
- Fisuración (D3)
- Desprendimiento (D4)

Este relevamiento se procesa de modo de llegar a un índice indicativo del estado de dicho pavimento a la fecha de evaluación; a este índice se lo denomina Índice de Estado. El mismo responde a la expresión:

$$IE = 10 \times e^{-\sum a_i \times D_i} \quad [\text{Ec. 5-2}]$$

Donde:

IE = Índice de Estado.

e = 2.718 (base de los logaritmos neperianos).

a_i = Coeficientes de peso, que dependen del tipo de la capa de rodamiento del pavimento evaluado, según sea flexible con capa de rodamiento de concreto asfáltico, flexible con tratamiento bituminoso superficial, o rígido y adoptan valores comprendidos entre 0.04 y 0.08.

Di = Coeficientes que valorizan el grado de falla, adoptan valores comprendidos entre 0 y 10, correspondiendo los mayores valores a las situaciones más desfavorables.

El Índice de Estado (IE), tal como se ha visto, combina en su fórmula la evaluación de cuatro tipos de fallas. Por esta razón el IE puede utilizarse ya sea como elemento de juicio para la evaluación general de un pavimento dado, o bien para detectar la conveniencia y el grado de urgencia de profundizar el análisis, determinando la obra necesaria correspondiente.

De acuerdo con esta expresión el IE alcanza valores comprendidos aproximadamente entre 1 y 10, correspondiendo los mayores valores a los mejores estados del pavimento.

Se define que un valor de IE entre 10 y 7 indica un estado bueno del pavimento; un valor entre 7 y 5 un estado regular, para el cual sería conveniente realizar un estudio para determinar la conveniencia de encarar oportunamente las fallas con tareas de mantenimiento y/o la próxima construcción de un refuerzo o de

una mejora, de modo de evitar su rápida destrucción, mientras que con valor del orden de 5 o menor, estaríamos ante el caso de un pavimento sumamente fallado que requiere atención en forma urgente.

A los fines de definir el proyecto de obras a realizar, es necesario la consideración aislada de cada uno de los coeficientes D1, D2, D3, D4 y su evolución en el tiempo, dado que la información derivada de la interpretación correcta de dichos valores es de gran importancia en el proceso de identificar las reales causas de la falla del pavimento.

La determinación en campaña de los coeficientes de deterioro D_i , se complementa tomando en cuenta la existencia de otros elementos relacionados con el estado del pavimento, tales como:

- Exudación: cuando compromete la resistencia al deslizamiento del rodado de los vehículos.
- Bacheos: para indicar principalmente en que nivel ha fallado ya el pavimento.
- Drenaje: mediante la observación de las condiciones generales del mismo en la sección atendiendo en especial a su posible influencia en el del paquete estructural.
- Son otros datos de interés, por ejemplo, el estado de bordes de calzadas, los hombros, el carril más deteriorado, etc.

5.4.1 Capa de rodamiento con Mezcla Asfáltica

Para el caso de los pavimentos flexibles el Índice de Estado responde a la expresión:

$$IE = 10 \times e^{-(0.04D1+0.05D2+0.07D3+0.04D4)} \quad [\text{Ec. 5-3}]$$

Donde:

D1: Deformación longitudinal

D2: deformación transversal

D3: fisuración

D4: desprendimientos

5.4.2 Capa de rodamiento con concreto hidráulico

Para el caso de los pavimentos rígidos, el Índice de Estado responde a la expresión:

$$IE = 10 \times e^{-(0.05 D_i + 0.09 D_3)} \quad [\text{Ec. 5-4}]$$

Donde: D_i es la deformación longitudinal

D_3 es la fisuración

Coeficiente D_i : Deformación Longitudinal

La determinación del Coeficiente D_i se realiza en forma análoga que para los casos flexibles, mediante la utilización del *rugosímetro*.

Para este caso, la rugosidad determinada con el equipo se define con el coeficiente D_i en base a la tabla 5.4:

Tabla 5.4 Rugosidad

Rugosidad (m / km)	Coefficiente D_i correspondiente
0 – 1.8	0
1.9 – 2.1	1
2.2 – 2.5	2
2.6 – 2.9	3
3.0 – 3.3	4
3.4 – 3.6	5
3.7 – 4.0	6
4.1 – 4.5	7
4.6 – 5.0	8
5.1 – 5.5	9
Mayor de 5.5	10

Coefficiente D_3 : Fisuración

La determinación del Coeficiente D_3 se efectúa estimando el grado de fisuración de la calzada, con el auxilio de la siguiente tabla:

Tabla 5.5. Fisuración

Descripción	D
Ninguna Fisuración.	0
Fisuras Finas, aisladas, ubicadas al azar, que no forman celdas.	2
Fisuras regulares (Ancho menor 2 mm) Transversales, Longitudinales o de Esquina que Subdividen a las Losas en Paños Grandes.	4
Agrietamientos importantes (mayor 2 mm) Transversales, Longitudinales, Diagonales que subdividen las losas en paños chicos, bordes con desprendimientos superficiales y/o existencia de tareas de bacheo con Mezcla Asfáltica.	6
Agrietamientos y Desprendimientos profundos, Movimiento relativo de Panes de material, Variación del Perfil de la Calzada y/o formación de Baches aislados.	8
Generalización de Desprendimientos de Panes de Material y/o Formación de Baches, Bloques Hundidos o Asentados.	10

5.5 Comportamiento de los Pavimentos

El desempeño de los pavimentos en el transcurso de su vida útil es regido generalmente por un ciclo, en el cual, los deterioros de cada una de las fases de este ciclo varían de acuerdo al tipo de pavimento, pero es de hacer notar que la tendencia en la transformación de la estructura con el paso del tiempo es similar y se desarrolla en cuatro etapas:

- Etapa de Construcción
- Etapa de Deterioro Lento y Poco Visible
- Etapa de Deterioro Acelerado y de Quiebre
- Etapa de Descomposición Total

5.5.1 Etapa de Construcción

Un pavimento pudo ser bien construido o haber presentado algunos defectos durante la construcción, o bien haber existido deficiencias tanto en el diseño como en la ejecución. Como sea, cuando la vía se apertura al tráfico, generalmente se encuentra en optimas condiciones, y el tránsito es cómodo, fácil, rápido y seguro.

5.5.2 Etapa de Deterioro Lento y Poco Visible

Durante cierto periodo de tiempo, se da un proceso de desgaste y debilitamiento lento en el pavimento, principalmente en la carpeta de rodadura y en menor grado en el resto de su estructura. Dicho desgaste es originado por

la diversidad de vehículos que se desplazan sobre él, también por la influencia del clima, la radiación solar, la lluvia, cambios de temperatura, etc. La calidad al inicio de la elaboración de la estructura también es un factor determinante en la forma de evolucionar del deterioro.

A lo largo de toda esta etapa el pavimento aparenta mantenerse en buenas condiciones y el desgaste no es perceptible por usuario. Aunque se da un incremento gradual de fallas menores aisladas, la vía sigue prestando un buen servicio y se encuentra en condiciones de ser conservada.

5.5.3 Etapa de Deterioro Acelerado y de Fractura

Con el correr de los años, el pavimento entra a un deterioro acelerado y soporta cada vez menos las cargas del tránsito. Al comienzo de esta etapa, la estructura básica del pavimento se mantiene intacta, presentándose mínimas fallas en la superficie, por lo anterior, se tiene la percepción que el pavimento se conserva aún en buen estado. Pero en realidad, sucede todo lo contrario, presentándose mayor cantidad de fallas en la superficie y se inicia el deterioro de la estructura básica, lo cual no es visible.

Por lo tanto, se puede afirmar que al detectar graves fallas a simple vista en la superficie de un pavimento, su estructura básica está seriamente dañada. Los daños al inicio son puntuales, pero posteriormente se multiplican en la mayor parte del pavimento, cuando esta situación se presenta, la destrucción se acelera; si no se toman medidas en el transcurso de esta etapa, el pavimento

llega al punto de quiebre produciéndose una falla generalizada, tanto en la superficie como en la estructura básica.

En el transcurso de esta etapa, los vehículos circulan experimentando una serie de molestias debido a las irregularidades de la superficie, tales como: grietas, baches, hundimientos y deformaciones.

5.5.4 Etapa de Descomposición Total

Constituye la etapa final en la “vida” de un pavimento, y pueden transcurrir varios años, al inicio se observa la pérdida de la capa de rodamiento, con el desprendimiento de fragmentos de ésta por el paso de vehículos pesados, posteriormente transformándose en un camino de agregados, y finalmente, de tierra. Dificultándose el paso de los vehículos, la velocidad de circulación decrece considerablemente y la capacidad del camino disminuye grandemente. Los vehículos presentan daños en llantas, suspensión y en el chasis; los costos de operación se elevan considerablemente y aumentan los accidentes graves.

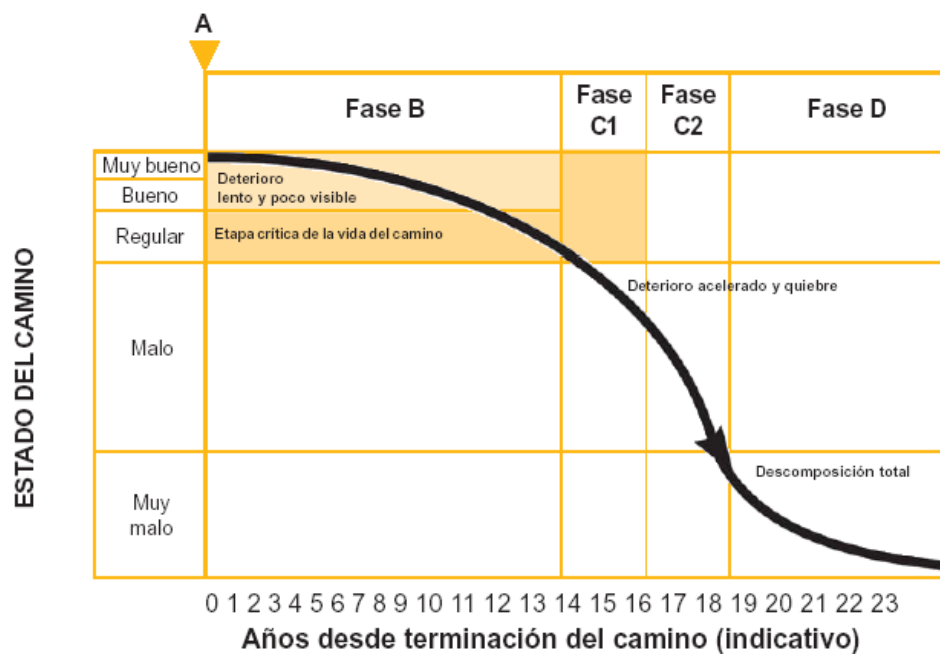


Figura 5.8. Deterioro de los pavimentos flexibles a través del tiempo.⁷

5.5.5 Deterioro de los Pavimentos

Los pavimentos fallan en distintos modos y por diferentes causas, los daños más frecuentes están ligados a:

- El tipo de estructura del pavimento,
- Los materiales empleados en su construcción
- Las condiciones climáticas en las que la estructura se encuentra sometida

⁷ Fuente: Trabajo de Graduación por el Título de Ingeniero Civil, UES: "ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES EN VIAS INTERURBANAS MEDIANTE LA APLICACION DEL HIGWAY DEVELOPMENT AND MANAGEMENT MODEL (HDM-4)"; **MENDOZA DELGADO, JEANNETHE PATRICIA y NAVARRO, MELVIN ERNESTO.**

El agrietamiento por fatiga, la deformación longitudinal permanente que causa el aumento sostenido del IRI, y el agrietamiento térmico, son los modos de fallo más frecuentes.

En los pavimentos flexibles, se observa frecuentemente el agrietamiento por fatiga, producido por la repetición de cargas ocasionadas principalmente por el tráfico de vehículos pesados.

En los pavimentos rígidos las fallas más comunes que se visualizan en la superficie de las losas son las fisuras y grietas que originan las variaciones de temperatura que sufre el pavimento; por otra parte, los despostillamientos, debido a las deficiencias en los sellos de las juntas y la inadecuada transferencia de cargas.

Por lo tanto, los *Deterioros de los Pavimentos* son manifestaciones superficiales en la capa de rodadura que hacen que el tránsito vehicular sea menos cómodo y seguro, aumentando a la vez los costos de operación.

Sea cual sea el daño que manifiesten los pavimentos deben analizarse las siguientes causas probables:

- Diseño insuficiente de la superestructura.
- Inestabilidad de las obras de tierra.
- Deficiencias constructivas.
- Solicitaciones no previstas.
- Inadecuado mantenimiento.

5.6 Fallas en pavimentos asfálticos

5.6.1 Ciclo de un pavimento flexible

El deterioro continuo y permanente de un pavimento comienza en el momento que finaliza su construcción, dicho deterioro es generado por la acción del tráfico y de la intemperie. Al visualizar el desempeño de los pavimentos flexibles, se puede dividir su vida en tres etapas, según figura 5.9:

- Etapa de Consolidación
- Etapa Elástica
- Etapa de Fatiga

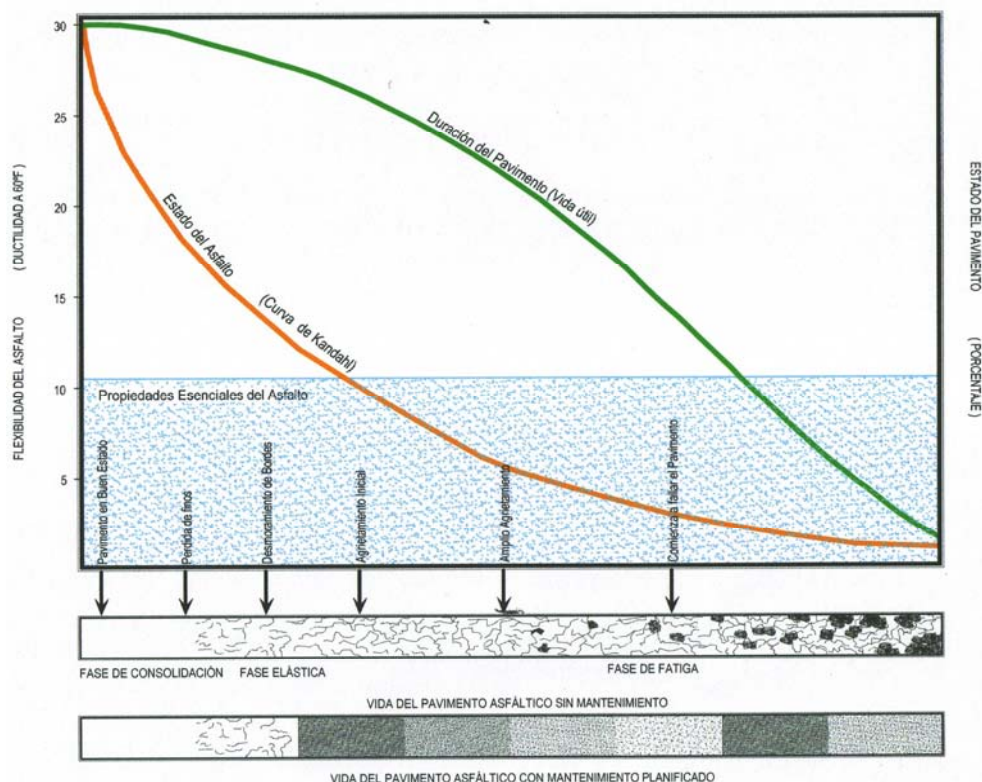


Figura 5.9. Comportamiento del Pavimento Asfáltico de acuerdo a su edad.⁸

⁸ Fuente: Trabajo de Graduación por el Título de Ingeniero Civil, UES: "Propuesta de Aplicación de Lechadas Asfálticas Modificadas (Microsurfacing) como Técnica de Mantenimiento Periódico en Vías de Alto Tráfico"; Alvarado Jonathan, Chipagua, Luis y Mejía, Hugo.

a. Etapa de Consolidación

Es la etapa inicial en el ciclo de un pavimento asfáltico, donde sus diversas capas sufren cierta consolidación, a causa de las cargas transmitidas por las llantas de los vehículos. Es una etapa relativamente corta que tiende a estabilizarse rápidamente. Depende de la compactación que reciben las diversas capas del pavimento durante la construcción. La consolidación no debe ocurrir si se ha efectuado una buena compactación.

b. Etapa Elástica

Comienza inmediatamente después de etapa de consolidación y corresponde a la vida útil del pavimento. Si se da la consolidación, cada carga provoca una deformación de tipo permanente que luego tiende a transformarse en deformación transitoria de recuperaron instantánea de tipo elástico, dicho de otra manera, cada rueda provoca, un movimiento vertical hacia abajo (deflexión), que se recupera después de pasar el vehículo (rebote).

Durante la etapa elástica no se presentan fallas generalizadas en el pavimento, exceptuando deformaciones o fallas locales por defectos de materiales, exceso de humedad, etc.

En esta etapa, las deformaciones elásticas causadas por las cargas, producen esfuerzos de tensión en las capas asfálticas y de compresión en las capas granulares.

La vida de un pavimento depende de esta etapa, de su duración, lo cual esta relacionado a las deflexiones que puede sufrir el pavimento. Cabe destacar que los pavimentos que presentan deflexiones reducidas, tienen generalmente una vida larga, sucediendo lo contrario cuando las deflexiones son elevadas.

c. Etapa de Fatiga

Es la fase final en el ciclo de la estructura. Las deflexiones causadas por el constante paso de las ruedas de los vehículos provocan tensiones de tracción en la carpeta asfáltica, que vienen acumulándose desde la fase elástica hasta que la capa se rompe por fatiga después de cierto número de pasadas, instante en el que inicia un colapso gradual en toda la vía. Las señales de etapa de fatiga inician con la aparición de grietas longitudinales las cuales con el paso repetido del tránsito y la penetración de las aguas superficiales, al interior del pavimento, provocan el colapso de la estructura llegando el pavimento al final de su vida útil.

5.6.2 Mecanismos de Deformación

Toda carga vehicular sobre un pavimento produce una deformación, la cual puede ser transitoria o permanente.

a. Transitoria

Es aquella que desaparece cuando se retira la carga. Si la recuperación es instantánea se dice que la deformación es elástica.

Si por el contrario, transcurre cierto tiempo desde que se retira la carga hasta recuperar la condición inicial se dice que esta es viscoelástica.

b. Permanente

Es aquella que se mantiene aun después de haber retirado la carga. Dentro de este tipo se encuentran las deformaciones:

- Por consolidación
- Plásticas
- Por expansión

b.1 Por consolidación

Consiste en la reducción en el espesor de alguna de las capas del pavimento, con un cambio correspondiente de volumen. Generalmente esta deformación se debe a una compactación insuficiente de la capa que falla y se caracteriza por no presentar grietas, pero produce incomodidad al tránsito.

b.2 Plástica

Consiste en una falla por esfuerzo de corte debido a que las cargas aplicadas exceden la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. Se caracteriza por una alteración de la superficie del pavimento sin que ocurra cambio en su volumen.

b.3 Por Expansión

Consiste en un cambio de volumen del pavimento debido a variaciones en el contenido de humedad del suelo de fundación. Se produce por el empelo de materiales inadecuados trabajados incorrectamente durante las construcción.

5.7 Clasificación de las Fallas

5.7.1 Clasificación por grupos

Las fallas de los pavimentos pueden posiblemente dividirse en tres grupos fundamentales de origen bien diferenciado:

a. Fallas por insuficiencia estructural

Se trata de pavimentos contruidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente. La falla estructural esta asociada con la pérdida de cohesión de algunas o todas las capas del pavimento de tal forma que éste no puede soportar las cargas a la que esta sometido.

En términos generales, esta es la falla que se produce cuando las combinaciones de resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores no son los adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiado.

b. Fallas por defectos constructivos

Se trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento conjunto.

c. Fallas por fatiga

Se trata de pavimentos que originalmente estuvieron en condiciones apropiadas, pero que por la continua repetición de las cargas de transito sufrieron defectos de fatiga, degradación estructural y en general, perdida de

resistencia y deformación acumulada. Como quiera que estos fenómenos están grandemente asociados al número de repeticiones de la carga, las fallas de fatiga resultan claramente influidas por el tiempo de servicio; son las fallas típicas de un pavimento que durante mucho tiempo trabajó sin problemas.

5.7.2 Clasificación por su origen

Las fallas También pueden clasificarse de acuerdo a su origen en:

- a. Fallas Superficiales
- b. Fallas Estructurales.

a. Fallas Superficiales

Las Fallas Superficiales afectan principalmente las características funcionales de un pavimento, como: comodidad, seguridad y durabilidad; se presentan en la superficie del pavimento, repercutiendo de forma negativa en la calidad de servicio prestado al usuario. Estas son relativamente leves, cuando un pavimento ha perdido su función inicial. Son causadas principalmente por la acción abrasiva del tráfico, el envejecimiento y los agentes atmosféricos, aunque algunas veces se puede deber al empleo de materiales inadecuados o a una mala ejecución.

b. Fallas Estructurales

Consisten en el rompimiento del pavimento por la falla estructural de alguna o varias de sus capas o por incapacidad del suelo que lo soporta. Cuando estas

se encuentran muy avanzadas pueden obstaculizar el paso vehicular por la carretera. Las fallas estructurales las podemos dividir en fallas en la base y en la sub-base.

b.1 Fallas en la Base

Esta capa es muy importante en el caso de pavimentos asfálticos, sus fallas son de tipo estructural. Pueden deberse a exceso de arcillas que al saturarse se expanden y pierden su resistencia, provocando una deformación junto con la carpeta. El espesor de la base puede ser menor que la correspondiente a su factor de carga, produciéndose la falla por esfuerzo cortante y puede fallar por la consolidación debido a una deficiente compactación provocando también deformación en la carpeta de rodadura.

b.2 Fallas en la Sub-base

Por lo general los problemas que se presentan en esta son similares a los que se dan en la base. Si la falla es en la sub-base o sub-rasante, el movimiento en la base y la carpeta es exagerado y se manifiesta por unas huellas profundas o baches.

En general el agua ejerce una acción destructora sobre los pavimentos asfálticos; tanto la que se filtra directamente como la que sube por capilaridad; por lo que es necesario impermeabilizar y estabilizar adecuadamente las capas de base, sub base y sub-rasante.

b.3 Fallas en carpeta asfáltica

Siendo la carpeta la capa que esta en contacto directo con las cargas y los efectos ambientales la falla se observa en ella con facilidad, estas pueden ser causadas por diversos aspectos tales como: espesor insuficiente, exceso o falta de asfalto, riego de imprimación excesivo, exceso de humedad en la mezcla, dosificación incorrecta de los agregados, compactación deficiente.

Estos factores pueden provocar ondulación, grietas aisladas, desintegración de la carpeta, mezcla asfáltica inestable y otras.

5.8 Fallas en la Carpeta Asfáltica

5.8.1 Tipos de Fallas

Existen básicamente cuatro tipos de fallas de acuerdo a la forma de manifestarse:

a. Agrietamientos

Son una serie de fisuras longitudinales, transversales, etc., que por diversas causas aparecen sobre los pavimentos flexibles.

Los agrietamientos son causados por deficiencias en las carpetas asfálticas, base, sub-base, o sub-rasante; manifestándose en la forma siguiente: Grietas en forma de piel de cocodrilo, longitudinales, transversales, etc.

b. Deformación y distorsión

Se define como cualquier cambio en la forma original de la superficie de un pavimento flexible, puede ser causada por deficiencia, bien de la carpeta

asfáltica o de las capas inferiores. En el primer caso se hace inestable, causado por exceso de asfalto, exceso de agua o la utilización de agregado liso y redondeado. En el segundo caso puede ser por deformación plástica de la capa o por espesor insuficiente de la base. Se manifiestan con ahuellamientos, ondulaciones. Hundimientos, hinchamientos, etc.

c. Desintegración

Es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos o también la disgregación de las partículas del agregado integrante de la muestra.

Normalmente es causado por deficiencia de asfalto, por oxidación, acción del agua o por la mala operación de los equipos de construcción. Se manifiestan como baches, peladuras, etc.

d. Resbalamiento

Generalmente es el resultado de la existencia de una película de asfalto, derrames de aceites sobre la superficie o de agregado pulido en la carpeta de rodamiento.

Este tipo de falla siempre es causado por la deficiencia de la carpeta asfáltica, como resultado del exceso de asfalto, el uso de agregados pulidos o desgastados, derrames de aceites u otras sustancias.

TABLA 5.6. PUESTA EN OBRA DE MEZCLAS ASFALTICAS. PROBLEMAS Y SUS CAUSAS⁹

CAUSAS												
PROBLEMAS	Relación Espesor Capa-Tamaño Máximo Inadecuado	Descarga Incorrecta de la Mezcla en la Extendedora	Capa Subyacente Inadecuada	Operaciones de Compactación Incorrectas	Velocidad Inadecuada de los Compactadores	Detención de Compactadores sobre la Mezcla	Proyecto Incorrecto de la Mezcla	Segregaciones	Humedad de la Mezcla	Variaciones de la Temperatura de la Mezcla	Fluctuaciones Importantes de Material en Tolva	Puesta en Obra Inadecuada
Rizado Superficial			X	X			X	X		X	X	X
Ondulación Superficial		X	X		X	X	X	X		X	X	X
Textura no Uniforme	X		X				X	X		X	X	X
Peladuras							X	X		X		
Huellas Transversales de la Extendedora		X										
Pre-Compactación Escasa	X		X									X
Junta Longitudinal				X							X	X
Juntas Transversales				X								X
Grietas Transversales			X	X			X		X	X		
Desplazamiento Longitudinal			X	X	X		X		X	X		
Exudaciones							X		X	X		
Huellas de Compactación			X	X	X	X				X		
Compactación Pobre			X	X	X	X	X		X	X		

⁹Fuente: Jornadas Nacionales de Firmes Flexibles Asociación Técnica de Carreteras, España

Los principales daños en un pavimento asfáltico de acuerdo a la SIECA para el área centroamericana son los siguientes:

a. Fisuras y grietas

1. Fisura Piel de Cocodrilo (Alligator Cracking):

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 de carga, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo.

Ocurren necesariamente en áreas sometidas al tránsito, como las huellas de canalización del tránsito. Si la base y la sub-base son débiles, el fisuramiento será acompañado por ahuellamientos.

Cuando el drenaje es inadecuado, el fisuramiento se presentará en primera estancia, en las huellas de canalización exteriores. En su etapa final, el agrietamiento se transforma en bache. La misma sección del pavimento presentara fisuras y grietas de cocodrilo, ahuellamiento y baches.

Posibles Causas

- Debido a la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil.
- El ligante por lo general ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse.



Figura 5.10. Fisura Piel de Cocodrilo (Tomada en Colonia Guadalcanal, Ciudad Delgado)

2. Fisuras en Bloque (Block Cracking):

Serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm, con un área variable de 0.10 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.

Posibles Causas

- Originadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. También suelen ocurrir en pavimentos bituminosos colocados sobre bases granulares estabilizadas o mejoradas con cemento Pórtland, que se producen a raíz de la contracción eventual de la capa estabilizada, que se reflejan en la superficie del pavimento. A menudo es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la capa de rodadura o en la base y sub-base. La ausencia de tráfico tiende a acelerar la formación de estas grietas de contracción.
- También se debe a cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas con un ligante de penetración baja. Por lo general, el origen de estas fisuras no está asociado a las cargas de tráfico; sin embargo, dichas cargas incrementan la severidad de las fisuras. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente.



Figura 5.11. Fisura en Bloque. (Tomada en Colonia Guadalcanal, Ciudad Delgado)

3. Fisura en Arco (Arc Cracking):

Son fisuras en forma de media luna (o más precisamente de cuarto creciente) que apuntan en la dirección de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento. Las fisuras en arco no necesariamente apuntan en el sentido del tránsito. Por ejemplo, si se frena el vehículo cuesta abajo, la dirección de la fisuras está cuesta arriba.

Posibles Causas

- Se producen cuando los efectos de frenado o giro de las ruedas de los vehículos provocan un resbalamiento y deformación de la superficie de pavimento. Esto ocurre generalmente cuando se combinan una mezcla asfáltica de baja estabilidad y una deficiente adherencia entre la superficie y la siguiente capa de la estructura del pavimento.

- La falta de riego de liga, un exceso de ligante o la presencia de polvo durante la ejecución de los riegos, son factores que con frecuencia conducen a tales fallas.
- La causa también puede ser un contenido alto de arena en la mezcla, sea arena de río o finos triturados.



Figura 5.12. Fisura en Arco. (Tomada de Catálogo de Daños, SIECA)

4. Fisura Transversal (Transverse Cracking):

Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera. Puede afectar todo el ancho del carril como limitarse a los 0.60 metros próximos al borde del pavimento.

Posibles Causas

- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, debido a un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc. Particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes.
- Reflexión de grietas en la capa subyacente.
- Defectuosa ejecución de las juntas transversales



Figura 5.13. Fisura Transversal. (Tomada en Colonia Guadalcanal, Ciudad Delgado)

5. Fisura Longitudinal (Longitudinal Cracking):

Fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera, pudiendo localizarse en las huellas de

canalización de tránsito, en el eje o en los bordes del pavimento. La ubicación de la fisura es indicativa de la causa más probable.

Posibles Causas

- Instancias iniciales del fenómeno de fatiga por debilidad estructural, ocurren en las huellas de canalización del tránsito.
- Defectuosa ejecución de las juntas longitudinales de construcción, al distribuir las mezclas asfálticas durante la construcción; ocurren en el eje y coincidencia con los carriles de distribución y ensanches.
- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, particularmente ante gradientes térmicos importantes.
- Reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento; incluyendo fisuras en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto, usualmente se presentan combinadas con fisuras transversales.
- Deficiente confinamiento lateral, por falta de hombros y cordones o bordillos, que provocan un debilitamiento del pavimento en correspondencia con el borde. Estas, asociadas a las cargas del tránsito, ocurren a una distancia de 0.30 a 0.60 m del borde.



Figura 5.14. Fisura Longitudinal (Tomada en Colonia Guadalcanal, Ciudad Delgado)

B. Deformaciones superficiales de pavimentos asfálticos

7. Ahuellamiento (Rutting):

Depresión longitudinal continúa a lo largo del rodamiento del tránsito, de longitud mínima de 6 m. Las repeticiones de las cargas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o en la sub-rasante.

Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, las deformaciones ocurren en las capas superiores del pavimento; cuando el radio de influencia es amplio, las deformaciones ocurren en la sub-rasante. Las deformaciones resultan de una compactación o movimiento lateral de los materiales (fluencia plástica o punzonamiento por corte), ambos por efecto de tránsito.

El ahuellamiento indica una insuficiencia estructural del pavimento o una deficiente estabilidad del sistema sub-rasante-pavimento. En algunos casos se hace más evidente cuando la mezcla asfáltica se desplaza formando un cordón a cada lado del área deprimida.

Posibles causas

- Capas estructurales pobremente compactadas.
- Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma.
- Mezcla asfáltica inestable.
- Falta de apoyo lateral por erosión del hombro.
- Capacidad estructural del pavimento con espesores deficientes de las capas que lo integran.
- Técnica de construcción pobre y un bajo control de calidad.
- Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad.
- La acción del tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original).
- El acompañamiento por levantamiento adyacente a los ahuellamientos, que indica que hay fallas en las capas superiores del pavimento.
- Estacionamiento prolongado de vehículos pesados.
- Exceso de ligantes de riegos.



Figura 5.15. Ahuellamiento (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA).

8. Corrimiento (Shoving):

Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material formando "cordones", principalmente laterales, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje de la carretera. Típicamente puede identificarse a través de la señalización horizontal del pavimento, observando demarcación de los carriles, por efecto de corrimiento.

Posibles Causas

- Los desplazamientos son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, falta de vacíos, o bien, por falta de confinamiento lateral.

- La inadecuada ejecución del riego de imprimación no permite una adecuada adherencia entre la capa asfáltica de rodadura y la subyacente, originando mayor posibilidad de corrimiento.



Figura 5.16. Corrimiento (Fuente: Catalogo de Daños SIECA)

9. Corrugación (Corrugations):

Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de 1 metro entre ellas, a lo largo del pavimento.

Posibles Causas

- Este tipo de falla es ocasionado por la acción del tránsito sobre las capas superficiales (carpeta o base del pavimento).



Figura 5.17. Corrugación. (Fuente: Catalogo de Daños SIECA)

10. Hinchamiento (Bumps):

Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.

Posibles Causas

- Son causadas fundamentalmente por la expansión de los suelos de subrasante del tipo expansivo. En muchos casos pueden estar acompañadas por el fisuramiento de la superficie.



Figura 5.18. Hinchamiento. (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)

11. Hundimiento (Depression):

Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo.

Posibles Causas

- Asentamientos de la fundación.
- Deficiencias durante la construcción.
- Falta de un continuo mantenimiento a los drenes.



Figura 5.19. Hundimiento. (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)

c. Desintegración En Los Pavimentos Asfálticos

12. Bache (Pothole):

Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.

Posibles Causas

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 parte de la superficie del pavimento, originando un bache.



Figura 5.20 Bache. (Tomada en Colonia Santalegría, Ciudad Delgado)

13. Peladura (Stripping):

Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima.

Posibles Causas

- Indicativo que el ligante se ha endurecido apreciablemente, perdiendo sus propiedades cementantes.
- Mezcla asfáltica de deficiente calidad, ya sea por un contenido de ligante insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes, como también por deficiencias durante la construcción.
- Proceso de descubrimiento por pérdida de adherencia entre el agregado y el asfalto, cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo, e inclusive, la acción del agua (pluvial).



Figura 5.21. Peladura. (Tomada en Colonia Guadalcanal, Ciudad Delgado)

14. Desintegración de Bordes (“*Edge Distress*”):

Consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento por la acción del tránsito. Se hace particularmente manifiesto en pistas con hombros no pavimentados, en las que existe una significativa porción de vehículos que acceden del hombro al pavimento o en el sentido contrario.

Posibles Causas

- La causa primaria es la acción localizada del tránsito, tanto por su efecto abrasivo como por el poder destructivo de las cargas, sobre el extremo del pavimento donde la debilidad de la estructura es mayor debido al menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, etc.
- La presencia de arenas angulosas sueltas, muy próximas a la pista, hace que aumente la abrasión de las llantas que ascienden y descenden del pavimento, provocando peladuras severas que pueden conducir a la desintegración.



Figura 5.22. Desintegración de Bordes (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)

d. Otros Deterioros en los Pavimentos Asfálticos

15. Exudación de Asfalto (Bleeding of Bitumen):

Consiste en el afloramiento de un material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante el tiempo cálido.

Posibles Causas

- Excesivo contenido de asfalto en las mezclas asfálticas y/o sellos bituminosos.
- Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficientes, durante épocas calurosas. El ligante dilata, llena los vacíos y aflora a la superficie, dejando una película de bitumen en la superficie. Dado que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumula en la superficie



Figura 5.23. Exudación de Asfalto (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)

A continuación se presenta una serie de cuadros resumen de las distintas fallas que se presentan en los pavimentos asfálticos, el mecanismo y sus posibles causas:

Tabla 5.7. Fisuraciones en los Pavimentos Asfálticos

Manifestación	Mecanismo	Causa
Fisura Piel de Cocodrilo	Rotura por tracción de capas asfálticas	Causadas por la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito.
Fisuras en Bloque	Contracción térmica de capa asfáltica	Causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura
Fisura en Arco	Deslizamiento de la capa asfáltica	Falta de adherencia entre capas o resistencia a esfuerzos tangenciales deficiente en capa inferior
Fisura Transversal	Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie del pavimento,	Fisuras de contracción en capas cementadas inferiores
Fisura Longitudinal	Fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera,	Fisuración de borde de capa inferior por hundimiento de terraplén o por contracción del mismo

Tabla 5.8. Deformaciones en los Pavimentos Asfálticos

Manifestación	Mecanismo	Causa
Ahuellamiento	Compactación por el tránsito de una o varias capas o deformación plástica de una o varias capas	Deficiente compactación de una o varias capas o relación estabilidad fluencia deficiente o valor soporte no acorde con espesores
Corrugación	Deformación plástica de capas asfálticas	Este tipo de falla es ocasionado por la acción del tránsito sobre las capas superficiales
Corrimiento	Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica	Ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, falta de vacíos, o bien, por falta de confinamiento lateral.
Hinchamiento	Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento	Son causadas fundamentalmente por la expansión de los suelos de sub-rasante del tipo expansivo .
Hundimiento	Descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo.	Causados por asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción o falta de un continuo mantenimiento a los drenes

Tabla 5.9. Desintegraciones en los Pavimentos Asfálticos

Manifestación	Mecanismo	Causa
Bache	Evolución final de fisuraciones, peladuras o hundimientos	Por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas.
Peladura	Desprendimiento de agregado	Porcentaje de asfalto deficiente o falta de adherencia asfalto-agregado o acción de agua u otros agentes como solventes
Desintegración de Bordes	Progresiva destrucción de los bordes del pavimento por la acción del tránsito	Acción localizada del tránsito, tanto por su efecto abrasivo como por el poder destructivo de las cargas
Exudación de Asfalto	Ascenso de material asfáltico hasta formar una capa de superficie	Exceso de material asfáltico

La tabla 5.10 es un intento por agrupar los principales factores que afectan a los tres tipos básicos de fallas. (Fuente: Hermilo Rico Rodríguez).

Tabla 5.10. Principales Factores que Afectan a los Tres Tipos Básicos de Fallas en los Pavimentos Flexibles

Tipo De Falla	Causa ultima		
	Transito	Pavimento	Cimentación(Apoyo)
Fisuramientos	Carga por rueda(magnitud) repeticiones Área de influencia de la carga Velocidad Arreglo y disposición de ruedas y ejes	Rigidez de las diversas capas Flexibilidad(adaptabilidad a la fatiga) Durabilidad Deformación plástica Deformación elástica	Rigidez en base y sub-base Deformación plástica Deformación elástica
Deformaciones	Carga por rueda repeticiones Área de influencia de la carga Velocidad Arreglo y disposición de ruedas y ejes	Espesor Resistencia Compresibilidad Susceptibilidad a cambios de volumen Deformación plástica Deformación elástica	Susceptibilidad a cambios de volumen Deformación plástica Deformación plástica
Desintegraciones (fallo de carpetas)	Presión de la llanta Repeticiones Velocidad	Características del asfalto Características del agregado(porosidad, falta de adherencia con el asfalto)	Resiliencia en las capas de pavimento Infiltración de agua Cambios de temperatura

5.9 DAÑOS SUPERFICIALES EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

5.9.1 CUADRO RESUMEN DE FALLAS EN PAVIMENTOS RIGIDOS

TABLA 5.11. FISURACIONES

Fisuración Transversal.	Excesiva distancia entre juntas de contracción o demora en su aserrado o insuficiente apoyo de losas en proximidad de juntas debido a “bombeo” o contracción e hinchamientos de la sub-rasante
Fisuración Transversal con algunas Fisuras Longitudinales entre juntas y fisuras transversales.	Excesiva repetición de cargas pesadas sobre las losas con suficiencia de apoyo debido a “bombeo”.
Fisuración Longitudinal.	Asentamiento lateral de terraplén o contracción e hinchamiento de sub-rasante o contracción y expansión de losas unidas a juntas transversales en malas condiciones o incorrecta ubicación de juntas longitudinales.
Fisuración diagonal o de esquina.	Insuficiente resistencia del hormigón o insuficiencia de apoyo de losas en proximidades de la esquina debido a “bombeo”.

TABLA 5.12. DEFORMACIONES

MANIFESTACION	MECANISMO Y POSIBLES CAUSAS
Escalón (Escalonamiento), en coincidencia con juntas transversales o longitudinales	Asentamiento o levantamiento diferencial de las losas.
Sobre-elevación abrupta, de gran magnitud, generalmente en juntas transversales.	Dilatación excesiva de las losas unida a espesor insuficiente de juntas o presencia de material incompresible en las mismas, o incorrecta ubicación de juntas de dilatación.
Asentamiento, relativamente extenso.	Asentamiento diferencial por consolidación del terraplén o capas estructurales.

5.9.2 FISURAS

5.9.2.1. FISURA TRANSVERSAL O DIAGONAL

DESCRIPCIÓN: Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a éste, dividiendo la misma en dos planos.

POSIBLES CAUSAS: Son causadas por una combinación de los siguientes factores: excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la fundación, excesiva relación longitud / ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas.

La ausencia de juntas transversales o bien losas con una relación longitud / ancho excesivos, conducen a fisuras transversales o diagonales, regularmente

distribuidas o próximas al centro de las losas, respectivamente. Variaciones significativas en el espesor de las losas provocan también fisuras transversales.

MEDICIÓN: Una vez identificada la severidad de la fisura, esta puede medirse:

- i. En metros lineales, totalizando metros lineales en sección o muestra.
- ii. Registrándola por losa, totalizando el número de losas afectadas por fisuras transversales y/o longitudinales.

Si existen dos fisuras en una misma losa, se adopta el nivel de severidad de la fisura predominante.



Figuras 5.24 a, b y c. Fisuras Transversales o Diagonales en Losas de Concreto Hidráulico. (Tomadas en Tramo de Carretera San Miguel-La Unión y 9na. Calle Poniente de Santa Tecla)

5.9.2.2. FISURA LONGITUDINAL

DESCRIPCIÓN: Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos.

POSIBLES CAUSAS: Son causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales.

Con frecuencia la ausencia de juntas longitudinales y/o losas, con relación ancho / longitud excesiva, conducen también al desarrollo de fisuras longitudinales.

MEDICIÓN: Una vez identificada la severidad de la fisura, esta puede ser medida:

- i. En metros lineales, totalizando metros lineales en la sección o muestra.
- ii. En términos de número de losas afectadas, totalizando el número de éstas que evidencien fisuras longitudinales.

Si existen dos fisuras en una misma losa, se adopta el nivel de severidad de la fisura predominante.



Figuras 5.25 a, b y c. Fisuras Longitudinales en Losas de Concreto Hidráulico (Tomadas en Tramo de Carretera San Miguel-La Unión).

5.9.2.3. FISURA DE ESQUINA

DESCRIPCIÓN: Es una fisura que intersecta la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado medida desde la esquina. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa.

POSIBLES CAUSAS: Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.

La presencia de arenas angulosas sueltas, muy próximas a la pista, hace que aumente la abrasión de las llantas que ascienden y descienden del pavimento, provocando peladuras severas que pueden conducir a la desintegración.

MEDICIÓN: Las fisuras de esquina son medidas contando el número total que existe en una sección o muestra, generalmente en término de número de losas afectadas por una o más fisuras de esquina. Se contabiliza como una losa cuando ésta:

- i. Contiene una única fisura de esquina;
- ii. Contiene más de una fisura del mismo nivel de severidad;
- iii. Contiene dos o más fisuras de diferentes niveles de severidad;

En este caso se registra el nivel de severidad correspondiente a la más desfavorable.

También puede medirse en metros lineales, totalizando metros lineales en la sección o muestra evaluada.



Figuras 5.26 a y b. Fisura de Esquina (Tomadas en Calle al Volcán, de San Salvador)

5.9.2.4. LOSAS SUBDIVIDIDAS

DESCRIPCIÓN: Fracturamiento de la losa de concreto conformando una malla amplia, combinando fisuras longitudinales, transversales y/o diagonales, subdividiendo la losa en cuatro o más planos.

POSIBLES CAUSAS: Son originadas por la fatiga del concreto, provocadas por la repetición de elevadas cargas de tránsito y/o deficiente soporte de la fundación, que se traducen en una capacidad de soporte deficiente de la losa. Cuando no se toman medidas preventivas o correctivas oportunas, las "Losas Subdivididas" se degeneran en "Fisuras en Bloque".

MEDICIÓN: Se miden contando la cantidad total que existe en una sección muestra, en términos del número de losas afectadas según su severidad. Si se registró como de severidad mediana a alta, no se cuenta otros daños que pudieran evidenciar la losa. El registro se lleva separadamente para cada nivel de severidad.



Figura 5.27. Losa Totalmente Subdividida. (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)

5.9.2.5. FISURAS EN BLOQUE

DESCRIPCIÓN: Fracturamiento que subdividen generalmente una porción de la losa en planos o bloque pequeños de área inferior a 1 metro cuadrado.

POSIBLES CAUSAS: Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente. Es la evolución final del proceso de fisuración, que comienza formando una malla más o menos cerrada; el tránsito y el continuo deflexionar de los planos aceleran la subdivisión en bloques más pequeños, favoreciendo el despostillamiento de sus bordes.

De no tomarse medidas correctivas el deterioro progresa formando a corto plazo un bache. Pueden presentar diversas formas y aspectos, pero con mayor frecuencia son delimitados por una junta y una fisura.

MEDICIÓN: Una vez identificada la severidad de la falla, ésta puede ser medida:

- i. En metros cuadrados, totalizando metros cuadrados en la sección o muestra.

ii. En términos de cantidad de losas afectadas, totalizando el número en la sección o muestra; de existir en una misma losa dos manifestaciones se adopta el nivel de severidad de la fisura predominante.

En ambos casos se registran separadamente las fallas según su severidad.



Figura 5.28. Fisuras en Bloque. (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)

5.9.2.6. FISURAS INDUCIDAS

DESCRIPCIÓN: Se incluyen bajo esta denominación un conjunto de fisuras de forma errática cuyo desarrollo en el pavimento es indicado por factores relativos a una inadecuada distribución de juntas o inapropiada inserción de estructuras u otros elementos dentro de las losas.

POSIBLES CAUSAS: Cuando el arreglo de juntas en un carril no es respetado en el carril contiguo, es muy probable que induzcan o reflejen en éste, fisuras que den continuidad a las juntas existentes. Esta situación se presenta también con frecuencia cuando se ejecutan parchados y el diseño de sus bordes o juntas, sus dimensionamientos o inclusive distancias mínimas o juntas existentes, no son respetadas; eventualmente este fisuramiento puede

continuar subdividiendo los planos resultantes identificándose este caso particularmente como "Fisuras en Bloques"

Fisuras alrededor de estructuras pueden inducirse cuando no se proveen elementos de aislamiento que eviten restricción en el movimiento de las losas.

MEDICIÓN: Una vez identificada la severidad de la fisura, esta puede ser medida:

- i. En metros lineales, totalizando metros lineales en la sección o muestra.
- ii. Registrándola por losa, totalizando el número de losas afectadas por "Fisuras Inducidas".



Figura 5.29. Fisura Inducida. (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)

5.9.3 DEFORMACIONES EN LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

5.9.3.1. LEVANTAMIENTO DE LOSAS

DESCRIPCIÓN: Sobre-elevación abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta o fisura transversal.

POSIBLES CAUSAS: Son causadas por falta de libertad de expansión de las losas de concreto, las mismas que ocurren mayormente en la proximidad de las juntas transversales. La restricción a la expansión de las losas puede originar fuerzas de compresión considerables sobre el plano de la junta. Cuando estas fuerzas no son completamente perpendiculares al plano de la junta o son excéntricas a la sección de la misma, pueden ocasionar el levantamiento de las losas contiguas a las juntas, acompañados generalmente por la rotura de estas losas.

MEDICIÓN: Los levantamientos se miden contando y registrando separadamente según su severidad, en general en términos de la cantidad existente de losas afectadas en una sección o muestra, de acuerdo con las premisas siguientes:

- i. Levantamiento en fisura cuenta como una losa afectada.
- ii. Levantamiento en juntas se cuenta como dos losas afectadas.



Figura 5.30. Levantamiento de losas, acompañada de rotura. (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)

5.9.3.2. DISLOCAMIENTO

DESCRIPCIÓN: Es una falla provocada por el tránsito en la que una losa del pavimento a un lado de una junta presenta un desnivel con respecto a una losa vecina; también puede manifestarse en correspondencia con fisuras.

POSIBLES CAUSAS: Es el resultado en parte del ascenso a través de la junta o grieta del material suelto proveniente de la capa inferior de la losa (en sentido de la circulación del tránsito) como también por depresión del extremo de la losa posterior, al disminuir el soporte de la fundación. Son manifestaciones del fenómeno de bombeo, cambios de volumen que sufren los suelos bajo la losa de concreto y de una deficiente transferencia de carga entre juntas.

MEDICIÓN: Los dislocamientos se miden contando y registrando separadamente según su severidad, la cantidad existente en una sección o muestra, generalmente en términos de número de losas afectadas, de acuerdo a las siguientes premisas:

- i. El dislocamiento a través de una junta, se cuenta como una losa.
- ii. El dislocamiento a través de una grieta es una falla combinada; no se computa como dislocamiento pero se considera al definir la severidad de la grieta.

La medición se efectúa a una distancia de 0.30 a 0.50 metros del borde externo de las losas. No se efectúa la medición en juntas afectadas por parchados temporales.



Figura 5.31. Dislocamiento. (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA)

5.9.3.3. HUNDIMIENTO

DESCRIPCIÓN: Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo; puede estar acompañado de un fisuramiento significativo, debido al asentamiento del pavimento.

POSIBLES CAUSAS: Este tipo de deformación permanente del pavimento, con o sin agrietamiento puede ocurrir cuando se producen asentamiento o consolidación en la sub-rasante, por ejemplo, en terraplenes cuando existen condiciones muy desfavorables para la fundación, o bien en zonas contiguas a una estructura de drenaje o de retención donde puede ocurrir el asentamiento del material de relleno por deficiente compactación inicial o bien por movimiento de la propia estructura. También pueden ser originadas por deficiencias durante el proceso de construcción de las losas.

MEDICIÓN: Los hundimientos se miden contando y registrando separadamente según su severidad, la cantidad existente en una sección o muestra. Los resultados pueden computarse sobre la base de:

- i. Los metros cuadrados afectados.
- ii. El número de losas afectadas.
- iii. Simplemente el número de daños observados.

Tratándose de una falla de tipo puntual, originada en causas localizadas, suele excluirse de los procedimientos para inventarios de condición, limitándose a informar su existencia.



Figura 5.32. Hundimiento acompañado de material sedimentado. (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA).

5.9.4 DESINTEGRACIONES EN LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

5.9.4.1. DESCASCARAMIENTO Y FISURAS CAPILARES

DESCRIPCIÓN: Descascaramiento es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto. Por fisuras capilares se refiere a una malla o red de fisuras superficiales muy finas, que se extiende solo a la superficie del concreto. Las mismas que tienden a intersectarse en ángulos de 120°.

POSIBLES CAUSAS: Las fisuras capilares generalmente son consecuencia de un exceso de acabado del concreto fresco colocado, produciendo la exudación del mortero y agua, dando lugar a que la superficie del concreto resulte muy débil frente a la retracción.

Las fisuras capilares pueden evolucionar en muchos casos por efecto del tránsito, dando origen al descascaramiento de la superficie, posibilitando un desconchado que progresa tanto en profundidad como en área. También pueden observarse manifestaciones de descascaramiento en pavimentos de concreto armado, cuando las armaduras se colocan muy próximas a la superficie.

MEDICIÓN: Se miden en términos de número de losas afectadas. Una vez identificada la severidad de la falla se registra como una losa, con su nivel de severidad correspondiente. Se totaliza el número de losas afectadas en la muestra o sección, para cada nivel de severidad.



Figura 5.33. Descascaramiento y Fisuras Capilares. (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA).

5.9.4.2. PULIMIENTO DE LA SUPERFICIE

DESCRIPCIÓN: Superficie de rodamiento excesivamente lisa por efecto del pulimiento de los agregados que la componen.

POSIBLES CAUSAS: Esta deficiencia es causada principalmente por el tránsito, el mismo que produce el desgaste superficial de los agregados de naturaleza degradable, particularmente cuando el concreto es de calidad pobre y favorece la exposición de los mismos. Cuando el agregado en la superficie favorece la exposición de los mismos. Cuando el agregado en la superficie llega a ser muy suave al tacto, la adherencia con las llantas de los vehículos se reduce considerablemente. La reducción de la fricción o resistencia al deslizamiento, puede alcanzar niveles de riesgo para la seguridad del tránsito. El pulimiento de los agregados puede ser considerado cuando un examen de cerca revela que el número de contactos con el agregado sobre la superficie es muy reducido y este presenta una superficie suave al tacto.

MEDICIÓN: De ser necesario puede medirse en metros cuadrados de superficie afectada.



Figuras 5.34 a y b. Pulimiento. (Tomadas en 9na. Calle Poniente de Santa Tecla)

5.9.4.3. PELADURAS

DESCRIPCIÓN: Progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arena-cemento del concreto, provocando una superficie de rodamiento rugosa y eventualmente pequeñas cavidades.

POSIBLES CAUSAS: Son causadas por el efecto abrasivo del tránsito sobre concretos de calidad pobre, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso, etc.).

MEDICIÓN: Se miden en términos de losas afectadas. Una vez identificada la severidad de la falla, se registra como una losa con su grado de severidad

correspondiente. Se totaliza el número de losas afectadas en la muestra o sección para cada nivel de severidad.



Figura 5.35. Peladura formando cavidades. (Tomada en Calle al Volcán de San Salvador).

5.9.4.4. BACHES

DESCRIPCIÓN: Descomposición o desintegración la losa de concreto y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares.

POSIBLES CAUSAS: Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores del pavimento estructuralmente 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 o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras en bloque, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.

MEDICIÓN: Los baches descubiertos pueden medirse alternativamente: a) Contando el número de baches por cada nivel de severidad y registrando estos

separadamente, y b) Computando éstos en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente las áreas, según su nivel de severidad.



Figura 5.36. Bache con bordes irregulares. (Fuente: Catálogo de Daños de SIECA).

5.9.5 DEFICIENCIAS DE JUNTAS EN LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

5.9.5.1. DEFICIENCIAS EN MATERIAL DE SELLO

DESCRIPCIÓN: Se refiere a cualquier condición que posibilite la acumulación de material en las juntas o permita una significativa infiltración de agua. La acumulación de material incompresible impide el movimiento de la losa, posibilitando que se produzcan fallas, como levantamiento o despostillamientos de juntas.

POSIBLES CAUSAS: Las causas más frecuentes para que el material de sello sea deficiente, son:

- i. Endurecimiento por oxidación del material de sello.
- ii. Pérdida de adherencia con los bordes de las losas.

iii. Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas.

iv. Escasez o ausencia del material de sello

v. Material de sello inadecuado

MEDICIÓN: Las deficiencias del material de sello no se contabilizan de losa en losa. La calificación asignada se refiere a la condición del material de sello en toda el área.



Figuras 5.37 a y b. Deficiencias en Material de Sello. (Tomadas en Calle al Volcán de San Salvador y 9na. Calle Poniente de Santa Tecla).

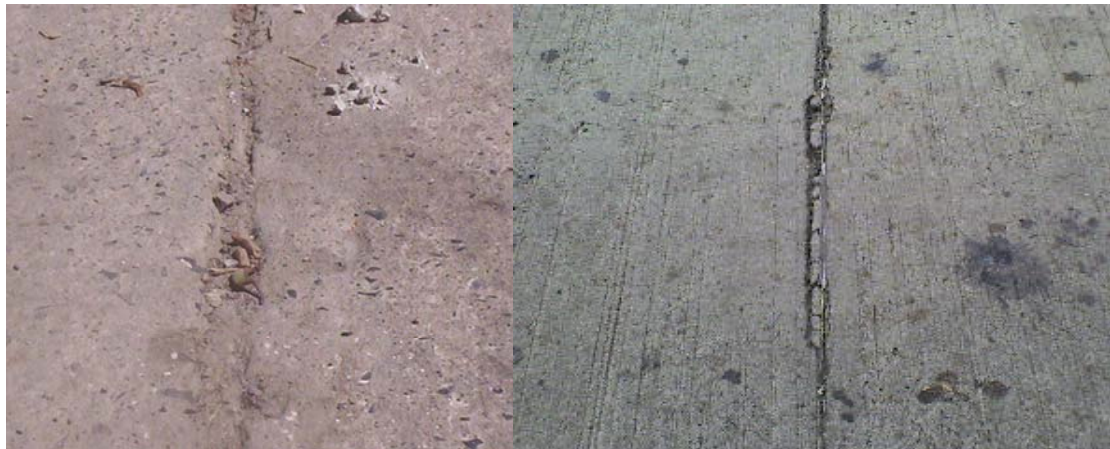
5.9.5.2. DESPOSTILLAMIENTO

DESCRIPCIÓN: Rotura, fracturación o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.60 metros de una junta o una esquina y generalmente no se extiende más allá de esa distancia. Además no se extiende verticalmente a través de la losa sino que intersectan la junta en ángulo.

POSIBLES CAUSAS: Los despostillamientos se producen como consecuencia de diversos factores que pueden actuar aislada o combinadamente; excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles; debilidad del concreto en la proximidad de la junta debido a un sobreacabado y excesiva disturbación durante la ejecución de la junta; deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta; acumulación de agua a nivel de las juntas.

MEDICIÓN: Se miden contando y registrando el número de juntas afectadas con cada nivel de severidad, expresándolos en términos de números de losas afectadas, de acuerdo a las siguientes premisas:

- i. Si el despostillamiento afecta un solo borde de la losa se controla como una losa con despostillamiento.
- ii. Si el despostillamiento ocurre a cada lado de la junta, afectando dos losas adyacentes, se registra como 2 losas.
- iii. Si el despostillamiento se observa en más de un borde de la misma losa se registra como una losa indicando el nivel de severidad correspondiente al borde más dañado.



Figuras 5.38 a y b. Despostillamiento. (Tomadas en Calle al Volcán de San Salvador y 9na. Calle Poniente de Santa Tecla).

5.9.5.3. FISURAS POR MAL FUNCIONAMIENTO DE JUNTAS

DESCRIPCIÓN: Fisuras sinuosas aproximadamente paralelas a la junta, en algunos casos transversalmente y en forma de arcos erráticos, localizados muy próximas a las mismas.

POSIBLES CAUSAS: La falta de verticalidad y la inadecuada inserción de los elementos empleados para inducir el corte de la junta, cortes poco profundos, excesiva disturbación durante la ejecución de las juntas son algunas causas frecuentes que provocan una fisura paralela muy próxima a las mismas (doble junta).

Típicamente, la colocación de barras pasadores mal alineados, el empleo de barras de insuficiente diámetro y/o longitud, o bien la corrosión de éstas, impiden el movimiento normal de las juntas, provocando fisuras próximas a la junta transversal, a una distancia de 0.20 a 0.40 metros.

MEDICIÓN: Una vez identificada la severidad del daño, se mide contabilizando el número existente en una muestra o sección, en términos de juntas afectadas. Se totaliza el número de juntas que presentan este daño para cada nivel de severidad.



Figuras 5.39 a y b. Fisuras por mal Funcionamiento de Juntas. (Tomadas en Calle al Volcán de San Salvador y 9na. Calle Poniente de Santa Tecla).

5.9.6 OTROS DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

5.9.6.1. PARCHADOS Y REPARACIONES PARA SERVICIOS PUBLICOS

DESCRIPCIÓN: Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, para reparar el pavimento existente, también un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo.

Los parchados disminuyen la serviciabilidad de la pista, al tiempo que pueden constituir indicadores, tanto de la intensidad de mantenimiento demandado por una carretera, como la necesidad de reforzar la estructura de la misma. En muchos casos, los parchados, por deficiente ejecución dan origen a nuevas fallas. Si bien los parches por reparaciones en servicios públicos se deben a causas bien diferentes, los niveles de severidad se definen en forma idéntica.

MEDICIÓN: Se miden contando separadamente según su nivel de severidad, el número de losas afectadas en una determinada sección o muestra, de acuerdo a las siguientes premisas:

- i. Si una losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se cuenta como una losa conteniendo esa falla.
- ii. Si una losa tiene parches con más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad observado.



Figura 5.40. Parchados y Reparaciones para Servicios Públicos. (Tomada en Tramo de Carretera San Miguel-La Unión).

5.10 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

5.10.1 DAÑOS VISUALES EN LA CARPETA DE RODADURA

Dependiendo del tipo de pavimento, si este es flexible ó rígido, se debe recopilar la información necesaria para elaborar un inventario de daños, que se detectan visualmente en la carpeta de rodadura. La toma de datos de campo se puede facilitar si se utiliza un formato, en la cual se ejecuta el levantamiento de daños por medio de la convención de una simbología, en un tramo establecido del pavimento.

También deben tomarse en cuenta, dentro de un inventario completo para la evaluación superficial de pavimentos, otros datos, como la geometría del pavimento (ancho de la calzada, pendientes transversales y longitudinales, curvas, etc.), el lateral en estudio, el origen y el destino del tramo, los estacionamientos, la ubicación (zona urbana ó interurbana), etc.

Ejemplos de Formatos para el levantamiento de daños superficiales para la evaluación de pavimentos, se presentan a continuación:

EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - RELEVAMIENTO DE FALLAS
 CARRETERA PANAMERICANA NORTE - TRAMO: DV. ANCON - PTE. CHANCAY
 REPRESENTACION PLANIMETRICA DE LOS RESULTADOS

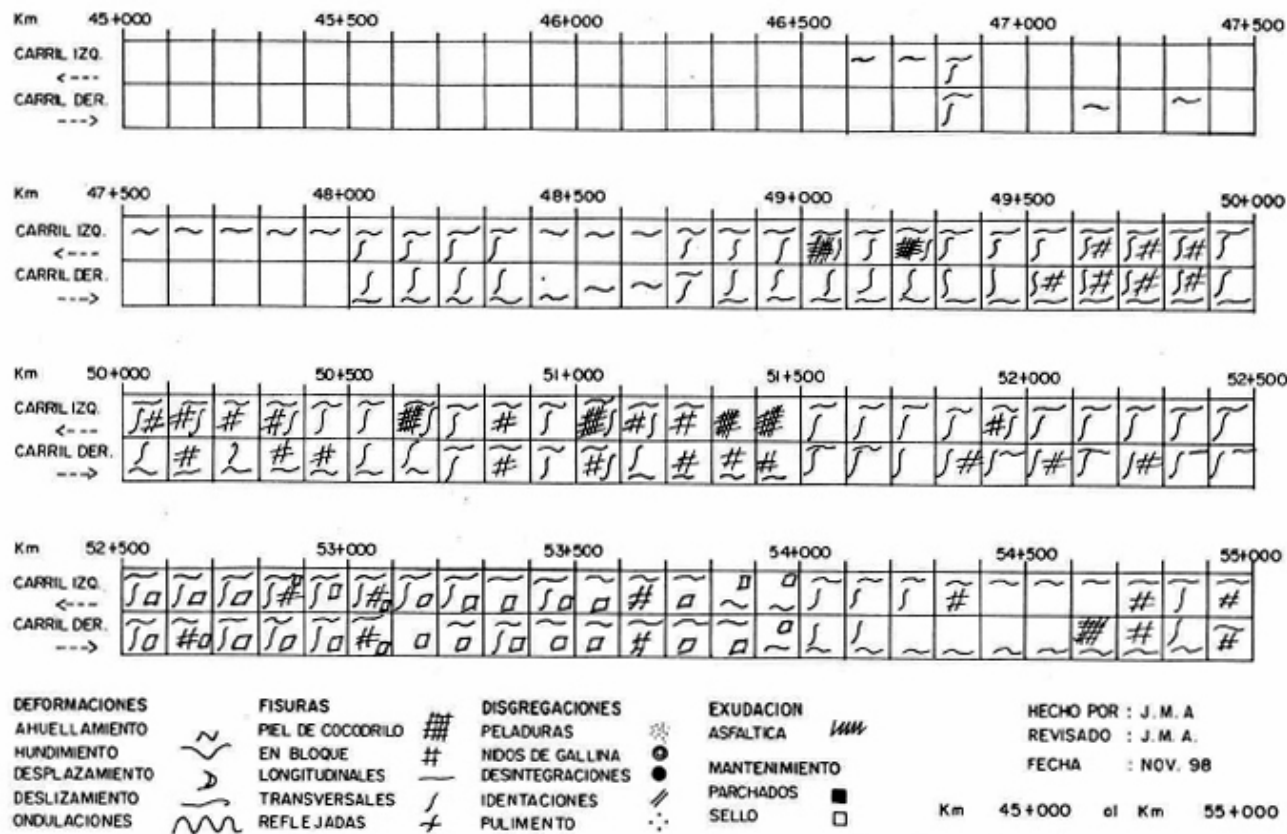


Figura 5.41. Inventario de Inspección Visual de Daños Superficiales en un Pavimento Flexible.

2. INVENTARIO DE INSPECCIÓN VISUAL DE DAÑOS PAVIMENTOS RÍGIDOS															
DAÑOS EN LA CALZADA		SÍMBOLO	UNIDAD	I	D	PR	50	100	150	200	250	300	350	400	450
DESINTEGRACIONES	PELADURAS	PF	m												
	PULIMENTO DE LA SUPERFICIE	PS	m												
	DESCASCARAMIENTO	DC	m ²												
	BACHE - DESINTEGRACIÓN TOTAL	DT	m ²												
DEFORMACIONES	DEPRESIÓN	DP	n												
	ESCALONAMIENTO	ES	m ²												
	LEVANTAMIENTOS	LV	m ²												
FISURAS	F. LONGITUDINALES	FL	m												
	F. TRANSVERSALES	FT	m												
	F. DE ESQUINA	FE	n												
	LOSAS SUBDIVIDIDAS	LS	n												
OTROS	DEFICIENCIA DEL MATERIAL DE SELLO	DMS	m												
	ASTILLADURAS	AS	m ²												
OBSERVACIONES															
DAÑOS EN	BERMAS	I													
		D													
	TALUDES	I													
		D													
DRENAJE	I														
	D														

Figura 5.42. Inventario de Inspección Visual de Daños Superficiales en un Pavimento Rígido.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES GENERALES

CAPITULO VI

6.1 CONCLUSIONES

- Se ha determinado que el éxito de la construcción de una carretera depende de los siguientes factores:
 - Campaña geotécnica
 - Estudio hidrológico
 - Diseño geométrico
 - Estudio del tráfico y el medio ambiente
 - Diseño de espesores
 - Procesos constructivos
 - Supervisión

Se puede concluir que si uno de estos factores no es el adecuado, su incidencia en la construcción de la carretera será perjudicial.

- La Transparencia en la Supervisión no sólo consiste en saber detectar un problema mediante un Control de Calidad adecuado, sino también, en poseer una ética profesional.
- Se debe evitar la comparación entre Pavimentos de Concreto Hidráulico y Pavimentos con Mezclas Asfálticas en Frío, si esta situación va encaminada a fines meramente comerciales.
- Todo esfuerzo que se haga por hacer estudios y análisis de ambos pavimentos debe estar enfocado a efectuar controles adecuados en la

producción, transporte y colocación de los pavimentos y así, se obtendrá un excelente desempeño.

- La falta de existencia de Supervisión capacitada que rija los procesos constructivos en el país hace que se presenten vicios en la elaboración de Pavimentos de Baja Intensidad de Tráfico.
- La falta de un control de calidad adecuado en los procesos constructivos de pavimentos de baja intensidad de tráfico en el país, primero, obstaculiza en gran medida que se tenga un parámetro que sirva como base para su implementación en el medio y segundo, dificulta el hecho de verificar y detectar errores en el procedimiento constructivo.
- Un deficiente proceso constructivo genera un rápido deterioro en los pavimentos, que por consiguiente se traduce en incomodidades para la población y por ende, un obstáculo en el desarrollo de las comunidades.
- Al existir una falla en el diseño del pavimento, una mala construcción o una combinación de los parámetros anteriormente mencionados, el pavimento presentará fallas prematuras y su desempeño y duración serán inferiores a los esperados.
- El aparecimiento de fallas superficiales en un pavimento de baja intensidad de tráfico, se debe más a errores en los procesos constructivos ó a una inadecuada estabilización de la sub-rasante, que a las sollicitaciones de tráfico a las que va a estar sometido, de acuerdo a su diseño. Los deterioros en los pavimentos provienen de una

combinación de factores como son el clima, materiales o construcciones defectuosas y que a su vez aumentan en severidad por las cargas de los vehículos.

6.2 RECOMENDACIONES

- El control de calidad puede interpretarse como una filosofía a implementar en la etapa de la construcción de cualquier Obra Civil. Hay que tomar los buenos ejemplos de países desarrollados, en donde esta filosofía ha prevalecido para que se ejecuten grandes obras, y esto se explica porque su trabajo va más encaminado al servicio del usuario, de su comunidad, ó de su misma Nación. El contratista deberá apegarse al plan de control de calidad.
- El conocimiento no sólo debe ser para los profesionales, el personal de obra también debe ser capacitado adecuadamente, pues son ellos los ejecutores de las mismas.
- Hay que respetar las prohibiciones dadas en las especificaciones en lo referente a la suspensión de trabajos cuando se avecina mal tiempo, ya que si se irrespetan dichas prohibiciones, el pavimento estará propenso a fallar mucho antes de lo previsto.

- Para trabajos futuros de investigación sería recomendable que se estudiaran las demás capas que componen el pavimento con el fin de reforzar y complementar el tema de los Pavimentos de Baja Intensidad de Tráfico en El Salvador.
- Para la elaboración de un buen pavimento, se requiere de la conformación de un grupo de trabajo que domine las diversas actividades que lleva el proceso constructivo como por ejemplo: Residente, Supervisor, Control de Calidad y Personal ejecutor. De esta manera se asegurará que la obra quede en buen estado.
- Buscar un mecanismo mediante el cual permita al Ministerio de Obras Públicas (M.O.P.) como Institución encargada de la Planificación Vial en el país brinde una asesoría adecuada a las municipalidades sobre los procesos constructivos y de control de calidad en pavimentos. Solicitando además la cooperación de Universidades, así como de Empresas involucradas en la construcción de carreteras.
- Que las Instituciones de Estado brinden más facilidades para otorgar los datos necesarios, cuando se solicite información correspondiente para la elaboración de los Trabajos de Investigación.
- Es de vital importancia en un Proyecto de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico, tener sólidos fundamentos teóricos y prácticos sobre los Pavimentos y de igual manera, conocer las Especificaciones vigentes.

- Debe darse una adecuada capacitación en el área de Supervisión de un Proyecto de Carreteras y hacer énfasis en la importancia y la responsabilidad que corresponden al rol que va a desempeñar el Ingeniero Supervisor, en la Construcción y en los Controles de Calidad del Proyecto.
- Debe de existir un Plan de Control de Calidad sobre los procesos constructivos para que exista un parámetro de base, y así facilitar la verificación y rectificación de errores en la construcción de pavimentos.
- Si los materiales para la construcción de una vía presentan irregularidades deben colocarse por separado y efectuarle las pruebas correspondientes antes de emplearlos.
- Se ha determinado que la solución más óptima para solventar el problema del surgimiento de fallas superficiales en las carreteras, es el de evitar el aparecimiento de éstas, mediante un mantenimiento preventivo, más que la reparación de dichas fallas, por medio de un mantenimiento rutinario.
- Es necesario investigar e implementar métodos alternativos de construcción, que ayuden a mejorar y/o renovar los procesos constructivos de pavimentos de baja intensidad con los cuáles se ha venido trabajando en El Salvador. Una buena alternativa puede ser el uso de mezclas en frío para pavimentos asfálticos, ya que éstos han tenido un buen desempeño hasta el momento en otros países de la

región Latinoamericana. Se deben realizar investigaciones, por medio de Instituciones del Estado y la Empresa Privada, sobre otros métodos de construcción de pavimentos que se utilizan en esos países y que pueden aplicarse para satisfacer las necesidades de la realidad salvadoreña.

- Los controles de calidad sirven para garantizar que se cumplan los objetivos requeridos para un Proyecto de Carreteras, los cuales son: Estructurales, Funcionales, y de Seguridad. Por tanto, el control de calidad de caminos, debe intervenir en todas las etapas de la obra; es decir desde el proyecto y construcción hasta la operación y el mantenimiento.
- Debe darse la misma importancia para la construcción de una vía, en cuanto a los controles de calidad requeridos, independientemente del tipo de vía que se necesite ejecutar.
- Debe de elaborarse un Plan de Control de Calidad para todo proyecto de Carreteras. Debe existir una adecuada planificación de las actividades a desempeñar en el proceso constructivo de una carretera antes de la ejecución de dicho proceso.
- Debe de haber un entendimiento entre Constructor, Supervisor, a fin de que todo se lleve a cabo en el orden especificado.
- En la recepción de los materiales para la construcción de un pavimento, deben efectuarse controles como el muestreo e inspección, para verificar si se presentan problemas como las irregularidades en los agregados,

por lo que deben colocarse por separado y efectuárseles las pruebas correspondientes antes de emplearlos.

- Se debe realizar una investigación exhaustiva sobre el fenómeno de las fallas superficiales en los pavimentos. Para esto, hay que tener en cuenta que se tiene que efectuar un inventario de fallas que se dan en la carpeta de rodadura, mediante investigación de campo, basándose en las especificaciones que sirven como base para la realización del inventario y posteriormente, para la toma de decisiones en el mantenimiento de un pavimento.
- La etapa de la construcción de un pavimento pertenece a todo un sistema de etapas que es más amplio y complejo, enfocadas a la obtención de un pavimento que cumpla con los objetivos estructurales, funcionales, y de seguridad. Todas estas etapas forman parte de una Gestión del Pavimento, de la cuál se encarga una Institución estatal o privada, en donde hay una Planificación de todas las etapas que conllevan al desarrollo de un Proyecto de esta envergadura, desde el Diseño y la Construcción, hasta el Mantenimiento.
- Debe de existir una adecuada recepción de las capas inferiores del pavimento ya que si éstas se encuentran en mal estado y no cumple con los requisitos de calidad necesarios, se pueden presentar fallas en la carpeta de rodadura.

BIBLIOGRAFIA

Revistas Técnicas:

García Tornel, Alejandro; Ibañez, Carlos; Fernández Sánchez, Carlos; Vaquero García, Julio; “**PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO PARA VIAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO**”; Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones; Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), No. 16.

Quintanilla, Carlos; “**PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO EN TRAMO SANTA TECLA – SAN JUAN LOS PLANES**”; Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), No. 21.

Quintanilla, Carlos; “**PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO EN VIAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO, EXPERIENCIAS LOCALES EN CAMINOS RURALES SOSTENIBLES**”; Tercer Congreso Nacional de Vías Terrestres; Antiguo Cuscatlán, del 22 al 25 de Noviembre de 2000.

Quintanilla, Carlos; “**PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO EN URBANIZACIONES RESIDENCIALES, EXPERIENCIAS EN EL SALVADOR EN DISEÑO Y CONSTRUCCION**”; Tercer Congreso Nacional de Vías Terrestres; Antiguo Cuscatlán, del 22 al 25 de Noviembre de 2000.

Ibañez, Carlos; “**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO**”; 2da. Parte, Curso Internacional; Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC) y Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA), No. 210; San Salvador, El Salvador, Marzo de 1999.

Martínez Argüello, Luis; **“Programa de Apoyo de CEMEX para el Desarrollo de Pavimentos Rígidos en México”**; Seminario de Pavimentos Rígidos; Morelia, Michoacán, Febrero de 1996.

Treviño González, Mario; **“Diseño de Pavimentos Rígidos”**; Seminario de Pavimentos Rígidos; Morelia, Michoacán, Febrero de 1996.

Araico S., Gustavo; **“Costos de los Pavimentos Rígidos”**; Seminario de Pavimentos Rígidos; Morelia, Michoacán, Febrero de 1996.

Dahlhaus P., Enrique; **“Comportamiento de los Pavimentos Rígidos”**; Seminario de Pavimentos Rígidos; Morelia, Michoacán, Febrero de 1996.

Manuales Técnicos y Libros de Texto:

“Manual de Tecnología del Concreto (Sección 1)”; Comisión Federal de Electricidad e Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México; Limusa Noriega Editores; México, 1994.

“Guía Auxiliar sobre Procesos Constructivos en Edificaciones”; Departamento de Mecánica Estructural, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA); Talleres Gráficos, Autopista Sur; San Salvador, El Salvador, 2002.

“Construcción de Pavimentos”; Colección Básica del Concreto; Instituto Colombiano de Productores de Cemento, Instituto del Concreto; Colombia, 1999.

“Pavimentos de Concreto para Carreteras (Volumen 1)”; Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC).

Zapata, Blanca Helena; “**Construcción de Pavimentos de Concreto**”; Editorial Piloto S.A.; Medellín, Colombia.

Olivera Bustamante, Fernando; “**Estructuración de Vías Terrestres**”; Editorial CECSA, 2da. Edición; México.

Londoño, Cipriano Alberto; “**Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto**”; Editorial Piloto S.A.; Medellín, Colombia, 2000.

Garber, Nicholas J. & Hoel, Lester A.; “**Ingeniería de Tránsito y Carreteras**”; Editorial Thomson, Tercera Edición.

Evans, James R. & Lindsay, William M.; “**Administración y Control de la Calidad**”; Grupo Editorial Iberoamericana, México.

“**Catálogo de Daños**”; COMITRAN XXIII; Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA); 2004.

“**Especificaciones para la Construcción**”; COMITRAN XXIII; Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA); 2004.

“**Manual de Pavimentos**”; COMITRAN XXIV; Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA); 2004.

“**DETERMINACION DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)**”; Viceministerio de Obras Públicas, Unidad de Investigación y Desarrollo Vial; Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano; República de El Salvador, Mayo de 2005.

“ESTUDIO SOBRE PINTURAS UTILIZADAS EN LA SEÑALIZACION HORIZONTAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO E HIDRÁULICO”; Viceministerio de Obras Públicas, Unidad de Investigación y Desarrollo Vial; Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano; República de El Salvador, Junio de 2003.

Especificaciones *ASTM International*:

Designación: A 615/A 615M – 01b; **“Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement”**

Designación: C 33 – 03; **“Standard Specification for Concrete Aggregates”**

Designación: C 42/C 42M – 03; **“Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete”**

Designación: C 78 – 02; **“Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)”**

Designación: C 150 – 02a; **“Standard Specification for Portland Cement”**

Designación: C 171 – 03; **“Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete”**

Designación: C 172 – 99; **“Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete”**

Designación: C 174/C 174M – 97; **“Standard Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores”**

Designación: C 260 – 01; **“Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete”**

Designación: C 494/C 494M – 99a; **“Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete”**

Designación: C 496 – 96; **“Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens”**

Designación: C 617 – 98; **“Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens”**

Designación: D 98 – 98; **“Standard Specification for Calcium Chloride”**

Designación: D 6690 – 01; **“Standard Specification for Joint and Crack Sealants, Hot Applied, for Concrete and Asphalt Pavements”**

Designación: E 670 – 94 (Reapproved 2000); **“Standard Test Method for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter”**

Designación: E 965 – 96 (Reapproved 2001); **“Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique”**

Trabajos de Graduación:

“Guía Para el Uso del Método de Diseño de Estructuras de Pavimentos Nuevos Según Método AASHTO 2002”; Jorge Alexander Figueroa Gómez; Ciudad Universitaria, Diciembre de 2005.

“Guía Para el Control y el Aseguramiento de la Calidad de Construcción de Pavimentos Flexibles Elaborados con Mezclas Asfálticas en Caliente en El Salvador”; Ángel Leonidas Antonio Maldonado Merino; Ciudad Universitaria, Julio de 2006.

“Estudio Comparativo de los Pavimentos Rígidos y Pavimentos Flexibles en Vías Interurbanas Mediante la Aplicación del Highway Development and Management Model (HDM-4)”; Jeannethe Patricia Mendoza Delgado, Melvin Ernesto Navarro; Ciudad Universitaria, Agosto de 2005.

“Propuesta de la Técnica de Cepillado, para la Rehabilitación de la Carretera Panamericana desde La Cuchilla Hasta el Desvío a Ciudad Arce (Km. 22 - 35) que Conduce al Departamento de Santa Ana”; Boris Antonio González Miranda, Fredy Elianoth Vargas Ramírez, José Antonio Ventura Espinal; Ciudad Universitaria, Enero de 2003.

“Guía Básica de Diseño, Control de Producción y Colocación de Mezclas Asfálticas en Caliente”; José Mauricio Cortez García, Hugo Wilfredo Guzmán Henríquez, Amílcar Daniel Reyes Rodríguez; Ciudad Universitaria, Agosto de 2007.

“Concreto Compactado con Pavimentadora como Alternativa de Pavimentación para la Red Vial de El Salvador”; Ramón Fritz Alvarado Glower, Gilma Estela Díaz Larreynaga, Carlos Guillermo Somoza Alvarenga; Ciudad Universitaria, Febrero de 2004.

Diccionarios:

Robb, Luis A.; **“Diccionario para Ingenieros (Español-Inglés / Inglés-Español)”**; Editorial CECOSA, Tercera Reimpresión; México, 1999.

Sitios web:

<http://www.imt.mx>
<http://www.e-asphalt.com>
<http://www.construaprende.com>
<http://www.carreteros.org>
<http://www.hiperpav.com>
<http://www.iprf.org>
<http://www.ing.puc.cl>
<http://www.asocem.org.pe>
<http://www.cemexmexico.com>
<http://www.idu.gov.co>
<http://www.asfalchilemobil.cl>
<http://www.iprf.org>
<http://www.asocem.org.pe>
<http://dirplan.mop.cl>
<http://www.miliarium.com>
<http://www.sieca.org.gt>
<http://www.cessa.com.sv>
<http://www.slurry.org>
<http://www.bibliotecaiscyc.net>
<http://www.asphaltinstitute.org>
<http://www.mop.gob.sv>
<http://www.csr.com.au>
<http://www.construir.com>
<http://www.hormigonelaborado.com>
<http://carreterasvias.blogspot.com>
<http://concreteproducts.com>