

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



**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**

PRESENTADO POR:

**BORIS ANTONIO GONZÁLEZ MIRANDA
FREDY ELIANOTH VARGAS RAMÍREZ
JOSÉ ANTONIO VENTURA ESPINAL**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2003

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :
Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :
Licda. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :
Ing. Alvaro Antonio Aguilar Orantes

SECRETARIO :
Ing. Saúl Alfonso Granados

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :
Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán

**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

Titulo :
**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**

Presentado por :
**BORIS ANTONIO GONZÁLEZ MIRANDA
FREDY ELIANOTH VARGAS RAMÍREZ
JOSÉ ANTONIO VENTURA ESPINAL**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :
ING. EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES

Docentes Directores Externos :
**ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ
ING. JOSÉ TULIO PINEDA MARTÍNEZ**

San Salvador, Enero de 2003

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :

ING. EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES

Docente Director Externo :

ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ

Docente Director Externo :

ING. JOSÉ TULIO PINEDA MARTÍNEZ

AGRADECIMIENTOS

En primer plano le agradecemos a **DIOS**, por darnos la oportunidad de vivir y por consiguiente disfrutar de nuestro esfuerzo escalando un peldaño más de la escalera del éxito, a nuestros padres por estar con nosotros en los momentos más difíciles de nuestra carrera; a la Universidad de El Salvador por habernos dado la oportunidad de forjar nuestro futuro dentro de sus instalaciones.

A las empresas e instituciones que nos colaboraron de forma desinteresada y oportuna durante el desarrollo de este trabajo de graduación, con tiempo, asesoría técnica, préstamo de equipo de laboratorio y de campo, información actualizada. Siempre hemos creído en El Salvador y su gente, este trabajo de graduación es una muestra de esa solidaridad que muestran nuestros compatriotas a la hora de dar su apoyo, le agradecemos de manera infinita a las siguientes empresas e instituciones que participaron en la realización de este trabajo de graduación desinteresadamente.

- Universidad de El Salvador (UES).
- Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).
- Consultora Técnica S.A. de C.V. (CONTECSA).
- Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOPTVDU).
- Fondo de Inversión Vial (FOVIAL).
- Pavimentos de Concreto S.A. de C.V.
- Cementos de El Salvador (CESSA).

A los diferentes profesionales de las instituciones y empresas, que nos brindaron su apoyo en las etapas de este trabajo de graduación, aportando su granito de arena, con su tiempo, sacrificio, consejos, recomendaciones, correcciones, etc. Nos sentimos muy honrados de habernos ayudado de la

manera mas directa y transparente es por ello que le agradecemos de manera infinita su colaboración a los siguiente profesionales:

- Ing. Edgar Alfredo Gavidia Paredes.
- Ing. José Tulio Pineda Martínez.
- Ing. Carlos Antonio Quintanilla Rodríguez.
- Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Duran.
- Ing. José Ranulfo Carcamo y Carcamo.
- Ing. Rafael Alejandro González Magaña.
- Ing. Carlos Rene Vides Bolaños.
- Ing. José Roberto Douglas Lemus.
- Ing. Miguel Ángel Rivas Monterrosa (Q.E.P.D.).
- Ing. Lidia Teresa Maravilla.
- Ing. Adrián Torres.
- Ing. Rafael Melgar.
- Ing. Carlos Morán.
- Ing. José Antonio González Magaña.

A las personas que de una u otra manera nos ayudaron durante el proceso de este trabajo que se consolidará, les agradecemos por el tiempo tan valioso, favores, etc.

- Sra. Ana Gertrudis Galeas.
- Hugo Moisés Ventura Espinal.
- Sra. Maritza (ISCYC).
- Tec. Nelson Omar Barahona (CONTECSA).
- Tec. Nelson Bladimir Torres (CONTECSA).
- Tec. Manuel de Jesús Elías (CONTECSA).
- Sr. Mercedes Hill (PAVIMENTOS DE CONCRETO S.A. DE C.V.).

- Srita. Margarita Campos (UES).
- Sra. Mabel de Alonzo (UES)

En general a todas las personas que contribuyeron de forma directa o indirecta a la realización del presente trabajo de graduación.

AL ING. EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES

De manera unánime en esta oportunidad, le expresamos nuestros agradecimientos de forma humilde y veraz. Gracias por habernos orientado hacia el camino de la sabiduría, así, por su total apoyo desde que se inició este trabajo de investigación, gracias por creer en nosotros.

Agradecemos por su sacrificio, tiempo, amistad desinteresada y por haber aportado sus conocimientos valiosos para que este trabajo de investigación se hiciera toda una realidad.

AL ING. JOSE TULIO PINEDA MARTÍNEZ

Este trabajo de graduación es una experiencia muy agradable ya que gracias a éste encontramos gente emprendedora, profesionales con alta experiencia en este campo, dentro de los cuales su figura resalta por sus valiosos conocimientos y su experiencia.

Nosotros le agradecemos por su paciencia, buena voluntad, esfuerzo, tiempo y horas de dedicación a este trabajo de graduación. Gracias por habernos impulsado con sus consejos a mejorar día a día nuestro trabajo, le agradecemos de manera transparente su colaboración y nos sentimos satisfechos de haber formado parte de este trabajo de investigación.

AL ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ

De manera particular el equipo del presente trabajo de graduación, le da infinitas gracias por ser uno de los pioneros en resaltar este tema de graduación al interior del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC) y por haber depositado su confianza en nosotros para desarrollar dicho tema. Gracias por haber compartido con nosotros sus valiosos conocimientos, por apoyarnos técnicamente, con el único objetivo de dejar un legado escrito para la futuras generaciones sobre este tema, el cual será de mucho interés para el desarrollo de la infraestructura vial en nuestro país.

Que **DIOS** los proteja y los bendiga en cada uno de sus hogares hoy, mañana y siempre son los máximos deseos de:

FREDY VARGAS

BORIS GONZÁLEZ

ANTONIO VENTURA

DEDICATORIA

A DIOS: Por haberme dado la vida, cuidado y guiado en todo momento, y permitirme llegar a esta etapa de mi vida.

A MIS PADRES: Antonio González y Nelly Miranda, por su apoyo, amor, cariño, orientación en todo momento incondicionalmente, por estar conmigo en los momentos más difíciles e importantes de mi vida.

A MIS HERMANOS: Martín González, Karina González y Dennis González, por darme ánimos de seguir adelante cuando más lo necesitaba y por el apoyo que me brindaron a cada momento.

A MIS ABUELOS: Antonio González, María Teresa de González (Q.D.D.G.), Pedro Miranda (Q.E.P.D.), y Josefina Quezada de Miranda, por sus sabios consejos que me han ayudado mucho a lo largo de mi vida.

A JENNY LÓPEZ: Por el apoyo y comprensión que me brindó, por esos momentos tan importantes e inolvidables que pasamos juntos, por darme ánimos de seguir adelante en esos momentos cuando todo parecía oscuro.

A ANY GALEAS: Por ser una persona super especial, por haberme brindado su amistad de forma incondicional, por sus consejos que me han ayudado de mucho y por darme ánimos de seguir luchando en esos momentos difíciles.

A MIS AMIGOS FREDY Y ANTONIO: Por la amistad que logramos obtener, por haberme entendido en esos momentos críticos de desesperación, de tensiones, etc., por todos los momentos divertidos que pasamos juntos.

A MIS FAMILIARES: Por el apoyo y motivación que me han dado en todo momento.

A MIS AMIGOS: A todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron y contribuyeron de manera desinteresada, ayudándome a la obtención de este triunfo.

BORIS GONZÁLEZ

DEDICATORIA

A DIOS : Por darme la oportunidad de vivir y brindarme la sabiduría necesaria para poder culminar mi carrera académica. 7Gracias señor por que nunca me has desamparado, has estado conmigo en los momentos más difíciles de mi existencia, tu eres el principio y el fin, nada es imposible para ti señor, gracias señor por tu amor.

A MIS PADRES: Ana Vilma Ramírez Murillo y Fredy Daniel Vargas Ventura, por haberme inculcado desde niño buenos principios, por brindarme su apoyo incondicional hasta el final de este trabajo de graduación, a ti madre te dedico mi esfuerzo gracias por haber confiado en mi. Los amo mucho.

A MI ESPOSA: Ana Gertrudis Galeas, gracias amor por compartir conmigo tu vida, gracias por todo lo maravillosa que eres conmigo. Te Amo bebe.

A MIS HERMANOS: Rosita, Isaac, Nancy, Luis, William, Rubidia, Cesar, Alejandra, Glenda, gracias por ser mis hermanos y confiar en mi.

A MIS ABUELOS: Dolores Ramírez (Q.D.D.G.); Alejandro Murillo (Q.E.P.D.); Carmen Vargas y Luis Ventura. Por su amor y sabios consejos los cuales en el transcurso de mi vida me han ayudado a superar muchos obstáculos; Gracias abuelos.

A MIS TIOS: En especial a mi tía Margoth Ramírez que toda su vida ha pasado pendiente de mi persona, y al resto de mis tíos que de forma directa o indirecta hicieron realidad este trabajo de graduación.

A MIS AMIGOS: Boris González gracias por tu amistad, Antonio Ventura gracias por haber compartido conmigo uno de los instantes más importantes de tu vida. Gracias verdaderamente por su amistad.

A MI FAMILIA: como muestra de mi amor para cada uno que la conforma, ya que cada uno de ellos me ha brindado en más de algún momento su ayuda y colaboración, por lo tanto mil gracias.

FREDY VARGAS

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO: por darme la vida y la sabiduría para culminar una de mis metas.

Gracias Señor por escuchar mis oraciones, ya que sin ti nada es posible

A MIS PADRES: Antonio Ventura y Victorina Espinal, por todo su amor, sacrificio y apoyo incondicional para poder culminar mi carrera, infinitas gracias, los amo.

A MI HERMANO: Hugo Ventura, por estar apoyándome siempre.

A MI ABUELOS: María Graciela López (Q.D.D.G.)

Lucinda Aurora Benítez

Moisés Espinal Bonilla

Santiago Ventura Villalta (Q.D.D.G)

Por su amor y sabios consejos que han sido de mucho beneficio a lo largo de mi vida.

A MI FAMILIA: de manera especial, por su valiosa ayuda y colaboración en todo momento.

A JOSÉ VICTOR GUEVARA: por brindarme su ayuda incondicional.

A MIS AMIGOS: Boris y Fredy, además de ser mis compañeros de tesis, son mis mejores amigos.

ANTONIO VENTURA

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se ha realizado con el propósito de evaluar el estado actual del tramo de la Carretera Panamericana entre el km 22-35 (La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce) que conduce al departamento de Santa Ana, para determinar su factibilidad de aplicar las técnicas de reparación de pavimentos de concreto hidráulico para su respectivo mejoramiento.

El trabajo de graduación está compuesto por 6 capítulos, el primero trata de las generalidades del tramo La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce; así como la evolución de los pavimentos de concreto hidráulico en El Salvador

El segundo capítulo, comprende los diferentes daños que se presentan en los pavimentos de concreto, describiendo los diversos factores que los ocasionan. Además se explican las técnicas de reparación recomendadas por la American Concrete Pavement Association (ACPA) para controlar los niveles de deterioro en pavimentos de concreto.

En el tercer capítulo se estudia el Manual de Levantamiento de Deterioros de la SIECA para elaborar el resumen de daño presentes en el tramo en estudio. Además se estudian las Normas ASTM referentes a ensayos de núcleos de concreto hidráulico e información referente para determinar la capacidad estructural del pavimento de forma indirecta utilizando El Falling Weight Deflectometer (FWD)

En el cuarto capítulo se desarrolla un análisis de las condiciones mecánicas del pavimento en estudio, a través de ensayos de núcleos de concreto hidráulico, para determinar la factibilidad de aplicación de la técnica de cepillado, dicho estudio conlleva a aplicar una diversidad de conceptos ingenieriles para determinar su factibilidad.

El capítulo cinco es la parte práctica, en el cual se definen los lineamientos de aplicación de la técnica de cepillado, que para tal caso fue enfatizada a un tramo de prueba ejecutado en el km 25 de la pista izquierda (sentido San Salvador-Santa Ana) en el tramo La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce.

Y por último se define las conclusiones y recomendaciones obtenidas del estudio desarrollado en el presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Aspectos constructivos de la CA:1 entre el Km 22 (La Cuchilla) y el Km 35 (desvío a Ciudad Arce)	5
1.2.1 Especificaciones de diseño	5
1.2.2 Especificaciones técnicas	5
1.2.3 Detalles constructivos	6
1.3 Tráfico	8
1.4 Planteamiento del problema	10
1.5 Objetivos	11
1.5.1 Objetivo general	11
1.5.2 Objetivos específicos	11
1.6 Alcances y limitaciones	12
1.6.1 Alcances	12
1.6.2 Limitaciones	12
1.7 Delimitaciones	13
1.8 Justificación	14
CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL	16
2.1 Antecedentes históricos del proyecto	17
2.1.1 Historia del proyecto La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce (Km 22-35)	17
2.1.2 Aspectos constructivos generales	18
2.1.3 Terracería y drenaje	19
2.1.4 Sub-base	19
2.1.5 Pavimento de concreto de cemento Portland	20

2.2	Breve reseña histórica del cemento y del concreto	24
2.3	Fundamentos sobre el concreto	36
2.4	Generalidades sobre los pavimentos	39
2.4.1	Pavimentos	40
2.4.2	Elementos que conforman un pavimento	41
2.5	Clasificación de los pavimentos según el material de la capa de rodadura	45
2.5.1	Pavimentos de tierra	45
2.5.2	Pavimentos de concreto hidráulico	45
2.5.3	Pavimentos de concreto asfáltico	45
2.5.4	Pavimentos de adoquines	45
2.6	Elementos complementarios de protección de los pavimentos	47
2.7	Solicitaciones presentes sobre los pavimentos	49
2.8	La capacidad resistente de los pavimentos	49
2.9	Nivel de serviciabilidad	50
2.10	Clasificación de los pavimentos	50
2.10.1	Pavimento rígido de concreto hidráulico	51
2.10.2	Pavimentos flexibles	52
2.10.3	Pavimentos de concreto asfáltico	52
2.11	Pavimentos de concreto hidráulico	53
2.11.1	Definición	53
2.11.2	Clasificación	54
2.11.3	Características	57
2.12	Partes componentes de los pavimentos de concreto hidráulico	61
2.12.1	Sub-rasante	61
2.12.2	Sub-base	62
2.12.3	Losas de concreto	63
2.12.4	Juntas	64
2.13	Tipos de juntas	66

2.13.1	Juntas longitudinales	66
2.13.2	Juntas transversales	72
2.13.3	Juntas de construcción	76
2.13.4	Juntas especiales	77
2.14	Barras de anclaje y dovelas	80
2.14.1	Barras de anclaje o barras de amarre	80
2.14.2	Dovelas o pasadores	81
2.15	Daños en pavimentos de concreto hidráulico	83
2.15.1	Origen de los daños	83
2.15.2	Tipos de daños en el pavimento	84
2.16	Técnicas para reparación de pavimentos de concreto hidráulico	124
2.16.1	Técnica de reparación de espesor parcial	126
2.16.2	Técnica de reparación de espesor completo	141
2.16.3	Técnica de Cepillado	155

CAPÍTULO III: LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y 166

RESUMEN DE DAÑOS

3.1	Levantamiento de deterioros	167
3.1.1	Generalidades	167
3.1.2	Metodología	167
3.1.3	Equipo necesario para realizar un levantamiento visual de deterioros	168
3.1.4	Instrucciones para el llenado de los mapas de deterioros	169
3.1.5	Elementos comunes a todas las hojas de levantamiento de datos	175
3.1.6	Instrucciones para el llenado de la hojas de levantamiento de deterioros para pavimentos de concreto con juntas	175

3.2	Análisis de los diferentes tipos de deterioros	184
3.3	Pruebas de laboratorio y de campo	195
3.3.1	Extracción de núcleos	198
3.3.2	Resistencia a la compresión de núcleos de concreto hidráulico	200
3.3.3	Método estándar de ensayo para la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto, prueba brasileña	204
3.3.4	Estudio deflectométrico	206
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		213
4.1	Análisis e interpretación de resultados	214
4.2	Análisis de la factibilidad de la aplicación de la técnica de cepillado en el tramo La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce	230
4.3	Análisis del módulo de elasticidad	237
4.4	Alternativa de sobrecapa no adherida	246
CAPITULO V: APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE CEPILLADO		249
5.1	Aplicación de la técnica de cepillado	250
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		256
6.1	Conclusiones	257
6.2	Recomendaciones	261
BIBLIOGRAFÍA		264
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
Fig. N° 1 Juntas típicas	7
CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL	16
Fig. N° 2 El Coliseo Romano	26
Fig. N° 3 El faro de Eddystone, 1774	27
Fig. N° 4 Paso del Canal de Erie, 1825	28
Fig. N° 5 Templo Unity, 1905	30
Fig. N° 6 Falling Waters	31
Fig. N° 7 Alva Edison con casa modelo	32
Fig. N° 8 Canal de Panamá, 1914	33
Fig. N° 9 Variación de las proporciones del concreto	37
Fig. N° 10 Sección transversal de una vía	44
Fig. N° 11 Estructura típica de los diferentes tipos de pavimentos, según el material de rodadura	46
Fig. N° 12 Perfiles transversales de la sección de un pavimento según el trayecto	48
Fig. N° 13 Capas que conforman un pavimento rígido	51
Fig. N° 14 Capas que conforman un pavimento flexible	52
Fig. N° 15 Capas que conforman un pavimento flexible con carpeta de concreto asfáltico	53
Fig. N° 16 Pavimentos de concreto con juntas simples	54
Fig. N° 17 Pavimentos de concreto simple con dovelas	55
Fig. N° 18 Pavimentos con refuerzo discontinuo distribuido no estructural	55
Fig. N° 19 Pavimentos con refuerzo continuo sin fusión estructural	56

Fig. N° 20	Pavimentos de concreto con refuerzo estructural	56
Fig. N° 21	Patrones de Agrietamiento	65
Fig. N° 22	Detalle de juntas longitudinales	67
Fig. N° 23	Juntas longitudinales	68
Fig. N° 24	Junta longitudinal de contracción	70
Fig. N° 25	Junta longitudinal de contracción	70
Fig. N° 26	Junta longitudinal de construcción	71
Fig. N° 27	Junta longitudinal de construcción	71
Fig. N° 28	Junta longitudinal de construcción	72
Fig. N° 29	Junta Transversal de Contracción	73
Fig. N° 30	Junta transversal de dilatación	74
Fig. N° 31	Junta transversal de expansión	74
Fig. N° 32	Junta transversal de construcción	75
Fig. N° 33	Junta transversal de construcción	76
Fig. N° 34	Juntas Especiales	77
Fig. N° 35	Juntas Especiales	78
Fig. N° 36	Rotura de esquina	86
Fig. N° 37	Rotura de esquina con severidad alta	87
Fig. N° 38	Agrietamiento tipo "D"	89
Fig. N° 39	Agrietamiento "D" con severidad moderada con patrón bien definido	89
Fig. N° 40	Agrietamiento longitudinal	92
Fig. N° 41	Agrietamiento longitudinal con severidad moderada	92
Fig. N° 42	Agrietamiento transversal	95
Fig. N° 43	Agrietamiento transversal con severidad moderada	95
Fig. N° 44	Daño del sello de la junta transversal con severidad alta	98
Fig. N° 45	Daño del sello de la junta longitudinal con severidad alta	99

Fig. N° 46	Desportillamiento de las juntas longitudinales	101
Fig. N° 47	Desportillamiento de la junta longitudinal con severidad moderada	102
Fig. N° 48	Desportillamiento de las juntas transversales	103
Fig. N° 49	Desportillamiento de la junta transversal con severidad moderada	103
Fig. N° 50	Agrietamiento tipo mapa	105
Fig. N° 51	Escamadura	107
Fig. N° 52	Pulimiento del agregado	108
Fig. N° 53	Desprendimientos	109
Fig. N° 54	Desprendimientos	110
Fig. N° 55	Estallamientos	112
Fig. N° 56	Estallamiento con severidad alta	112
Fig. N° 57	Escalonamiento de juntas transversales y grietas	115
Fig. N° 58	Escalonamiento de junta transversal con severidad moderada	115
Fig. N° 59	Hundimiento carril-acotamiento	117
Fig. N° 60	Hundimiento carril-acotamiento positivo (+)	117
Fig. N° 61	Separación carril-acotamiento	119
Fig. N° 62	Separación carril-acotamiento	119
Fig. N° 63	Bacheo/daño del bacheo	122
Fig. N° 64	Bacheo con severidad alta	122
Fig. N° 65	Secuencia de aplicación de las técnicas de RPC	125
Fig. N° 66	Localización de concreto deteriorado utilizando una cadena	128
Fig. N° 67	Determinación de los límites de una reparación con pintura en aerosol	129
Fig. N° 68	Remoción del material dañado aserrando los límites del parche	130

Fig. N° 69	Cincelado del material dañado dentro del área del parche	131
Fig. N° 70	Remoción del material dañado usando una máquina de fresado en frío	133
Fig. N° 71	Perfil de reparación de profundidad parcial mediante el uso de equipo de fresado en frío para la remoción	133
Fig. N° 72	Limpieza del parche, listo para la colocación y acabado del concreto	134
Fig. N° 73	Proceso adecuado de acabado del material de relleno	138
Fig. N° 74	Sellado de la junta con un sellante de silicona después de una reparación de profundidad parcial	140
Fig. N° 75	Parche terminado y abierto al tráfico	140
Fig. N° 76	Ejemplos de reparaciones y sus dimensiones, para varios tipos de deterioro	144
Fig. N° 77	lizado del fragmento de losa con un cargador frontal	146
Fig. N° 78	Patrón de aserrado típico requerido si se usa equipo de demolición hidráulico para quebrar el concreto	148
Fig. N° 79	Perforación de agujeros para insertar dovelas con una batería de taladros	149
Fig. N° 80	Disco de retención de mortero para mantener dentro del agujero el epóxico o el mortero durante la inserción de las dovelas	151
Fig. N° 81	Área sujeta a reparación lista para la colocación del concreto	152
Fig. N° 82	Vibración del material de parchado para lograr una buena consolidación	154
Fig. N° 83	Reducción de altura de solera y capacidad de almacenamiento de la cuneta para el escurrimiento de las aguas lluvias, utilizando recarpeteo asfáltico	156

Fig. N° 84	Medición de junta escalonada	157
Fig. N° 85	Cabezal con discos diamantados para remoción de concreto	159
Fig. N° 86	Textura típica de superficie cepillada	159
Fig. N° 87	Dimensiones para la textura del cepillado	161
Fig. N° 88	Perfil de verificación de coincidencia en pasadas con máquina cepilladora	163
Fig. N° 89	Error en proceso de cepillado por juntas de expansión	164
Fig. N° 90	Error en proceso de cepillado por flexión de losas	165

CAPÍTULO III: LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y RESUMEN DE DAÑOS 166

Fig. N° 91	Modelo en blanco de mapas de deterioros	170
Fig. N° 92	Límites de la sección de análisis en el levantamiento de deterioros	171
Fig. N° 93	Mapa de ejemplo de los primeros 30 m de una sección de análisis de un pavimento de concreto con juntas	176
Fig. N° 94	Hoja utilizada para el levantamiento de deterioros número 1	180
Fig. N° 95	Hoja utilizada para el levantamiento de deterioros número 2	181
Fig. N° 96	Hoja utilizada para el levantamiento de deterioros número 3	182
Fig. N° 97	Hoja utilizada para el levantamiento de deterioros número 4	183
Fig. N° 98	Extracción de Núcleos	198
Fig. N° 99	Máquina utilizada para el ensayo de compresión de núcleos de concreto	203
Fig. N° 100	Máquina utilizada para el ensayo de tensión indirecta	204
Fig. N° 101	Deflectómetro de impacto	208

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 213

Fig. N° 102	Tipos de falla que ocurren cuando se realiza el ensayo de compresión de núcleos de concreto	216
Fig. N° 103	Gráfica utilizada para el análisis de la factibilidad de aplicación de la técnicas de reparación	231
Fig. N° 104	Corrida de programa PAS 5.01	247

CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE CEPILLADO 249

Fig. N° 105	Reparaciones de espesor parcial y espesor completo	250
Fig. N° 106	Máquina cepilladora utilizada para eliminar defectos en la superficie	251
Fig. N° 107	Diferencia entre la superficie del pavimento sin cepillado y cepillado	252
Fig. N° 108	Levantamiento con escantillón	253

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
Tabla N° 1 Especificaciones de Diseño	5
Tabla N° 2 Características del concreto colocado en el tramo en estudio	6
Tabla N° 3 Pavimentos de concreto hidráulico en El Salvador	14
Tabla N° 4 Pavimentos de concreto hidráulico en El Salvador	15
CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL	16
Tabla N° 5 Distancia recomendada entre juntas para pavimentos de concreto simple	64
Tabla N° 6 Diámetros de dovelas o pasadores	82
CAPÍTULO III: LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS Y RESUMEN DE DAÑOS	166
Tabla N° 7 Símbolos para el mapa de deterioros para pavimentos de concreto hidráulico con juntas	174
Tabla N° 8 Resumen de deterioros del carril de desaceleración	185
Tabla N° 9 Porcentaje de deterioros de carril de desaceleración	186
Tabla N° 10 Resumen de deterioros del carril de aceleración	187
Tabla N° 11 Porcentaje de deterioros de carril de aceleración	188
Tabla N° 12 Consolidado de deterioros de la pista izquierda	189
Tabla N° 13 Porcentaje de deterioros de la pista izquierda	190
Tabla N° 14 Factores de corrección de la resistencia a la compresión	202
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	213
Tabla N° 15 Espesores reales de la estructura del pavimento del tramo en análisis	215

Tabla N° 16	Cuadro resumen de núcleos de concreto hidráulico ensayados a la compresión	217
Tabla N° 17	Fórmulas utilizadas para la obtención del módulo de ruptura del concreto	218
Tabla N° 18	Valores del módulo de ruptura obtenidos indirectamente	219
Tabla N° 19	Cuadro resumen de núcleos de concreto hidráulico ensayados a la tensión indirecta	220
Tabla N° 20	Fórmulas utilizadas para la obtención del módulo de ruptura del concreto	218
Tabla N° 21	Valores del módulo de ruptura obtenidos indirectamente	222
Tabla N° 22	Valores corregidos del módulo de ruptura obtenidos indirectamente	226
Tabla N° 23	Cuadro resumen de núcleos de concreto hidráulico ensayados a la compresión, corregidos	227
Tabla N° 24	Cuadro resumen de núcleos de concreto hidráulico ensayados a la tensión indirecta, corregidos	228
Tabla N° 25	Valores gatillo y límite para pavimentos de concreto simple con juntas	234
Tabla N° 26	Valores gatillo y límite para pavimentos de concreto simple con juntas, obtenido el tramo en estudio	235
Tabla N° 27	Valores de módulos de elasticidad con su respectivo estacionamiento	238
Tabla N° 28	Resumen de valores utilizados para realizar las diferentes correlaciones	241

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE 213 RESULTADOS

Gráfica N° 1	Correlación Mr-f'c, sin corregir	224
Gráfica N° 2	Correlación Mr-f'c, corregida	229
Gráfica N° 3	Correlación Ec-estacionamiento, sin corregir	239
Gráfica N° 4	Correlación Ec-estacionamiento, (correlación N° 1)	242
Gráfica N° 5	Correlación Ec-estacionamiento, (correlación N° 2)	243
Gráfica N° 6	Correlación Ec-estacionamiento, (correlación N° 3)	244

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de ingeniería desarrolladas en otros países durante los últimos 30 años para controlar los niveles de deterioro de pavimentos de concreto en calles, carreteras y aeropuertos han impulsado una opción distinta del recarpeteo, que se emplea para reparar áreas deterioradas específicas de un pavimento de concreto hidráulico. Este procedimiento preventivo, restaura el pavimento a una condición cercana o mejor a la original y reduce la necesidad de reparaciones mayores y más costosas. Generalmente se aplica en forma temprana, cuando los pavimentos se encuentran en una condición razonablemente buena, con un solo nivel de deterioro; también se aplica a pavimentos de concreto severamente deteriorados.

En El Salvador la rehabilitación de pavimentos de concreto hidráulico no ha sido aplicada correctamente, ya que éstos han sido reparados con técnicas para pavimentos asfálticos, estas reparaciones en su mayoría se podrían catalogar como “provisionales”, pues rápidamente se degradan, aumentando el daño y además agregando una estética inadecuada al pavimento. El presente documento refleja la necesidad de la elaboración de un diagnóstico de la Carretera Panamericana desde La Cuchilla hasta el desvío a Ciudad Arce (Km 22-35) que conduce al departamento de Santa Ana, que permita determinar la factibilidad de la aplicación de la técnica de cepillado, la cual es una de las diversas técnicas disponibles para la rehabilitación de pavimentos de concreto.

En cada uno de los capítulos que integran este trabajo de graduación puede observarse la importancia que tiene la realización del estudio, el cual dará la oportunidad de brindar una alternativa de solución al deterioro que enfrenta el tramo de carretera en análisis, la cual es una vía que juega un papel importante en el desarrollo económico y social de nuestro país.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

El uso de cemento Portland en pavimentos, inicia en Inverness (Escocia) en 1865, siguiendo con las pavimentaciones hechas en Edimburgo (Escocia) en 1866 y 1872.

Más tarde en 1891, la experiencia se remonta a América, donde se construyó una franja de 80 m de largo por 2.4 m de ancho en Bellefontaine en (Ohio) que aún hoy subsiste; en el año de 1893, en la misma ciudad se construyó un pavimento completo, el cual fue cruzado con éxito por el primer vehículo de combustión interna.

Hasta el año de 1908 se habían construido en EE.UU. alrededor de 10,000 Km de estos pavimentos, aplicándose exclusivamente en calles, pero a partir de 1909 se iniciaron sus aplicaciones en caminos rurales. Esta tecnología se desarrolló rápidamente en este país, con estudios, ensayos de laboratorio y tramos de ensayos a escala natural.

En España, se introduce en 1915 con aplicaciones dispersas, encontrándolas en aquella época en las Islas Canarias y en la carretera de Barcelona a Santa Cruz de Calafell. En Bélgica, la construcción de carreteras de concreto, utiliza un 15 a 20% de la producción nacional de cemento, contando con una red de carreteras rurales dotadas en más de un 50% de pavimentos colocados directamente sobre el suelo existente y con una sub-base en terrenos de baja calidad de soporte.

En Suiza, Alemania, Francia y en otros países europeos, las pavimentaciones urbanas con concreto son bastante usuales, aunque en menor proporción, comparado con ciudades como Buenos Aires en Argentina y Santiago de Chile donde pavimentos de concreto es la norma.

En Guatemala, se puede decir que se conoce este pavimento desde 1940, utilizado en mayor porcentaje en la zona central de la ciudad, contando con un total de 236 Km de calles y avenidas.

En El Salvador, la tecnología de concreto en pavimentos se introdujo en 1924, siendo el total de vías construidas con este material alrededor del 5%, comparado con las vías construidas con concreto asfáltico.

Debido a su gran durabilidad se pensaba originalmente que los pavimentos de concreto hidráulico, por su estructura, no requerían durante la mayor parte de su vida útil ningún tipo de mantenimiento.

En El Salvador, con la entrada de esta tecnología (1924), se adoptó la misma idea, pues en su mayoría estas vías han sido olvidadas y no se les ha dado un mantenimiento adecuado. Pero al igual que cualquier estructura que tiene un período de vida útil, algunas de estas ya cumplieron y rebasaron este período presentando daños severos actualmente.

La cantidad de pavimentos de concreto hidráulico existentes en el país, es mínima en comparación con los pavimentos de concreto asfáltico, por consiguiente éstos no han sido reparados con técnicas adecuadas. Sin embargo, debido al auge alcanzado actualmente por este tipo de pavimento, el Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOPTVDU), está planificando seriamente en el rescate de aquellas rutas construidas con concreto hidráulico. Este trabajo es una muestra de la inquietud generada alrededor del tema de reparación de pavimentos de concreto hidráulico.

Las técnicas de reparación no adecuadas para pavimentos de concreto hidráulico podrían catalogarse como “provisionales”, pues rápidamente se degradan aumentando el daño y además agregando una mala estética al pavimento; esto puede minimizarse con operaciones de reparación adecuadas como “La Técnica de Cepillado”, que es un procedimiento usado para rehabilitar o mejorar la calidad de rodadura de un pavimento, permitiendo recuperar el confort y seguridad de la carretera; sin embargo en el país no se cuenta con experiencias de este tipo de trabajos, como es el caso de otros países de América y Europa (Argentina, Chile, EE.UU., España, Francia, Italia, entre otros).

El proyecto en estudio es un tramo de carretera de primer orden, con una longitud de trece kilómetros siendo parte de la Carretera Panamericana desde La Cuchilla hasta el desvío a Ciudad Arce (Km 22 - 35) que conduce al departamento de Santa Ana, ver mapa de ubicación en el Anexo N° 1. Esta construcción se llevó a cabo durante los años 1970 y 1971, comparada con otros proyectos de la misma edad y tomando en cuenta el mínimo mantenimiento que ha recibido durante su uso de 31 años ha dado un resultado satisfactorio en términos generales.

1.2 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LA CA:1 ENTRE EL Km 22 (LA CUCHILLA) Y EL Km 35 (DESVÍO A CIUDAD ARCE)

1.2.1. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
Módulo de reacción de sub-rasante ($K= P/\Delta$)	300 PSI/in (PCI)
Carga en llantas dobles	12,000 Lbs.
Carga por eje en llantas dobles	24,000 Lbs.
Resistencia del concreto a flexión	550 PSI
Factor de seguridad	2 : 1
Resistencia del concreto a flexión	275 PSI

Tabla N° 1. Especificaciones de diseño

Fuente: Diagnóstico de condiciones actuales de 2,300 m del tramo de carretera La Cuchilla-Km 35+000, Agosto 1995

Autor : Ing. Roberto Douglas Lemus

Basados en el “Diseño de Pavimentos de Hormigón” de la Asociación de Cemento Portland (vigentes durante el diseño) y usando los datos anteriores se obtuvo como resultado un espesor de pavimento de 8 pulgadas (20 centímetros).

1.2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Como base para su construcción, se definió las especificaciones técnicas FP-64, del Departamento de Transportación de los Estados Unidos de Norte América, Administración de Carreteras Federales.

En resumen el concreto debía tener las siguientes características:

DESCRIPCION	ESPECIFICACION
Máximo revenimiento	1 ½" (AASHTO T 119)
Resistencia a la flexión	550 PSI= 38.5 Kg/cm ² a 14 días
Aire incluido	2-5% (AASHTO T 152)
Contenido de cemento	7 sacos/m ³
Agua para sacos de cemento incl. Humedad libre de agregados pero no la humedad absorbida	5.5 galones

Tabla N° 2. Características del concreto colocado en el tramo en estudio

Fuente: Diagnóstico de condiciones actuales de 2,300 m del tramo de carretera La Cuchilla-Km 35+000, Agosto 1995

Autor: Ing. Roberto Douglas Lemus

1.2.3. DETALLES CONSTRUCTIVOS

La terracería consistió en el movimiento de más o menos 360,000 m³ de tierra. El material varió de lugar a lugar, pero básicamente consistió de limos moderadamente plásticos, areniscas parcialmente cementadas (talpetate) con áreas ocasionales de arcillas limosas y arenosas.

La sub-base puesta bajo el concreto de cemento Portland consistió en lo siguiente: escoria volcánica con un espesor de 15 cm en tramos completamente nuevos y en los tramos sobre la carretera antigua se utilizó este material para preparar la sub-base, sin embargo éste se complementó por lo menos con un centímetro de lava.

El concreto de cemento Portland colocado fue de la resistencia especificada y en general cumplió con todo lo requerido por las especificaciones; a continuación se presenta el detalle de las juntas típicas utilizadas:

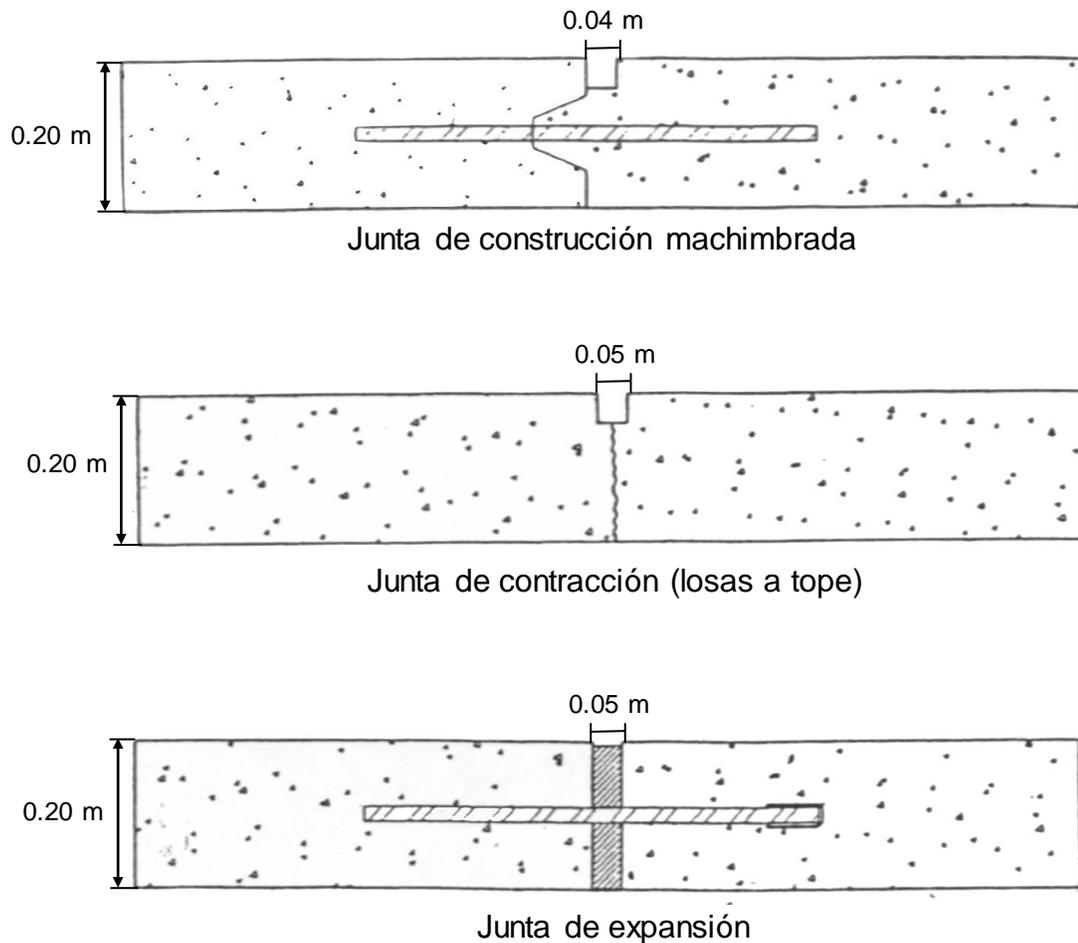


Fig. 1. Juntas típicas

Todas las estructuras de drenaje que se construyeron, fueron básicamente estándar, cajas, tubos de concreto reforzado y cunetas revestidas y sin revestir. Toda cuneta con pendiente mayor del 3% fue revestida para evitar la erosión.

1.3. TRÁFICO

De acuerdo con los conteos de tráfico, es muy significativo el porcentaje del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de vehículos pesados (> 30%) que circulan por el proyecto, los cuales no son adecuadamente controlados, en el Anexo N° 2 se muestra la tabla de la historia del tránsito en las carreteras de nuestro país, en la cual se encuentra el TPDA del tramo de carretera en estudio.

En los pavimentos de concreto hidráulico es posible utilizar técnicas eficientes como “La Técnica de Cepillado” que permite recuperar el confort y seguridad de la carretera. Esta técnica ha sido aplicada en países de América y Europa tal es el caso de Argentina, Chile, EEUU, España, Francia, Italia, entre otros.

La técnica de cepillado fue utilizada por primera vez en 1956, para remover la rugosidad de un pavimento nuevo de concreto hidráulico, en la base aérea Davis Monthan, en el estado de Arizona. Desde entonces el uso de esta tecnología destinada a mover la rugosidad de los pavimentos, se ha extendido por todo el mundo.

En Marzo de 1999 la empresa Restauraciones Viales Chile (RV CHILE) Limitada realizó la demostración de cepillado para pavimentos de concreto hidráulico en la Avenida Kennedy, contando con la presencia en esa oportunidad con el Alcalde de La Comuna de las Condes, Autoridades de Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, entre otros invitados importantes.

Desde la fecha de la demostración según la empresa RV CHILE, se han realizado trabajos de cepillado en muchos caminos a lo largo de Chile, acumulando un total superior a medio millón de metros cuadrados llevando el

Índice de Rugosidad Internacional (IRI) desde valores superiores a 8 a valores inferiores a 2, tanto en calles como en caminos, con pavimentos de concreto hidráulico y asfalto, nuevos y antiguos con antigüedad superior a 30 años de uso.

La empresa Restauraciones Viales Chile (RV CHILE), esta trabajando activamente en el mercado local ya que dicha técnica ha tenido una aceptable aplicación en el país.

En nuestro país no se cuenta con experiencias de este tipo de trabajos (técnica de cepillado). Debido al auge que los pavimentos de concreto hidráulico están teniendo actualmente, se hace necesario tener el conocimiento básico de dicha técnica.

El Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOPTVDU), actualmente esta evaluando la posibilidad de rescatar la red vial de pavimentos de concreto hidráulico en el país aplicando la técnica de cepillado, ya que al lograrse este objetivo, estaríamos mejorando la calidad de rodadura después del cepillado, ya que éste es beneficioso, tanto para el usuario como para el pavimento. El usuario percibe la mayor suavidad en el rodado, y a la vez se eliminan los impactos que las ruedas provocan en las irregularidades del pavimento, extendiendo su vida útil y disminuyendo los gastos en mantenimiento.

Las estadísticas actuales señalan que la cantidad de accidentes disminuye después de aplicar la técnica del cepillado, normalmente en un 40%, debido a la mejor adherencia que logra el neumático sobre el pavimento. Este aumento en el coeficiente de rozamiento resulta aún más beneficioso y evidente en condiciones de pavimento mojado evitando por consiguiente el hidroplaneo.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es de gran importancia mantener las vías de comunicación en óptimas condiciones para la seguridad, comodidad, disminuir tiempo y costos de operación de los usuarios, es por ello que se hace necesario aplicar técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto hidráulico para mantenerlas en buen estado. A la fecha no ha existido un plan orientado hacia la reparación de este tipo de pavimentos en forma adecuada. Estas vías por su durabilidad y sus necesidades mínimas de conservación, sobreviven aún terminado su período de vida útil; no obstante aunque los pavimentos necesiten pocas operaciones de conservación, no pueden abandonarse en el sentido de aplicarse algún tipo de reparación o rehabilitación.

La metodología que utiliza el Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOPTVDU) para determinar un diagnóstico de la situación de un pavimento de concreto hidráulico, ha permitido que la empresa privada impulse esta metodología para obtener un conocimiento certero del estado actual del mismo. Es por esta razón que se desarrollará un diagnóstico que comprenderá el levantamientos de deterioros, estudio de tráfico y las pruebas de laboratorio necesarias para determinar el estado actual del tramo de la Carretera Panamericana entre Km 22-35 (La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce) que conduce al departamento de Santa Ana. Para la rehabilitación de este tramo de carretera, es necesario realizar un diagnóstico para identificar cuales son los diversos daños que puede presentar esta estructura debido al sometimiento de las cargas de tráfico, inclemencias de tiempo, vida útil excedida, falta de mantenimiento, entre otros y determinar así si es factible la implementación de la técnica de cepillado para su mejoramiento prolongando su vida útil y compararla con otras técnicas sin profundizar con las mismas.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un diagnóstico del estado actual del tramo de la Carretera Panamericana entre Km 22-35 (La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce) que conduce al departamento de Santa Ana, para determinar la factibilidad de implementar la técnica de cepillado como una alternativa de rehabilitación.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la inspección visual de la Carretera Panamericana entre Km 22-35 (La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce), que conduce al departamento de Santa Ana, de tal forma de poder establecer el estado actual de la misma.

- Realizar el estudio de tráfico y las pruebas de laboratorio necesarias que permitan sustentar el diagnóstico que se establecerá sobre el pavimento en estudio.

- Determinar la factibilidad de la técnica de cepillado para la rehabilitación del tramo en estudio.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1. ALCANCES

El estudio comprenderá el diagnóstico del estado actual de la Carretera Panamericana entre Km 22-35 (La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce) que conduce al departamento de Santa Ana, incluyendo las pruebas de laboratorio que permitan determinar la magnitud de los daños que presente la estructura del pavimento y poder determinar las actividades previas necesarias a implementar para aplicar la técnica de cepillado.

1.6.2. LIMITACIONES

- Limitada información bibliográfica en el país, sobre la técnica de cepillado.
- La técnica de cepillado no ha sido aplicada en nuestro país, por lo que se cuenta con poca experiencia en esta área.
- La obtención de permisos de las instituciones correspondientes para la ejecución de pruebas de campo, en el tramo de carretera en estudio.
- La disponibilidad de equipo de laboratorio para la ejecución de las pruebas necesarias en la elaboración del diagnóstico del tramo de carretera en estudio.
- Para este tipo de estudio existen diferentes pruebas de laboratorio que actualmente no se realizan en el país (por ejemplo Hveem Resistance Value (R-Value), Prueba triaxial Consolidada no drenada con o sin medición de poros, entre otras), por lo que en sustitución de ellas serán aplicadas otras técnicas que nos brinden resultados similares y confiables.

1.7 DELIMITACIONES

La carretera que conduce hacia el departamento de Santa Ana, tiene una sección transversal de 38 m, que consta de cuatro carriles de 3.6 m de ancho cada uno, a la cual se le realizará una inspección visual de los trece kilómetros en estudio (Pista Izquierda en el sentido Santa Ana-San Salvador) para determinar si es factible la aplicación de la técnica de cepillado.

Los métodos de reparaciones de espesor parcial y espesor completo para pavimentos de concreto hidráulico, serán involucrados en el contenido de este trabajo, indicando únicamente los lineamientos a seguir para determinar el tipo de reparación de acuerdo a las condiciones que presente el tramo de carretera en análisis.

Los ensayos de campo y de laboratorio se limitarán a la ejecución de doce ensayos de compresión de núcleos de concreto y doce ensayos de prueba de tensión indirecta.

1.8 JUSTIFICACIÓN

En nuestro país se han construido pavimentos de concreto hidráulico desde la década de los 20's hasta los 70's; cobrando auge nuevamente en la década de los 90's y 2000 en las vías urbanas, como se observa a continuación:

PAVIMENTOS RÍGIDOS EN VÍAS URBANAS Y CARRETERAS DE EL SALVADOR	
AÑOS	TOTAL DE KILOMETROS CONSTRUIDOS
1920 - 1930	4.00
1960 - 1970	4.00
1970 - 1980	14.62
1998 – 1999	4.80

Tabla N° 3. Pavimentos de concreto hidráulico

Fuente: Diseño de Pavimentos de Concreto Hidráulico

Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC)

PAVIMENTOS RÍGIDOS EN VÍAS URBANAS	
AÑOS	M³ DE CONCRETO HIDRÁULICO
1999 - 2001	20,679

Tabla N° 4. Pavimentos de concreto hidráulico

Fuente: Diseño de Pavimentos de Concreto Hidráulico

Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC)

NOTA: La tabla se dividió, ya que en los años 1999-2001 los pavimentos construidos están expresados en m³.

El nuevo auge hace necesario que las carreteras antiguas de concreto hidráulico sean tomadas en cuenta por el MOPTVDU, ya que requiere de la aplicación de métodos de rehabilitación a corto plazo para evitar el deterioro de los pavimentos que aumenta conforme pasa el tiempo, dando como resultado una disminución del nivel de serviciabilidad de las vías y aumentando los costos de operación de los usuarios; las condiciones actuales de la Carretera Panamericana desde La Cuchilla hasta el desvío a Ciudad Arce (Km 22-35) que conduce al departamento de Santa Ana, no es la excepción. Por lo tanto, se hace necesario estudiar la factibilidad de utilizar la técnica de cepillado como una alternativa viable para mejorar las condiciones de la misma como efecto de nuestro estudio. A su vez esta técnica puede implementarse en el resto de las carreteras antiguas y en pavimentos nuevos para la remoción de protuberancias existentes.

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL PROYECTO

2.1.1. HISTORIA DEL PROYECTO LA CUCHILLA-DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km 22-35)

El tramo de carretera que ahora es objeto del presente trabajo de graduación consta de 13 kilómetros de la carretera CA:1, entre la Cuchilla y el río Agua Caliente, este tramo de carretera que consta de dos pistas fue geoméricamente diseñado y construido para tránsito de alta velocidad, con excelente visibilidad, curvas y pendientes suaves, consta de un rodamiento de 7.2 m en cada pista, hombros internos de 1 m y externos de 3 m y con una franja separadora de las dos vías de 14.1 m. La principal intersección en La Cuchilla es a dos niveles y con suficiente área para futuras expansiones si fuesen necesarias.

La construcción y mantenimiento de la red vial en El Salvador se remonta a inicios del siglo XX, época en que estaba a cargo el Ministerio de Fomento dirigido por la Dirección General de Obras Públicas, a través de la sección de Caminos, Puentes Calzadas, dejando de existir dicha sección en el año de 1916, está fue sustituida por la Dirección General de Carreteras; en este año se construye la que se considera la primera carretera en nuestro país, la cual conduce de San Salvador al Puerto de La Libertad, debido a las transacciones comerciales de la época, posteriormente a ésta se construye La Carretera Panamericana.

En el año de 1930 se construye La Carretera Troncal del Norte que tiene su origen en la Ciudad de San Salvador y que conduce hacia la frontera con el hermano país de Honduras, nueve años más tarde se construye en el oriente del país La Ruta Militar, la cual une a San Miguel y Santa Rosa de Lima, pasando por El Divisadero hasta llegar a unirse con La Carretera Panamericana.

Entre los años 1940 y 1950 se construye La Carretera El Litoral, creándose posteriormente en 1963 la Red Centroamericana conocida como “Programa Regional de Carreteras Centroamericanas”, como resultado de este esfuerzo en nuestro país se tiene la Carretera que conduce de la Frontera de Anguiatú a Metapán.

En los años de 1970 y 1971 se construye la primera carretera de concreto hidráulico en el país, la cual se realiza en el occidente del país en el tramo que desde La Cuchilla conduce hacia el desvío a Ciudad Arce.

2.1.2. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS GENERALES

Para formular las Especificaciones Técnicas, se tomó como base el documento FP-64, del Departamento de Transportación de los Estados Unidos de Norteamérica, Administración de Carreteras Federales, y las características que el concreto debía de tener eran las siguientes:

- Máximo Revenimiento: 1 ½ “ (AASHTO T 119).
- Resistencia a la Flexión: 550 PSI= 38.5 Kg/cm² a 14 días.
- Aire Incluido: 2-5% (AASHTO T 152).
- Contenido de Cemento: 7 sacos/m³.
- Agua: 5.5 galones/saco de cemento, incluyendo humedad libre de los agregados pero no la húmeda absorbida.

A continuación se brindan diferentes parámetros sobre la primera experiencia con cemento Portland que se produjo en el país entre los años de 1970 y 1971 con la construcción del tramo La Cuchilla desvío a Ciudad Arce la cual, forma parte de la carretera panamericana CA:1.

2.1.3. TERRACERÍA Y DRENAJE

La terracería consistió en el movimiento de aproximadamente 360,000 m³ de tierra. El material varió de lugar a lugar, pero básicamente consistió de limos moderadamente plásticos, areniscas parcialmente cementadas (talpetate) con áreas ocasionalmente de arcillas limosas y arenosas. La compactación llenó las especificaciones pedidas, las cuales eran:

- Todas las densidades serían basadas en AASHTO T 180 Método “D”.
- Densidad del 95% treinta centímetros bajo el nivel de sub-rasante.
- En los terraplenes, 90% debajo de todas las densidades realizadas.
- En cortes, 95% treinta centímetros bajo el nivel de sub-rasante.

El alto nivel de la tabla freática, además de las numerosas bolsas suaves en el valle, dieron como resultado una cantidad substancial de sobre-excavación de los materiales muy plásticos y orgánicos que se encontraron y que fueron reemplazados con piedra y/o material menos cohesivos.

Para el drenaje de todas las estructuras se construyeron básicamente estructuras estándar como, cajas, tubos de concreto reforzados y cunetas revestidas y sin revestir. Toda cuneta con pendiente mayor de 3% fue revestida para evitar la erosión del suelo que la componía. Debido a lo plano del valle, en varios lugares hubo necesidad de construir las cunetas de un ancho mayor de lo normal, esto para poder acomodar los flujos de agua.

2.1.4. SUB-BASE

La sub-base puesta bajo el concreto de cemento Portland consistió en una capa de lava de espesor de 15 centímetros. Este material se obtuvo de viejos depósitos de lava procedentes del volcán de San Salvador. Estos depósitos están situados en las cercanías de la Ciudad de Quezaltepeque.

El material se mezcló con arenisca parcialmente cementada (talpetate) por medio de motoniveladoras sobre la sub-rasante compactada. Esta mezcla se formaba, compactaba y se llevaba casi a nivel final, los cinco centímetros superiores de dicha capa se mezclaban con cemento, se compactaban y llevaban a nivel final.

El pavimento de la carretera antigua consistía de MACADAM ligado con asfalto de unos 23 centímetros de espesor y seis metros de ancho. Este material se utilizó en ciertos tramos para preparar la base bajo el pavimento de concreto, sin embargo, este MACADAM se completaba con un espesor mínimo de un centímetro de lava, y los cinco centímetros superiores se estabilizaron con cemento, como se describió anteriormente.

2.1.5. PAVIMENTO DE CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND

Los siguientes factores de diseño que se presentan a continuación fueron los que prevalecieron en la carretera:

- Módulo de Reacción de Sub-rasante” K” = 300 PSI/lbs.
- Cargas en Llantas dobles = 12,000 lbs.
- Cargas por eje en Llantas dobles = 24,000 lbs.
- Resistencia del concreto a la Flexión = 500 PSI.
- Factor de Seguridad = 2:1.

Basados en el “Diseño de Pavimentos de Hormigón” de la Asociación de Cemento Portland y usando los datos anteriores se obtuvo como resultado un espesor de pavimento de 8 pulgadas (20 centímetros). El cual se elaboró y se colocó de la siguiente manera:

1. Los agregados gruesos (grava) y finos (arena) se transportaban en camiones de la planta trituradora ubicada en el río Talnique a la planta dosificadora del contratista.
2. La planta dosificadora estaba situada dentro del derecho de vía de la intersección en La Cuchilla.

Ambos tamaños de agregados gruesos y finos se almacenaban en tolvas diferentes. El contratista también tenía dos silos para almacenar cemento a granel. Los diferentes componentes se pesaban y se descargaban en seco en camiones de volteo en revolturas de 1.15 m^3 , las revolturas por metros cúbico con pequeñas variaciones de tiempo en tiempo, debido al contenido de humedad y cambios de graduación, consistían en lo siguiente:

- 1100 Kg (2,424 lbs) agregado grueso.
- 773 Kg (1,704 lbs) agregado fino.
- 7 bolsas de cemento Portland.

Los camiones que variaban mucho en marcas, modelo y capacidad, transportaban las revolturas en seco a la pavimentadora. El contratista tenía a la mano dos mezcladoras de doble tambor marcas koehring 34-E montadas sobre orugas.

Las revolturas en seco se descargaban en la tolva de la mezcladora y el agua se añadía al momento de la transferencia al tambor de mezcla. La cantidad de agua variaba en proporción al contenido de humedad de los agregados, un aditivo inductor de aire se incorporaba en estos momentos, para mejorar la manejabilidad del concreto. El aire incluido era del 2 al 5 por ciento.

El concreto colocado por la mezcladora tenía, normalmente, un revenimiento menor de 1 ½ pulgadas (3.81 cm), con excepción de lugares donde se requería una mejor manejabilidad, tales como estructuras de puentes, cruce de ferrocarril, etc.; en estos casos, para compensar el agua adicional, se aumentaba la cantidad de cemento. Una relación máxima de agua-cemento (5.5 galones: 1 saco de cemento) la cual se mantuvo durante todo el período de construcción del proyecto.

Después de colocado el concreto sobre la sub-base, se procesaba por medio de un tren de pavimentación el cual consistía de un espaciador, vibrador y una serie de emparejadores y llanas, tanto transversales como longitudinales. Después de que esta maquinaria había esparcido, vibrado, emparejado y allanado el pavimento, este recibía el acabado final.

El acabado final consistía en acabar la superficie con escantillones, lo cual servía, a la vez, como comprobación de las tolerancias de la superficie. Después del acabado con escantillones y cepillos, cuando el concreto había perdido el lustre de la humedad, se aplicaba sobre la superficie a máquina, un curador de membrana. En los lugares inaccesibles a la máquina se aplicaba el curador con bombas de mano.

Cuando el concreto había fraguado lo suficiente se aserraban las juntas transversales de contracción. Esto se efectuaba antes de que ocurrieran las fisuras incontroladas y que el concreto había fraguado lo suficiente para no desmoronarse. Las juntas longitudinales se aserraban después. Las juntas aserradas recibían una aplicación de curador de membrana. Días después las juntas se limpiaban con una sierra usada y aire comprimido y se sellaban con un compuesto bituminoso, elástico, aplicado en caliente.

El concreto de cemento Portland colocado en el proyecto, fue de la resistencia especificada y en general cumplió con todo lo requerido en las especificaciones. Pero además, de las pruebas de diseño de mezclas que se realizaron se efectuaron diferentes ensayos de laboratorio para evaluar el control de calidad del concreto puesto en el tramo en estudio:

- 1,480 Vigas de Prueba para Resistencia a la Flexión.
- 4,000 Pruebas de Revenimiento.
- 300 Graduaciones de Agregados.
- 400 Pruebas de Colorimetría para la Arena.
- 98 Pruebas en Núcleos del Pavimento.

Los primeros 2 ½ kilómetros que se pavimentaron, pista izquierda entre las estaciones 31+500 y 34+000, fueron construidos usando agregados gruesos de una fuente comercial y de la planta trituradora del contratista en el río Talnique. El agregado fino era arena del río Las Cañas, arena que virtualmente se usa para todas las construcciones de concreto en los alrededores de San Salvador.

Las vigas de ensayo demostraron que se cumplía con la resistencia a la flexión requerida, sin embargo, a medida que progresaba el trabajo, aumento el contenido pumítico de la arena por lo que fue necesario aumentar la proporción de cemento para obtener la resistencia a la flexión.

2.2. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano superó la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos. Templos, Palacios, Museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad.

Es imposible definir con exactitud el verdadero origen del concreto en el tiempo y en el espacio, sin embargo algunas investigaciones hechas desde hace mucho tiempo arrojan algunos resultados que logran tener alguna idea sobre el inicio de la utilización del concreto como uno de los principales materiales de construcción.

La edad histórica del concreto no está definida con claridad, más sin embargo algunos investigadores sitúan la fecha de inicio entre los años de 1880 y 1900, es de pensar que esto no puede ser cierto debido a que se han encontrado indicios de la utilización de cementantes como material constructivo en civilizaciones muy antiguas, por ejemplo los egipcios usaron el yeso calcinado para dar al ladrillo o a las estructuras de piedra una capa lisa. Los romanos por su parte utilizaban con frecuencia el agregado quebrado del ladrillo embutido en una mezcla de la masilla de la cal con polvo del ladrillo o la ceniza volcánica llamado **Caementium**; los griegos, que tuvieron gran influencia sobre Roma, al material cementante le llamaban **Emplacton**.

Los estudios sin embargo determinan una edad de aproximadamente 2200 años y más recientemente se le atribuye una edad de uso de 7600 años algo que se puede considerar mucho más aceptable, lo cierto es que sin duda alguna el concreto es el material artificial de construcción más antiguo del que se tenga conocimiento.

La idea de que el concreto pudiera tener 7600 años de edad aproximadamente gira en torno al descubrimiento de nueve horizontes culturales hallados en la región del Danubio, antes las puertas de hierro bajo el macizo de piedra caliza **Korso-Brdo**, al realizar los investigadores un estudio exacto de estos estratos se pudo observar que tenían entre 5500 a 6000 años, no así el noveno estrato que tenía una edad aproximada mayor como la indicada anteriormente. El compuesto encontrado era un material a base de cal rojiza, arena, grava, y agua que al ser utilizado en los pisos era generalmente precocido.

Los antiguos edificios, hechos con adobe, se juntaban con capas de lodo el cual era extraído de las orillas del río Nilo mezclado con paja que puede considerarse el cementante más simple. Sin embargo en sus construcciones masivas utilizaron bloques de piedra con mortero de arena y yeso. Por su parte los Sumerios, Asirios y Babilonios usaron en sus construcciones tabiques recocidos con betún asfáltico.

Se tiene conocimiento que los primeros en utilizar la cal como cementante fueron los habitantes de la Isla de Creta (Grecia), difundiéndose luego su uso a los griegos y luego a los romanos, ellos hidrataban la cal viva y luego la mezclaban con arena para formar un mortero, esto les permitió el descubrir algunas arenas volcánicas que producían mortero más firme que resistía la acción de las aguas dulces y marinas.

Los romanos descubrieron una arena volcánica del Vesubio, conocida como **Puzolana** ya que la mejor se encontró cerca del río Pozzoli, de ahí el descubrimiento de la puzolana como agregado cementante. El concreto romano la hacían con una mezcla de tabiques quebrados o tobas volcánicas puzolana y cal hidratada. Los romanos dejaron numerosas muestras del tipo de obras civiles que fueron capaces de crear y que hasta la fecha se mantiene como muestra clara del avance que tuvo esta cultura, entre las cuales se puede mencionar el Coliseo y el Partenón (ver fig. 2).

El concreto también fue utilizado en la pared de la defensa que abarca Roma, más muchos caminos y los acueductos que todavía existen hoy. Los romanos utilizaron muchas técnicas innovadoras para manejar el peso del concreto.

Para aligerar el peso de estructuras enormes, encajonaron a menudo tarros de barro vacíos en las paredes. También utilizaron barras de metal como refuerzos en el concreto cuando fueron construidos techos estrechos sobre callejones.



Fig. 2. El Coliseo Romano

En 1576 el Ingeniero John Smeaton había encontrado que combinar la cal viva con otros materiales creaba un material extremadamente duro que se podría utilizar para unir juntos otros materiales. Él utilizó este conocimiento para construir la primera estructura de concreto desde la Roma antigua.

John Smeaton, uno de los grandes ingenieros del siglo XVIII, logró un triunfo al construir en la costa sureste de Inglaterra el Faro de **Eddystone** (ver fig. 3). Los faros anteriores en este punto habían sido destruidos por las tormentas y el sitio estaba expuesto a la extrema fuerza del mar. Pero Smeaton utilizó un sistema en la construcción de su cantería que la limita junta en un todo extremadamente tenaz.

El bloqueó las piedras unas en otras y para las fundaciones y el material de junta utilizó una mezcla de la cal viva, arcilla, arena y escoria de hierro machacada. Esto ocurrió en 1774 y es el primer uso del concreto desde el período romano¹.



Fig. 3. El Faro de Eddyestone, 1774

¹ Espacio, Tiempo y Arquitectura, Havard University Press 1954.

En el año de 1816, fue construido en Souillac, Francia el primer puente de concreto (no reforzado). En 1825 se utiliza el primer concreto moderno producido en América para la construcción del canal de Erie (ver fig. 4). Se utilizó el cemento hecho de la "**Cal Hidráulica**" encontrada en los condados de Madison en Nueva York, de Cayuga y de Onondaga.

Primero llamado "**La Zanja de Clinton**", el canal de Erie se abrió en 1825. Fue un instrumento en la apertura de la expansión a través de la región de Los Grandes Lagos. Su éxito comercial fue atribuido a menudo al hecho de que el costo de mantenimiento de los pasos de concreto era muy bajo. El volumen del concreto usado en su construcción le hizo el proyecto de construcción de concreto más grande de sus días.



Fig. 4. Paso del canal de Erie ,1825

Aproximadamente cerca del año 1867 aparece el concreto armado cuya invención es atribuida generalmente al Francés Joseph, sin embargo franceses, ingleses y estadounidenses se disputan su invento.

En este año también ciertos constructores fabricaban mallas de acero recubiertas con mortero de cemento con el objeto de obtener paredes delgadas y sólidas para fabricar objetos impermeables e incombustibles.

En cuanto a la invención del cemento Portland, algunos le dan a su invención no más de un siglo, aunque se tiene conocimiento de que sus primeros usos en América datan de 1870 cuando se empezó a importar hacia EE.UU. y Canadá desde Inglaterra.

En los años de 1886 y 1887 Koenen y Wayss dieron a conocer fórmulas que se aplicaron considerablemente en el empleo del concreto reforzado, estos estudios reconocieron que el funcionamiento del concreto armado dependía de las propiedades del hierro y del concreto.

En 1892 surgen dos nuevos sistemas: F. Hennebique y Edmod Coignet patentaron sus tipos de vigas de concreto reforzado. La viga moderna data de 1889, en 1894 Hennebique estudia y realizaba la ménsula, los tanques y pilotes en 1895, la columna en 1896 y en 1897 construye el primer puente de concreto armado en arco.

En 1902 August Perret diseñó y construyó un edificio de apartamentos en París que usa las aplicaciones que él llamó "Sistema Trabeated para el Concreto Reforzado". Fue estudiado y también imitado ampliamente y además influyó profundamente la construcción en concreto por décadas.

August Perret diseñó los apartamentos en la 250 Bis El Rue Franklin con vistas maravillosas hacia el río Sena y la Torre Eiffel. Su área agrandada de ventanas con las pequeñas masas de soporte fue radical en sus días. Se considera una estructura seminal en el temprano movimiento arquitectónico moderno porque

utilizó la fuerza extraordinaria del concreto reforzado para crear un edificio que tenía un marco de soporte que no dependía del espesor de las paredes.

En 1905, el señor Frank Lloyd Wright comenzó la construcción del famoso templo de la Unidad en Oak Park, Illinois (ver fig. 5). Tomando tres años para terminar, Wright diseñó la masiva estructura con cuatro caras idénticas de modo que su costoso encofrado se pudiera utilizar múltiples veces.

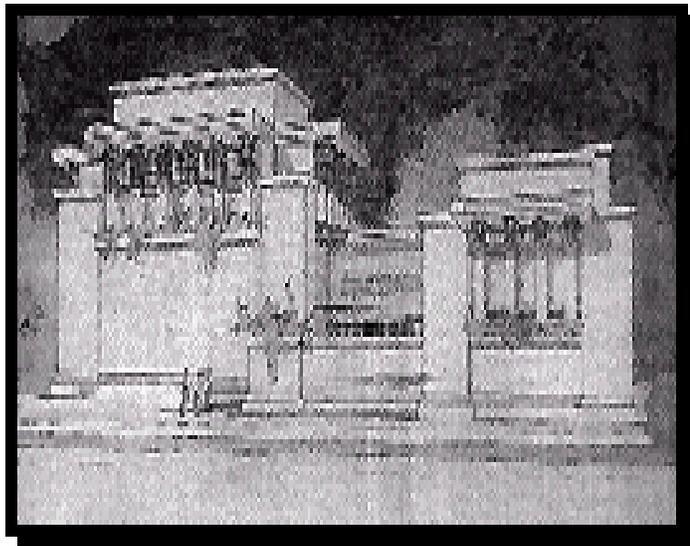


Fig. 5. Templo Unity, 1905

Frank Lloyd Wright creyó que el concreto era un material de construcción importante que debe ser utilizado en muchas maneras. El lo utilizó como vigas ocultas de ayuda, losas, paredes y techos en la mayoría de sus trabajos desde 1903 en adelante.

El templo de la unidad se hizo casi enteramente de concreto reforzado; la famosa casa "Falling Waters" (ver fig. 6), usa las losas de concreto para soporte

y efecto dramático; en muchos de sus trabajos posteriores usó sus bloques de concreto diseñados para soporte y efecto decorativo.

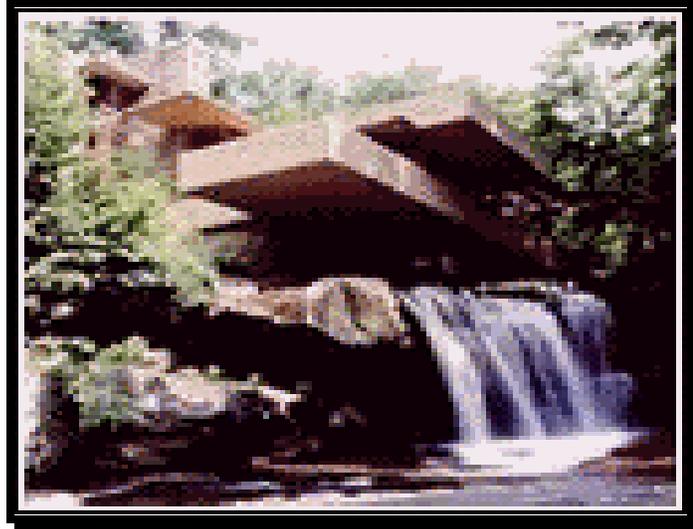


Fig. 6. Falling Waters

En el año de 1908, Thomas Alva Edison construyó 11 hogares de concreto moldeados “in-situ” en Nueva Jersey. Los hogares aún siguen siendo utilizados. El también puso la primera milla del camino en concreto cerca de New Village, Nueva Jersey.

Thomas Edison creyó que el concreto era el material que revolucionaría los hogares. El quería que el trabajador promedio pudiera vivir en casas finas, que el concreto haría rentable. Este modelo adornado era similar a los 11 hogares que él construyó. Usando concreto y formas avanzados, cada hogar era vertido de piso a techo en un día (ver fig. 7).

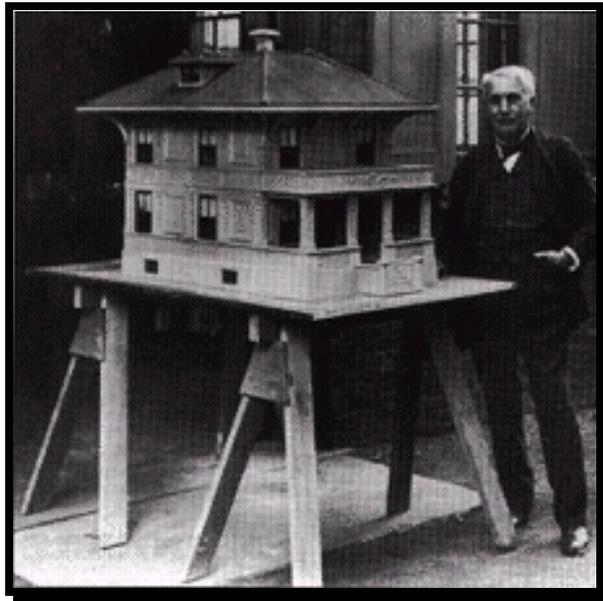


Fig. 7. Alva Edison con casa modelo

En 1914, El Canal de Panamá fue abierto después de casi tres décadas de construcción. El canal ofrece tres pares de esclusas de concreto con suelos tan gruesos como 6.1 m y las paredes tan gruesas como 18.3 m en el fondo.

El Canal de Panamá tomó más de 30 años para terminarse a un costo aproximadamente de \$347 millones (ver fig. 8). Los desafíos de ingeniería encontrados fueron enormes empezando con las condiciones geológicas de la zona las cual es difícil, la obtención de las materias primas necesarias y mano de obra, más la enorme escala del equipo requirieron la innovación ilimitada. Las formas de acero para las superficies interiores de las esclusas fueron 24.38 m de alto y 10.97 m de ancho.



Fig. 8. Canal de Panamá, 1914

La aparición del cemento y de su producto resultante, el concreto ha sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisonomía diferente. Edificios, Calles, Avenidas, Carreteras, Presas, Canales, Fabricas, Talleres y Casas, dentro del más alto rango de tamaño y variedades nos dan un mundo nuevo de comodidad, de protección y belleza donde realizar nuestros más ansiados anhelos, un mundo nuevo para trabajar, para crecer, para progresar, para vivir.

A continuación se describe una serie de datos históricos de mucha relevancia en materia del cemento:

1824: - Joseph Aspdin, un constructor de Ledds en Inglaterra, daba el nombre de cemento y patentaba un material pulverulento que amasado con agua y con arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las calizas de la Isla Portland. Probablemente el cemento patentado por Aspdin era una caliza hidráulica debido, entre otras cosas, a las temperaturas empleadas en la calcinación.

1838: - Brunel emplea por primera vez un cemento procedente de la fábrica de Aspdin en el que se había logrado una parcial sinterización por la elección de una temperatura adecuada de calcinación. Este cemento se aplicó en la construcción de un túnel bajo el río Támesis en Londres.

1845: - Puede decirse que el prototipo del cemento moderno fue producido a escala industrial por Isaac Johnson, quien en este año logra conseguir temperaturas suficientemente altas para **clinkerizar** a la mezcla de arcilla y caliza empleada como materia prima.

1868: - Se realiza el primer embarque de cemento Portland de Inglaterra a los Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU.).

1871: - La compañía Coplay Cement produce el primer cemento Portland en los Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU.).

1880: - Año de inicio de la creación de los primeros hornos rotatorios para la fabricación de cemento.

1904: - La American Standard For Testing Materials (ASTM), publica por primera vez sus estándares de calidad para el cemento Portland.

1906: - En C.D. Hidalgo Nuevo León se instala la primera fábrica para la producción de cemento en México, con una capacidad de 20,000 toneladas por año.

1948: - En este año en nuestro país se visiona a la Ciudad de Metapán como el yacimiento mas grande de piedra caliza; pero la falta de una buena carretera, el hecho de construir una vía férrea y especialmente por la falta de energía

eléctrica suficiente para el funcionamiento de la maquinaria, motivaron a instalar la primera planta de cemento en la playa Las Flores, Acajutla, departamento de Sonsonate.

1953: - El Lunes 05 de Enero, entró en operación el horno rotativo N° 1 y el 27 de Marzo de este mismo año se inicio la venta de cemento, posteriormente se puso en funcionamiento el horno N° 2.

1956: - En Julio se aumenta la capacidad productiva a más de dos millones de bolsas de cemento al año.

1965: - Inicia la producción de cemento en la Planta El Ronco a un costo de aproximadamente de \$1,942,857.14.

1967: - Instalación del horno N° 3, produciendo mas de siete millones de bolsas al año.

1979: - El 27 de Abril se introduce el proceso de vía seca, con la construcción del horno N° 4 en la planta de Cementos de El Salvador S.A. (CESSA).

1992: - Cemex se considera como el cuarto productor de cemento a nivel mundial con una producción de 30.3 millones de toneladas por año.

1997: - En el mes de Octubre se inicia la construcción del horno N° 5, a la fecha se encuentra operando con una capacidad de 2,200 Tm/día de clinker, produciendo el cemento en armonía con la naturaleza bajo las normas ambientales mundiales.

2.3. FUNDAMENTOS SOBRE EL CONCRETO

El concreto es un conglomerado de materiales que se mezclan de manera homogénea con el objeto de obtener una mezcla que tenga características de trabajabilidad y plasticidad en estado fresco y además de resistencia y dureza en estado endurecido, estas características deberán de adecuarse a las necesidades de los diferentes proyectos ingenieriles. Por sus características de dureza se puede decir que el concreto se asemeja a una roca de excelente resistencia a los efectos a compresión.

El concreto de uso común o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales que son el cemento, el agua y los agregados, a los cuales eventualmente se le incorporara un cuarto componente que genéricamente se denomina aditivo.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos comúnmente consiste en arena natural (de ríos o minas) o piedra triturada siendo la mayoría de partículas menores que 5 mm. Los agregados gruesos por su parte consisten en una grava o combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominante mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm o el de 38 mm².

La pasta esta compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. La figura 9 muestra que el volumen absoluto del cemento esta comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua entre el 4 y el 21 %. El contenido de aire en concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso. Como los agregados constituyen aproximadamente el 60 al 75 % del

² Norma A.S.T.M. C-125

volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto.

Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas. La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado esta completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.

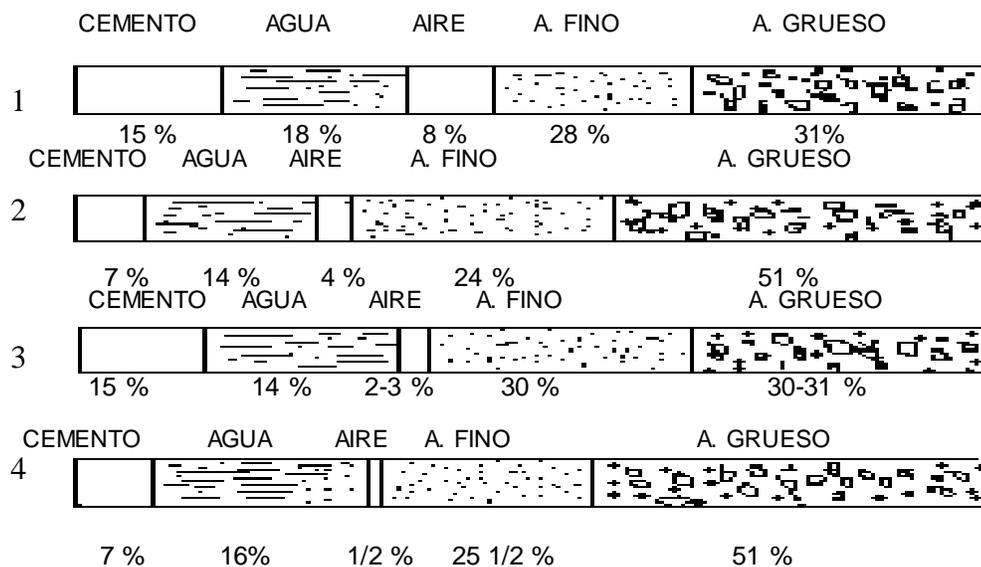


Fig. 9. Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usado en el concreto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados pequeños. Las barra 2 y 4 representan mezclas pobres con agregado grandes. (figura sin escala).

Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido esta determinada por la cantidad de agua utilizada en la relación con la cantidad de cemento.

A continuación se presentan algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el esfuerzo.
- Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto a condición que se pueda consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas; pero con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser empleadas.

Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía.

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación. Los aditivos se usan comúnmente para (1) ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento, (2) reducir la demanda de agua, (3) aumentar la trabajabilidad, (4) incluir intencionalmente aire, y (5) ajustar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable,

resistencia al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento. El concreto también es un excelente material de construcción porque puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturizados para ser usado en un número ilimitado de aplicaciones.

2.4. GENERALIDADES SOBRE LOS PAVIMENTOS

El hombre ha tenido siempre la necesidad de desplazarse de un lugar a otro y para ello ha buscado la manera más conveniente de hacerlo, entendiéndose por esto la conjugación de ahorro de tiempo y esfuerzo, comodidad, velocidad y economía.

Consecuentemente, los pavimentos nacieron al mejorar los caminos por donde originalmente circulaban los hombres y los animales, y han evolucionado desde la adecuación del suelo, hasta el estado de refinanciamiento técnico donde se encuentra actualmente.

Los pavimentos tiene una clara función social, aunque para el común de las personas pasan desapercibidos; probablemente porque se constituye directamente sobre el suelo y no tienen el atractivo de las estructuras verticales, la espectacularidad de los puentes o la monumentalidad de las centrales hidroeléctricas; o simplemente porque el transitar de un sitio a otro es algo tan rutinario que se ha perdido la conciencia de la existencia de las vías y los pavimentos, no cabe la menor duda que su importancia es equiparable a la de cualquiera de los ejemplos mencionados.

2.4.1. PAVIMENTOS

Se define como pavimento a la estructura constituida por una capa o conjunto de capas de materiales apropiados comprendidas entre la sub-rasante y la superficie de rodamiento de una obra vial y cuyas funciones principales son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme resistente a la acción del tránsito, al intemperismo y a otros agentes perjudiciales. Su función es la de transmitir adecuadamente a la capa de la sub-rasante los esfuerzos producidos por el tránsito, haciendo posible que los vehículos circulen con comodidad, seguridad y economía.

La estructura o disposición de los elementos que constituyen el pavimento, así como las características de los materiales que se emplean en su construcción ofrecen una gran variedad de posibilidades.

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terrecerías, además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior.

La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

2.4.2. ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN PAVIMENTO

Un pavimento esta compuesto principalmente por dos tipos de elementos: a) Estructurales y b) de Protección (el drenaje). La figura 10, es una representación esquemática de los elementos que pueden hacer parte de un pavimento.

➤ ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO

La estructura de un pavimento está compuesta por una o más capas, construidas sobre el suelo, con el fin de soportar adecuadamente las cargas aplicadas. La presencia de varias capas generalmente reduce los costos mas no el espesor resultante de la estructura. Las capas que conforman la estructura del pavimento son, en orden ascendente como se describen a continuación:

➤ **SUB-RASANTE**

Es la superficie que sirve como fundación del pavimento. En principio está constituida por el suelo o terreno y se puede presentar en corte, en relleno o en mixta.

➤ **SUB-RASANTE MEJORADA**

Bajo algunas condiciones se hace necesario mejorar la calidad de la sub-rasante mediante el procesamiento de parte del material superficial o su reemplazo por otro de mejor calidad, sin que se tome como una de las capas estructurales del pavimento.

➤ **SUB-BASE**

Es la primera capa que se construye sobre la sub-rasante, con el fin de facilitar el drenaje del pavimento y la construcción del resto de la estructura. Tiene capacidad de absorber algunos cambios de volumen de la sub-rasante y, además, se coloca con fines económicos, dado que actúa como una sustitución parcial de la base.

➤ **BASE**

Se llama así la capa construida sobre la sub-base. Se diferencia de esta por la mejor calidad de sus materiales y las mayores exigencias en las especificaciones de construcción.

Aún cuando tiene funciones similares a las de la sub-base, su importancia radica en su capacidad estructural y de protección del resto del pavimento; además, permite la circulación de los vehículos mientras se construye la capa de rodadura. En la actualidad existe gran variedad de materiales empleados para la construcción de la base como lo son: los suelos y los materiales pétreos,

algunos estabilizantes como el cemento, la cal, los aditivos y otros materiales ligantes.

➤ **CAPA DE RODADURA**

Con este nombre genérico se denomina a la última capa que se construye, y es sobre ella donde circulan los vehículos durante el período de servicio del pavimento. Por esto, debe ser resistente a la abrasión producida por el tráfico y a la agregación del medio ambiente; además, tiene la función de proteger la estructura, impermeabilizando la superficie.

La textura superficial de la capa de rodadura debe presentar dos características para atender adecuadamente la circulación de los vehículos: la suavidad, para que sea cómoda, y la rugosidad, suficiente para que sea segura.

Erróneamente se le da a esta capa el nombre de pavimento, especialmente cuando es de concreto asfáltico, pero dicho nombre le corresponde realmente al conjunto de capas construídas y no únicamente a la última o superficial. La capa de rodadura puede ser de diferentes tipos, lo que determina una clasificación para los pavimentos según el material que la componen.

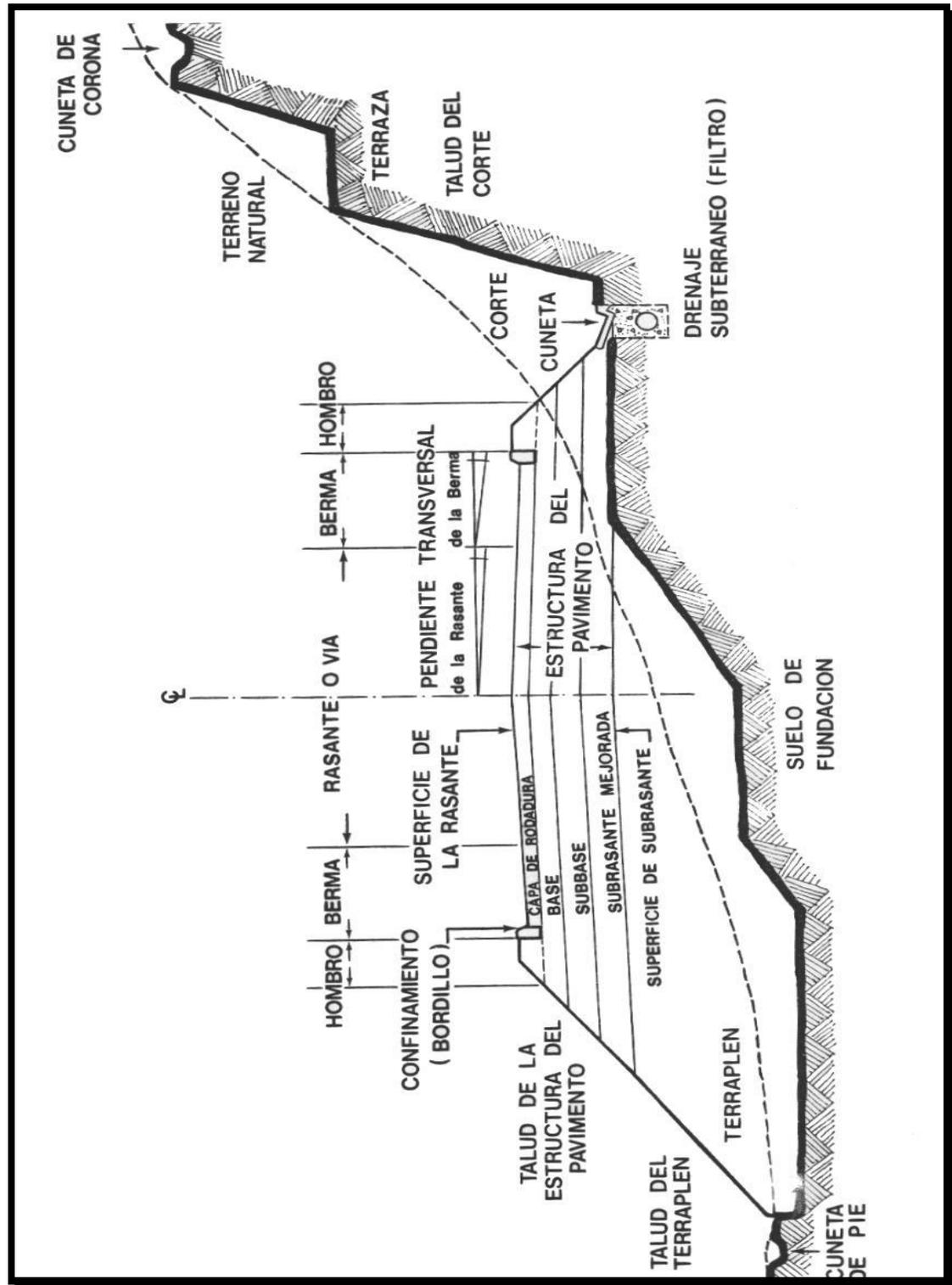


Fig. 10. Sección transversal de una vía

2.5. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS SEGÚN EL MATERIAL DE LA CAPA DE RODADURA

2.5.1. PAVIMENTOS DE TIERRA

Es aquel al cual no se le ha construido la capa de rodadura, fundamentalmente por razones económicas, y que comúnmente se le llama “destapados”. Se puede decir que son los pavimentos incompletos dado que se dan al servicio sin uno de sus elementos fundamentalmente. Sin embargo se pueden denominar según el material que esta en contacto con el tráfico así: de material pétreo, de suelo natural o estabilizado químicamente con un aditivo como cal, cemento, asfalto, etc.

2.5.2. PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Su superficie está conformada por losas de concreto de cemento Portland. En este tipo de pavimentos las losas absorben la mayor parte de los esfuerzos, deformándose muy poco bajo la acción de las cargas y distribuyéndolas en una área muy grande.

2.5.3. PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO

Es aquel con una capa de rodadura conformada por una carpeta de concreto asfáltico. Si su espesor es considerable, esta capa se divide en dos: la base asfáltica y la rodadura, las cuales se diferencian básicamente en el tamaño del agregado con el que se produce el concreto asfáltico, siendo mayor el de la base que el de la rodadura.

2.5.4. PAVIMENTOS DE ADOQUINES

En este tipo de pavimentos la capa de rodadura está conformada por varios elementos: los adoquines que son bloques macizos, con forma de prisma recto,

cuyas bases son polígonos con una forma tal que permiten conformar una superficie completa. Éstos se colocan sobre una capa delgada de arena y un material de sello entre sus juntas. Generalmente los adoquines se fabrican de concreto, aunque en el mercado se conocen adoquines de arcilla cocida, piedra y madera.

Las estructuras típicas de los diferentes pavimentos descritos anteriormente, según el material de rodadura es la siguiente:

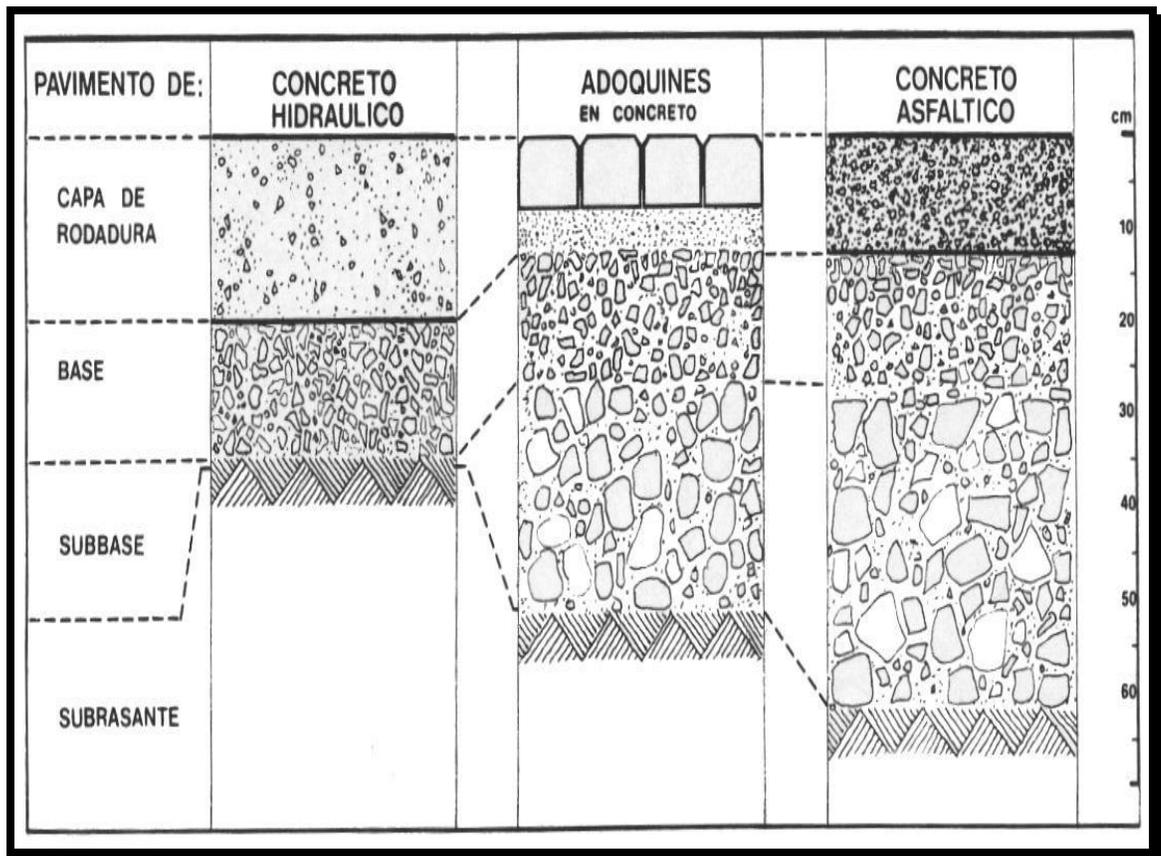


Fig. 11. Estructura típica de los diferentes tipos de pavimentos, según el material de rodadura

2.6. ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS DE PROTECCIÓN DE LOS PAVIMENTOS

El objetivo básico de los elementos de protección es de mantener el nivel freático por debajo de la estructura del pavimento, de manera que no se acumule agua dentro de ésta y, adicionalmente, evitar que el agua superficial erosione el terreno adyacente.

Lo anterior se logra con un adecuado manejo de las pendientes del pavimento longitudinales y transversales y de los cortes y rellenos que conforman la base sobre la cual se asienta la estructura, mediante la construcción y el tratamiento de bermas (hombros) y la disposición de cunetas y de obras de drenaje suficiente, lo cual permite conducir el agua a sitios donde no atente contra la estabilidad de la fundación o del pavimento mismo.

La presencia de agua dentro de los pavimentos reduce la capacidad cortante de sus diferentes capas debido a la disminución de la fricción y de la resistencia al corte de las partículas que componen el suelo y los materiales granulares.

Además, el incremento de la humedad de la sub-rasante puede acarrearle aumentos considerables de volumen generando en el pavimento esfuerzos tales que lo puedan llevar a la falla.

La presencia y el buen estado de las bermas, además de la función ya descrita, sirven para darle seguridad a los conductores, debido al aumento de la visibilidad y por brindar espacios suficientes para que se estacionen los vehículos cuando se tengan que detener o para que puedan circular por ellas en caso que se presenten obstáculos en la vía.

El perfil transversal de la vía, en tramos rectos, debe tener pendientes iguales o mayores de 1.5, 2 y 3 %, en pavimentos con superficie de pavimento, de asfalto y de adoquines o destapados, respectivamente.

La pendiente de las bermas debe ser igual o mayor que la de la vía; se sugiere el 3% para bermas pavimentadas y el 5% para bermas destapadas o engrames (ver fig. 12)

En los tramos de vía con curvas, las bermas interior deben tener una pendiente con valor igual al mayor entre el del peralte y el de la berma en tramo recto. La berma exterior debe tener una pendiente tal que restándola algebraicamente de la del peralte, difiera en menos del 7%. En ningún caso la pendiente de la berma, interior o exterior, debe ser igual a cero.(ver fig. 12)

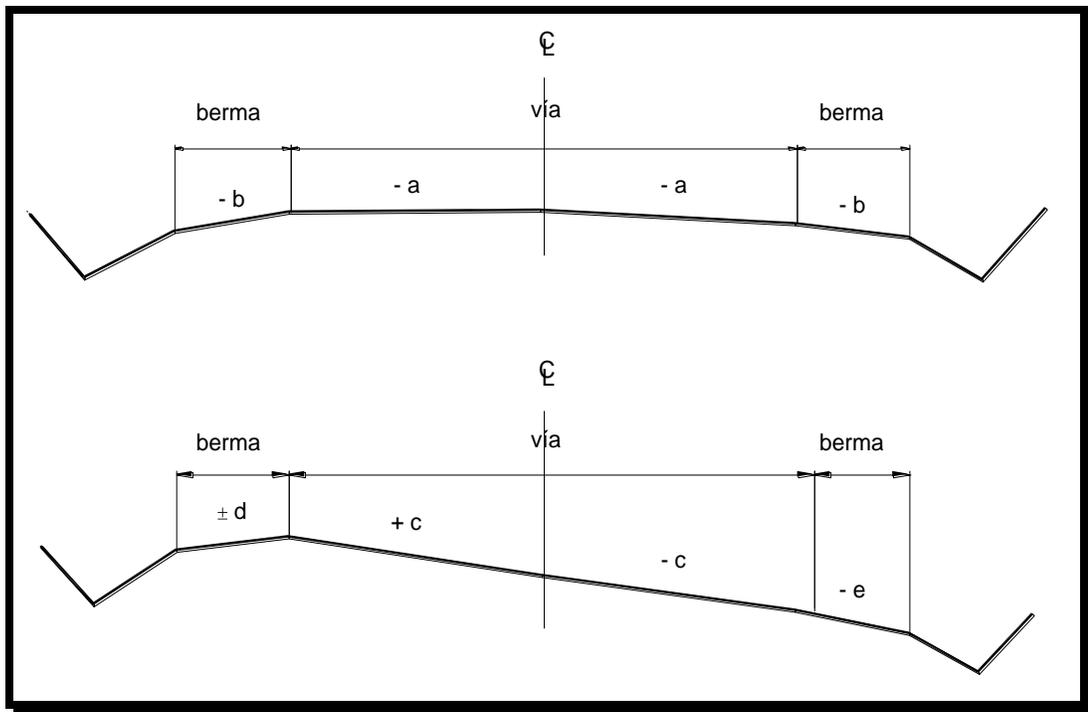


Fig.12. Perfiles transversales de la sección de un pavimento según el trayecto

2.7. SOLICITACIONES PRESENTES SOBRE LOS PAVIMENTOS

El objetivo fundamental de los pavimentos es el de soportar el tránsito de los vehículos, por lo cual éstos son el parámetro básico para determinar los espesores y la calidad de los materiales que han de conformar las diferentes capas de la estructura.

Existen además otras solicitaciones que es necesario evaluar para determinar su incidencia en el funcionamiento del pavimento durante el período para el cual fue diseñado. Entre éstas merecen especial atención, las generadas por el ambiente natural (los gradientes térmicos y de humedad, y la lluvia) por la utilización misma del pavimento (desgaste por el tráfico, derrames de combustible y de aceite) y las debidas a las condiciones geológicas.

2.8. LA CAPACIDAD RESISTENTE DE LOS PAVIMENTOS

De manera simplificada se puede decir que un pavimento no es otra cosa que una estructura interpuesta entre los vehículos y el suelo natural, cuya finalidad es distribuir los esfuerzos aplicados en la superficie para no solicitar el suelo por encima de su capacidad cortante. Ello obliga a tener capas con espesores y resistencia acordes con las cargas a transmitir y la capacidad cortante del suelo.

Cada capa del pavimento debe estar en las condiciones de soportar el tráfico esperado durante el período para el cual se diseña, con el objeto de que todas lleguen al final de su vida útil con un deterioro similar, puesto que la estructura, sea cual sea su composición, fallará por fatiga.

Las propiedades mecánicas, tanto del suelo como de los materiales que componen cada una de las capas del pavimento, se determinan mediante

ensayos de laboratorio y de campo, como por ejemplo ensayos de placas de carga, módulos de elasticidad, etc. Inclusive los ensayos tradicionales de medición de las características mecánicas de los suelos, tal es el caso del C.B.R., que entra como parámetros para el diseño de los pavimentos.

2.9. NIVEL DE SERVICIABILIDAD

Por el nivel de serviciabilidad se entiende la manera como un pavimento cumple con su función de hacer cómoda, fácil, rápida y segura la circulación de los vehículos. El nivel de serviciabilidad disminuye a medida que transcurre el tiempo, debido a la acción de las sollicitaciones, tanto de las cargas circulantes como los agentes meteorológicos.

2.10. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

Los pavimentos son estructuras compuestas por una o más capas, construidas sobre el suelo con el fin de soportar adecuadamente las cargas aplicadas por los vehículos durante el tiempo que esté en servicio la vía, sin que se lleguen a presentar en ninguna de las capas, incluyendo el suelo de fundación, deformaciones o tensiones, por cargas súbitas o por fatiga, superiores a la rotura.

Los pavimentos se clasifican como rígidos, semirígidos y flexibles, según la manera como su estructura atiende y trasmite las cargas aplicadas sobre la superficie. Existen dos tipos principales de pavimentos: los rígidos y los flexibles, éstos se construyen de conformidad con cada tipo de proyecto y lugar.

2.10.1. PAVIMENTO RÍGIDO O DE CONCRETO HIDRÁULICO

La superficie de rodamiento de los pavimentos de concreto hidráulico, que son de nuestro interés en este trabajo de graduación, es proporcionada generalmente por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas (ver fig. 13).

Éste tipo de pavimentos no puede plegarse a las deformaciones inferiores sin que se presentes fallas estructurales. Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la sub-rasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie rígida (concreto hidráulico).

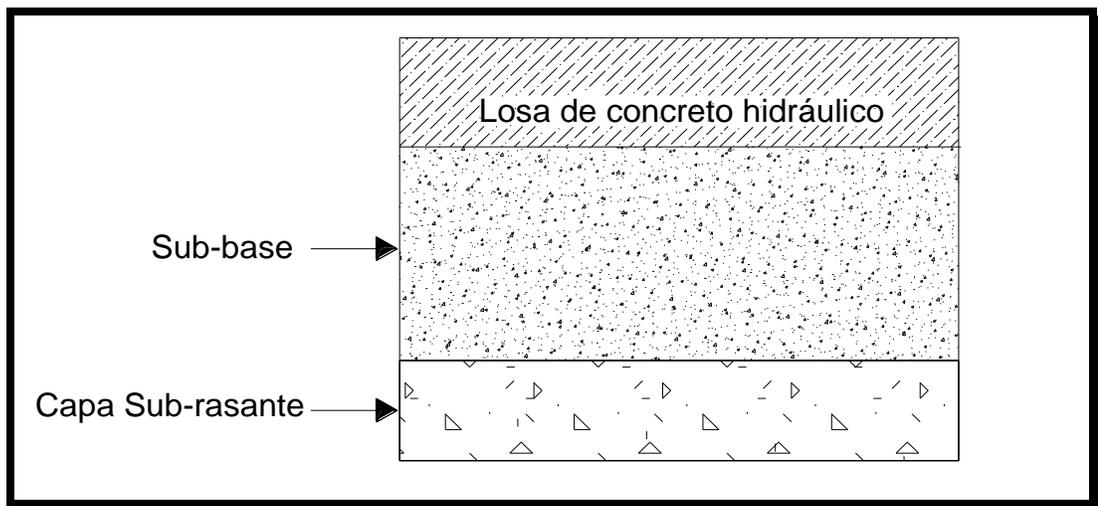


Fig. 13. Capas que conforman un pavimento rígido

2.10.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Este tipo de pavimentos consiste en una carpeta asfáltica la cual realiza la función de superficie de rodamiento; las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales; y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa, las capas que conforman un pavimento flexible son la carpeta asfáltica, base, sub-base, las cuales se construyen sobre la capa de la sub-rasante (ver fig. 14).

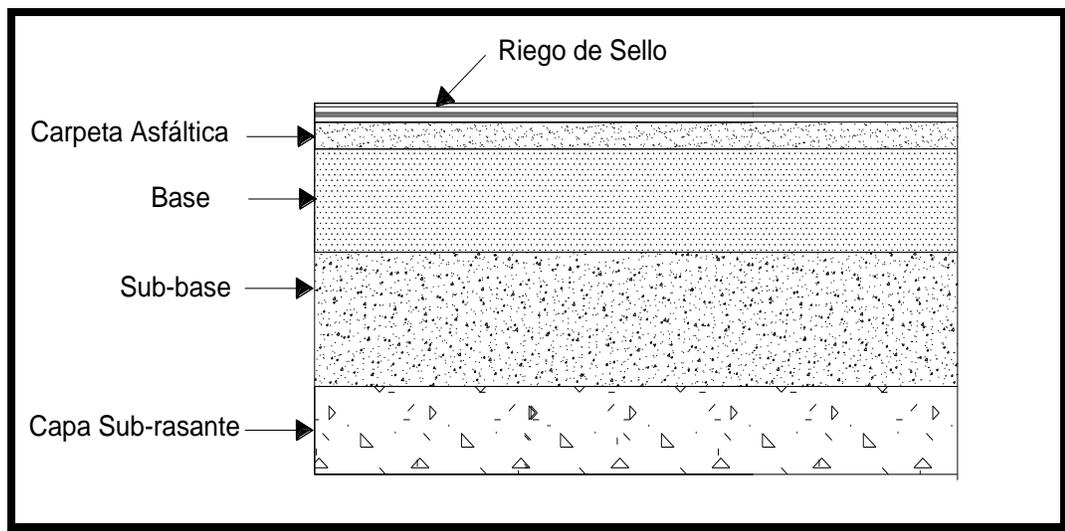


Fig. 14. Capas que conforman un pavimento flexible

2.10.3. PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO

En las últimas décadas se ha utilizado en forma considerable el concreto asfáltico, el cual a pesar de tener una falla frágil y parecida a la del concreto hidráulico, resiste menos que éste, por lo que se incluye en los pavimentos flexibles, sin embargo, para evitar que la carpeta se agriete debido a pequeñas

deformaciones de base, ésta se debe rigidizar con cemento Portland o cal a fin de que los módulos de elasticidad de ambas capas se parezcan lo más posible (ver fig. 15).

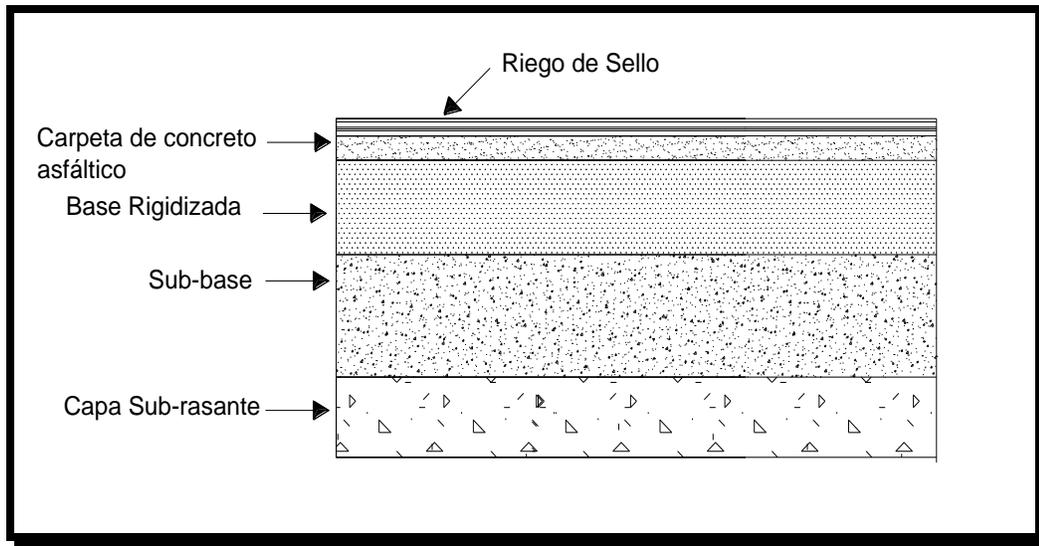


Fig. 15. Capas que conforman un pavimento flexible con carpeta de concreto asfáltico

2.11. PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

2.11.1. DEFINICIÓN

El pavimento rígido también es conocido como pavimento de concreto hidráulico y consiste en una mezcla de cemento Portland, arena, agregado grueso y agua, tendida en una sola capa y puede o no incluir, según la necesidad, la capa de sub-base, que al aplicarse las cargas rodantes no se deflecten perceptiblemente, y al unir todos los elementos antes mencionados, constituyen una losa de concreto de espesor, longitud y ancho variables, la cual puede estar reforzada o no. Su rigidez le permite repartir adecuadamente las cargas del tráfico sobre la sub-rasante sin necesitar, en principio, la colaboración de otras capas de pavimento.

El término rígido implica que los pavimentos construidos con este material poseen un cierto grado de resistencia de viga que les permite cubrir o tender un puente sobre algunas irregularidades menores en la sub-rasante o en la sub-base sobre las que descansa. Son estructuras que a diferencia de las destinadas a edificaciones, se caracterizan porque las cargas más importantes que actúan sobre ellas son de tipo variable, bien de forma lenta (efectos climáticos, en particular los debidos a cambio de temperatura) o bien de forma lo suficientemente rápida y repetida para provocar fenómenos de fatiga (este es el caso de las cargas de tráfico).

2.11.2. CLASIFICACIÓN

Los pavimentos construidos con concreto hidráulico se denominan pavimentos rígidos, esto debido a que la losa de concreto construida, es capaz de reacomodarse en presencia de cargas, pero una vez suspendidas aquellas, la losa vuelve a su conformación original (comportamiento elástico).

➤ PAVIMENTOS DE CONCRETO CON JUNTAS SIMPLES (JCPC)

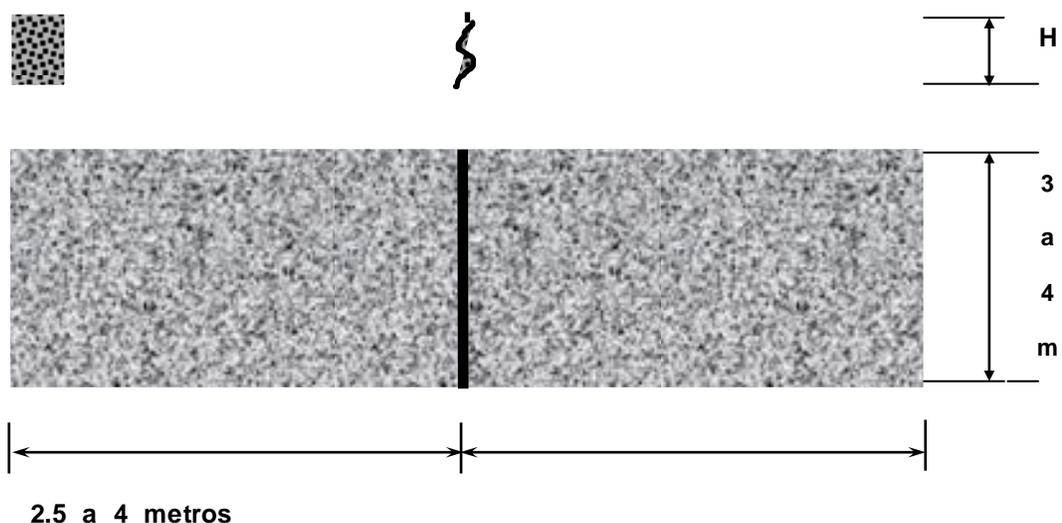


Fig. 16. Pavimentos de concreto con juntas simples

➤ **PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE CON DOVELAS * (JRCP)**

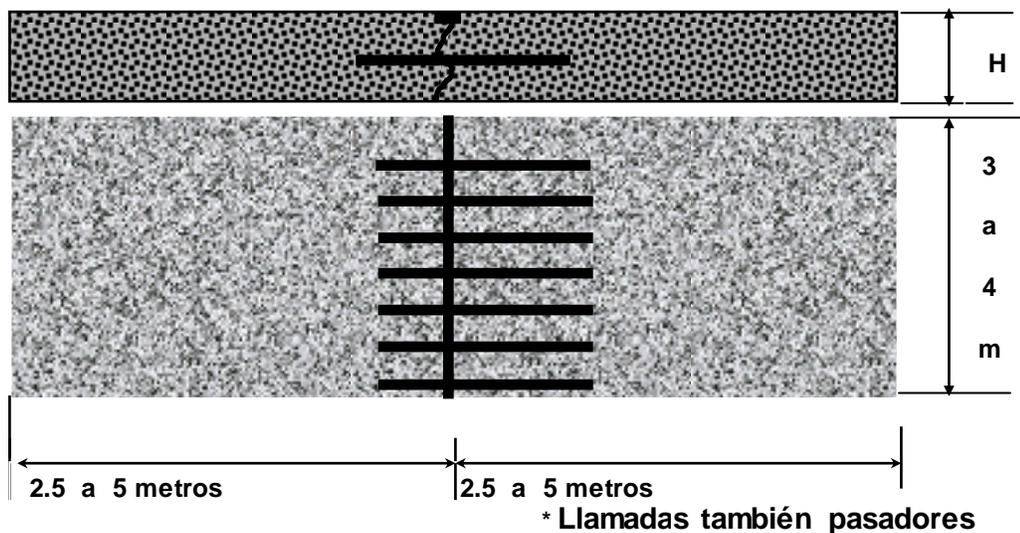


Fig. 17. Pavimentos de concreto simple con dovelas

➤ **PAVIMENTOS CON REFUERZO DISCONTINUO DISTRIBUIDO NO ESTRUCTURAL (JRCP)**

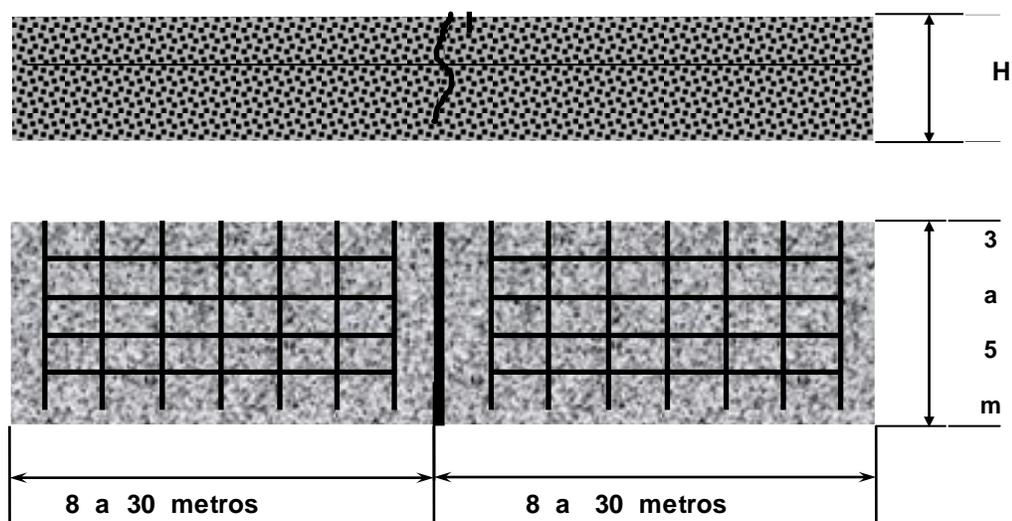


Fig. 18. Pavimentos con refuerzo discontinuo distribuido no estructural

➤ **PAVIMENTOS CON REFUERZO CONTINUO SIN FUSIÓN ESTRUCTURAL (CRPC)**

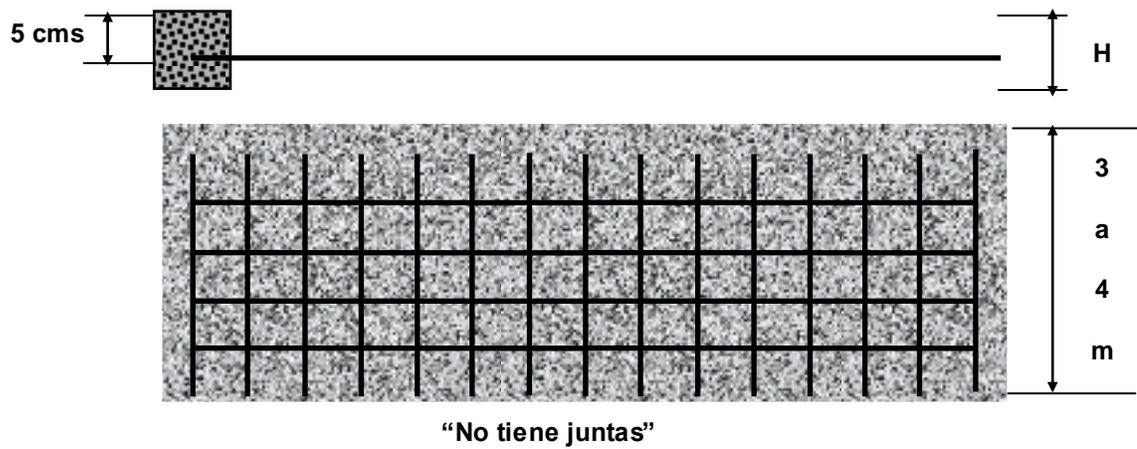


Fig. 19. Pavimentos con refuerzo continuo sin fusión estructural

➤ **PAVIMENTOS DE CONCRETO CON REFUERZO ESTRUCTURAL**

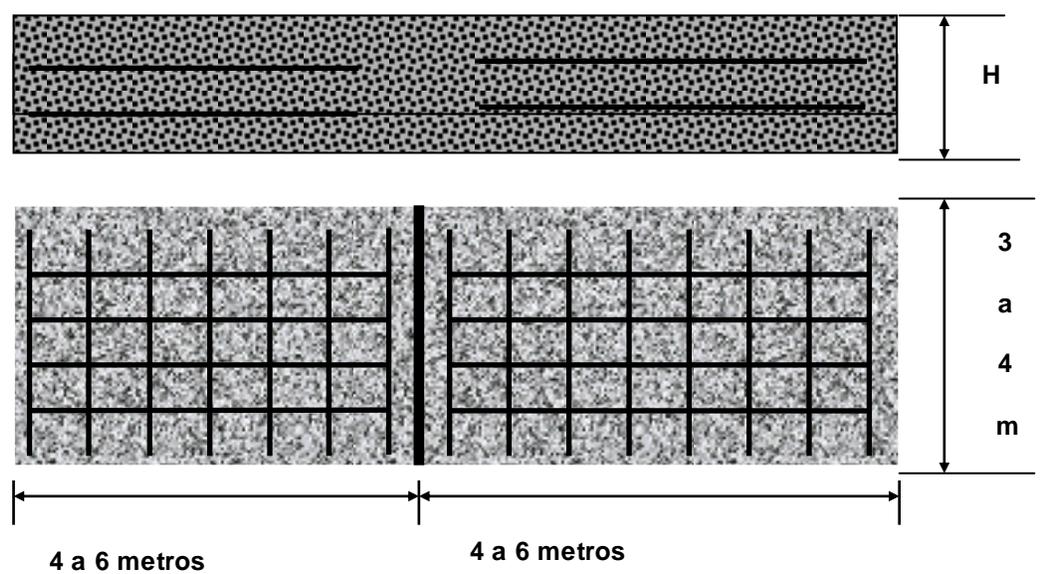


Fig. 20. Pavimentos de concreto con refuerzo estructural

2.11.3. CARACTERÍSTICAS

En las vías de concreto hidráulico, el pavimento de concreto, constituye la capa sobre la que recae la mayor responsabilidad estructural y funcional y las capas inferiores son las encargadas de asegurar un apoyo uniforme y estable para el pavimento.

En la concepción del pavimento hay que considerar dos características simultáneamente:

- Características Superficiales.
- Características Estructurales.

➤ **CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES**

Son las que en esencia le interesan al usuario pues le aseguran comodidad y seguridad. A continuación se describen algunas de ellas:

➤ **RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO**

Esta característica de los concretos hidráulicos se aplica al pavimento cuando se encuentra en estado fresco utilizando una arena silíceo, con el objetivo de crearle una textura superficial adecuada por medio del cepillado, estriado, eliminación de mortero o ranurado. Cuando la velocidad de circulación de las vías es alta la macro-textura debe ser rugosa y más lisa para velocidades moderadas o bajas.

➤ **EL TIPO DE TEXTURA**

Esta característica influye claramente, ya que produce un ruido en la rodadura al paso de los vehículos el cual es percibido dentro y fuera del mismo, aunque

no es nocivo, puede reducirse a través de igualdad de coeficientes de rozamiento o creándole al concreto texturas longitudinales.

➤ **LA REGULARIDAD SUPERFICIAL**

Ésta se obtiene tomando en cuenta factores como la homogeneidad del concreto y puesta a punto de la pavimentadora, el camino de rodadura de la máquina, los elementos de guiado y la regularidad de la puesta en obra, entre otros puntos.

➤ **PROPIEDADES ÓPTICAS REFLECTANTES**

Esta característica recibe cada vez más atención por razones de seguridad, comodidad y economía. El color claro de una superficie seca de pavimento de concreto hidráulico, proporciona una mejora notablemente en la visibilidad nocturna en aproximadamente 50%, lo que se traduce en ahorro del consumo de energía, pues solo se requiere la mitad del flujo luminoso público.

➤ **DURABILIDAD**

Es la característica más notable y cuantitativamente hablando la más comprobada en el uso del concreto hidráulico en diferentes países de larga experiencia. Esto no significa que no se esperen fallas a temprana edad, pero en todo caso será, por defectos de proyectos o ejecución. Lo cierto es que con forme transcurre el tiempo, el concreto va aumentando su resistencia mecánica y si la concepción del pavimento ha sido correcta, se espera que su índice de servicio disminuya muy lentamente.

Así, la vida útil de los pavimentos de concreto hidráulico puede variar de menos de 20 años en algunos proyectos que tengan una carga de tráfico mayor que la

que originalmente asumida en el diseño y materiales o defectos en la construcción, a más de 40 años en otros proyectos en los cuales se cumplió con todos los requisitos de materiales y construcción.

➤ **CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES**

Son las que aseguran la integridad de la vía durante el período de vida útil.

➤ **RIGIDEZ DEL PAVIMENTO**

Se deriva propiamente del concreto, ya que este material como pavimento es muy resistente a las elevadas presiones de contacto con los vehículo pesados. Es esta rigidez la que permite repartir adecuadamente las cargas del tráfico sobre la sub-rasante, de modo que la carga máxima que le llega es sólo una fracción de la máxima presión de contacto. Por otra parte las tensiones verticales transmitidas por las cargas, se distribuyen ampliamente sobre la base de apoyo de la losa, de modo que la tensión máxima que le llega es sólo una fracción insignificante de la máxima presión de contacto. El pavimento no precisa de una base con la misma función que en un pavimento flexible, sino de una base uniforme y resistente a la erosión, tanto del tráfico de obra como de servicio.

➤ **JUNTAS**

El concreto hidráulico tiene como característica principal natural que cambia de volumen con los cambios de temperatura. Si en el diseño no se prevé técnicamente juntas que permitan estos cambios, la losas se fisuran en forma aleatoria, muchas de las cuales sufren desportillamiento bajo la acción directa del tráfico; al propio tiempo, las fisuras más abiertas permitirán la entrada de agua y partículas extrañas hacia la base, pudiéndose formar además bloques inestables.

Por otro lado, también son necesarias las juntas para facilitar el alabeo de las losas debido a los cambios de temperatura. Las juntas pueden penetrar todo el espesor de la capa hasta un 1/8. Aquellas que tienen la profundidad completa son juntas que se dejan entre placas para permitir la expansión y controlar el agrietamiento. Las juntas superficiales se forman cortando el pavimento para forzar a que el agrietamiento se produzca a lo largo de un plano de debilidad.

Dependiendo de su función, existen diferentes tipos de juntas entre las cuales podríamos mencionar las transversales, longitudinales, de construcción, especiales, etc. Todas las juntas y grietas deben mantenerse selladas con algún epóxico, para evitar daños en el pavimento debido al agua o materiales extraños. En todo caso, las juntas han de ser imperceptibles para el usuario ya que son las zonas estructurales más críticas de los pavimentos de concreto hidráulico.

➤ **SENSIBILIDAD A LOS AGENTES EXTERNOS**

En zonas sometidas a heladas y cuando se prevea el empleo de sales en invierno, será necesario incorporar al concreto un aireante y asegurarse de la efectiva existencia de aire ocluido.

Los pavimentos de concreto no se ven afectados por eventuales depósitos de aceites y otros productos petrolíferos, ventaja que puede tener importancia en algunos estacionamientos y rampas, entre otros.

2.12 PARTES COMPONENTES DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

En este apartado se definirán las infracapas que componen un pavimento rígido, las características y funciones que deben cumplir.

2.12.1. SUB-RASANTE

Es la parte de la carretera que sirve para el soporte de las capas de pavimentos, por tanto, debe de cumplir con ciertas características estructurales para que los materiales seleccionados que se colocaran sobre ella se acomoden en espesores uniformes y su resistencia debe ser homogénea en toda su superficie para evitar fallas en el pavimento.

La sub-rasante es de vital importancia en cualquier tipo de pavimento, la capacidad soporte de la sub-rasante y de las capas de apoyó del pavimento se cuantifican por medio de un parámetro llamado Módulo de Reacción, conocido también como coeficiente de balasto o Módulo de Westergaard representado convencionalmente por (k); que es igual a la relación entre la presión aplicada sobre el terreno y el asentamiento correspondiente:

$$k = p/d$$

donde:

k : Módulo de Reacción (kg/cm²/cm ó kg/cm³).

p : Presión aplicada.

d : Asentamiento correspondiente.

Uno de los métodos más utilizados para poder encontrar este valor es el ensayo de Placa de Carga que rige la norma ASTM D 1196 Y AASTHO T 222. Este valor depende directamente del tipo de suelo, su densidad y su contenido de humedad, entre otros parámetros. Los suelos blandos como la arcillas plásticas tienen valores de k de aproximadamente 1.4 kg/cm^3 , los suelos densamente graduados arena-grava no plásticos, pueden alcanzar valores hasta por el orden de 14 kg/cm^3 .

2.12.2. SUB-BASE

Los pavimentos rígidos a diferencia de los pavimentos flexibles, dadas sus características estructurales, no es necesario colocarles base; por lo que, únicamente se colocan materiales de sub-base sobre la sub-rasante, cuando esta no presente condiciones adecuadas de soporte.

La sub-base es una capa relativamente delgada de materiales seleccionados o especificados de un espesor determinado colocado entre la sub-rasante y la losa, con el objeto de mejorar el soporte, prevenir el bombeo o controlar la humedad del suelo, para sub-rasantes de alto cambio volumétrico.

El espesor de la sub-base oscila entre 10 y 25 cm; si son menores de 10 cm puede ocurrir que las irregularidades de la sub-rasante propicien espesores de sub-bases demasiados delgados o no se de una resistencia de soporte uniforme a la losa. Por otro lado si son mayores de 25 cm solo se ocupa cuando en la sub-rasante existe suelos altamente expansivos ya que la sub-base controla los hinchamientos y contracciones de éstos.

2.12.3. LOSAS DE CONCRETO

La losa de concreto es el elemento principal de este tipo de pavimentos ya que toma la mayor parte de los esfuerzos del pavimento, uniformizándolos y transmitiendo esfuerzos relativamente pequeños a las capas inferiores.

Existen diferentes fenómenos que se deben considerar al diseñar una losa de concreto, por ejemplo la dilatación y contracción de las losas por efecto de la temperatura, ya que están cambiando constantemente con el tiempo, por los tipos de regiones, las estaciones del año, y la hora del día.

Las losas de concreto hidráulico pueden diferenciarse de acuerdo a la tipología siguiente:

- Losas cortas de concreto simple.
- Losas de concreto simple con pasajuntas.

➤ **LOSAS CORTAS DE CONCRETO SIMPLE**

Están constituidas por concreto común con agregados comunes y sin ningún tipo de armaduras. Las dimensiones de estas losas tienen mucha relación con la ejecución de juntas. En la tabla N°5 se muestran las dimensiones recomendables de las losas de acuerdo al espesor seleccionado. La resistencia estructural de este tipo de pavimentos depende exclusivamente del concreto común. La resistencia estructural de este tipo de pavimento depende exclusivamente del concreto simple.

DISTANCIA RECOMENDADA ENTRE JUNTAS PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE (espesor)	DISTANCIA RECOMENDABLE
125 mm	3.0- 3.8 m
150 mm	3.7-4.6 m
175 mm	4.3-4.6 m
200 mm o más	4.6 m

Tabla N° 5. Distancia recomendable entre juntas para pavimentos de concreto simple
Fuente: ACPA (Asociación Americana de Pavimentos de Concreto)

➤ LOSAS DE CONCRETO SIMPLE CON PASAJUNTAS

Este tipo de losas consta de barras en las zonas más críticas que es precisamente en las juntas transversales de construcción, las cuales se definirán posteriormente, para que se transmitan las cargas propiciando un trabajo en conjunto, obteniéndose una mayor capacidad estructural del pavimento y se logra reducir el espesor de la losa.

2.12.4. JUNTAS

Las juntas se define como un plano de debilidad para controlar el agrietamiento o movimientos causados por gradientes de temperatura o humedad en pavimentos de concreto (ver fig. 21). Una junta puede ser elaborada en concreto fresco o en endurecido.

Las juntas en pavimentos de concreto fresco son pequeñas separaciones constituidas en las losas reduciendo los esfuerzos causados por los cambios de volumen que ocasionan las diferentes temperaturas, evitando así efectos dañinos sobre la losa. Las juntas generalmente oscilan entre 3 y 6 mm de

ancho y su profundidad puede ser desde $1/4$ hasta todo el espesor de la losa, en el caso de juntas de construcción es en todo el espesor de la losa.

Los sistemas de construcción de juntas se basan en el principio de controlar las grietas que aparecen por causas naturales en los pavimentos de concreto. Las juntas se colocan en el pavimento para controlar la ubicación y geometría del agrietamiento.

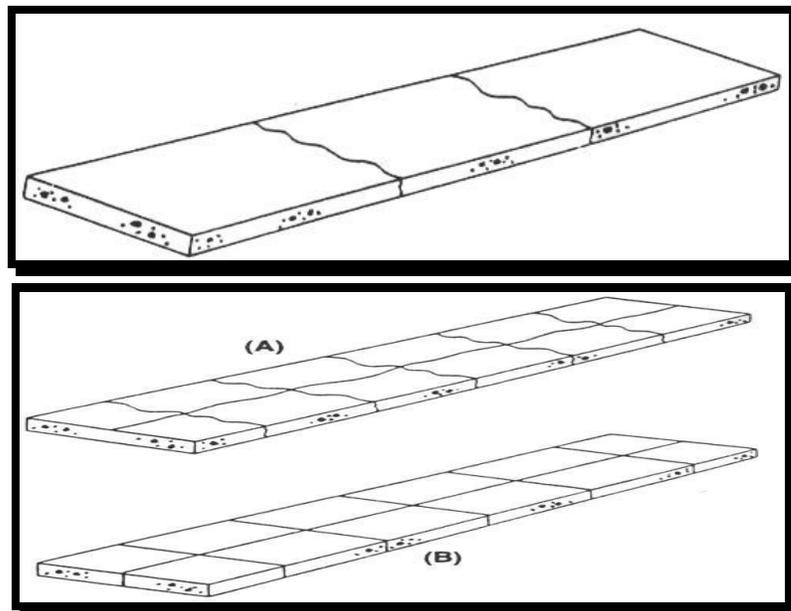


Fig. 21. Patrones de Agrietamiento

En la figura 21 se ilustran los patrones de agrietamiento inicial de un pavimento sin juntas, observándose en (a) el agrietamiento como resultado de los esfuerzos por cambios climáticos y por cargas aplicadas y en (b) las juntas que controlan la ubicación y geometría de las grietas.

Estas juntas es necesario sellarlas para evitar que el agua llegue a las capas de soporte y deteriore la losa, para esta operación se utiliza material elástico para su sellado como por ejemplo el material bituminoso.

2.13. TIPOS DE JUNTAS

Las juntas forman un plano de falla planificado para que los cambios volumétricos en el concreto no provoquen grietas irregulares que dañen el pavimento. Los tipos de juntas que se conocen en la actualidad son las siguientes:

- Juntas Longitudinales.
- Juntas Transversales.
- Juntas de Construcción.
- Juntas Especiales.

2.13.1. JUNTAS LONGITUDINALES

Como su nombre lo indica son juntas que se emplean generalmente para controlar las grietas longitudinales de contracción. También, se aprovechan para definir el ancho del carril y pueden quedar formadas al colar en franjas longitudinales el pavimento.

Este tipo de juntas se colocan entre las vías o carriles adyacentes y funcionan como goznes, lo que significa que, proporcionan un soporte en los bordes de cada losa que permiten la rotación entre ellas, por tanto, se origina una reducción de los esfuerzos de flexión y de esta forma se evitan grietas irregulares y de mala apariencia que dañan el pavimento.

Es de hacer notar que las juntas longitudinales no transmiten cargas pesadas a través de suelo y los movimientos de contracción y expansión no desarrollan grandes esfuerzos en el pavimento, por tanto, este tipo de juntas no crean mayores problemas en las losas (ver Fig. 22).

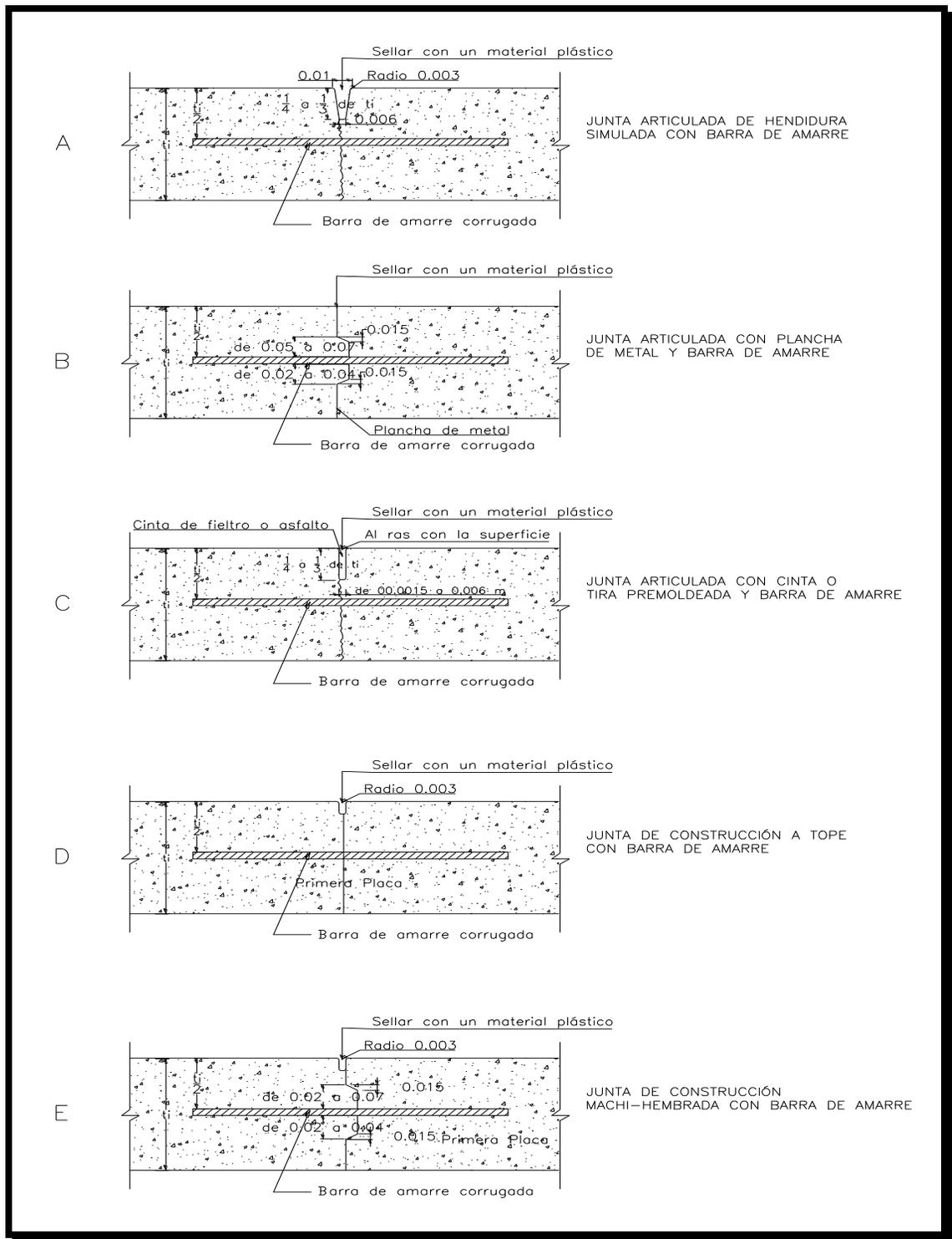


Fig. 22. Detalle de juntas longitudinales

Existen en la actualidad equipos de construcción que pueden construir el pavimento a todo lo ancho de su corona en una sola pasada, en este caso las juntas longitudinales se formarán con ranuras (ver Fig. 23).

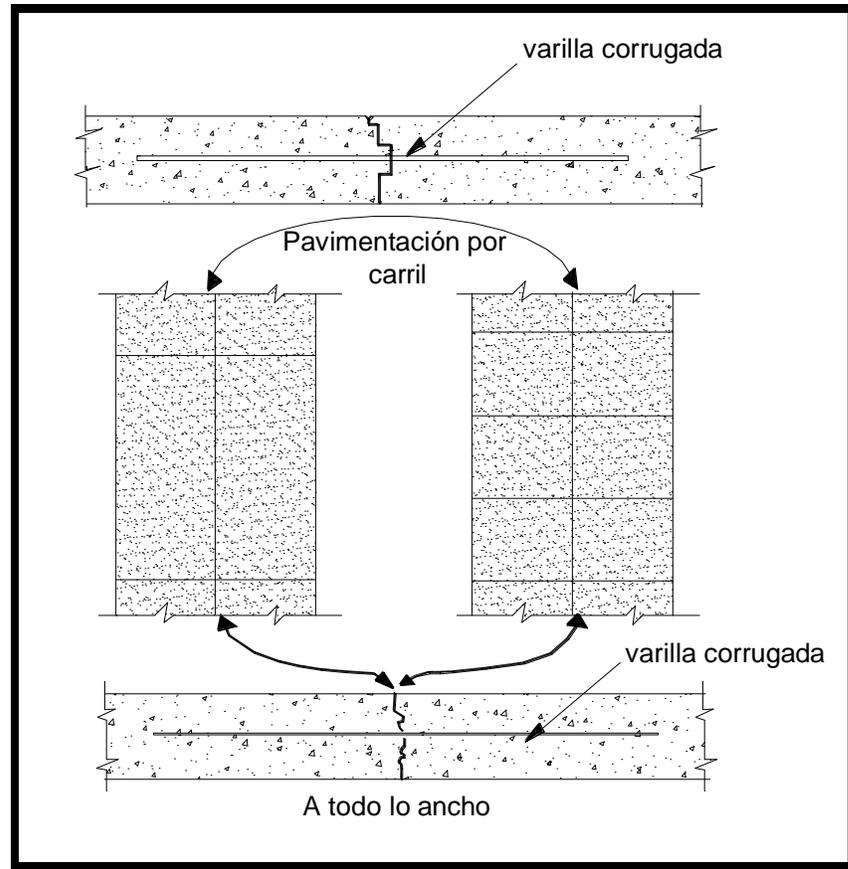


Fig. 23. Juntas longitudinales

Estas juntas generalmente llevan barras de sujeción, colocadas a la mitad del espesor para prevenir deslizamientos laterales de las losas. Cuando son más de dos juntas longitudinales (aeropistas) es suficiente poner estas barras, en cada una de las juntas próxima a las orillas del pavimento; y si el diseño de éste, es con dispositivo de transmisión de cargas, todas las juntas longitudinales se diseñaran para esta función, de las siguientes maneras:

- a. Aprovechando la trabazón de la grieta longitudinal, cuando la junta se construyó con ranura y barra de sujeción.
- b. Por medio de una llave de concreto en las losas, preparada en los colados por franja con cimbras especiales, acompañadas con barras de sujeción para mayor eficiencia en la transmisión de cargas.
- c. Cualesquiera de los dos métodos anteriores, sin barras de sujeción para las juntas internas. Con la salvedad de que en el método (a), se evitará una abertura mayor de 1 mm, en las grietas.

El último método no es tan eficiente como los anteriores, porque difícilmente se puede evitar contracciones mayores de 1 mm, sobre todo cuando se combina con el primero.

➤ **JUNTAS LONGITUDINALES DE CONTRACCIÓN**

Son juntas que dividen los carriles de tráfico y controlan el agrietamiento, en lugares donde se colocan dos o más secciones de un mismo carril simultáneamente. Las juntas longitudinales de contracción sirven para dividir los carriles de tráfico y para controlar el agrietamiento donde se colocan simultáneamente dos o más anchos de carril, este tipo de juntas resulta necesarias cuando el ancho de la losa sobrepasa 4.5 metros (ver fig. 24 y 25).

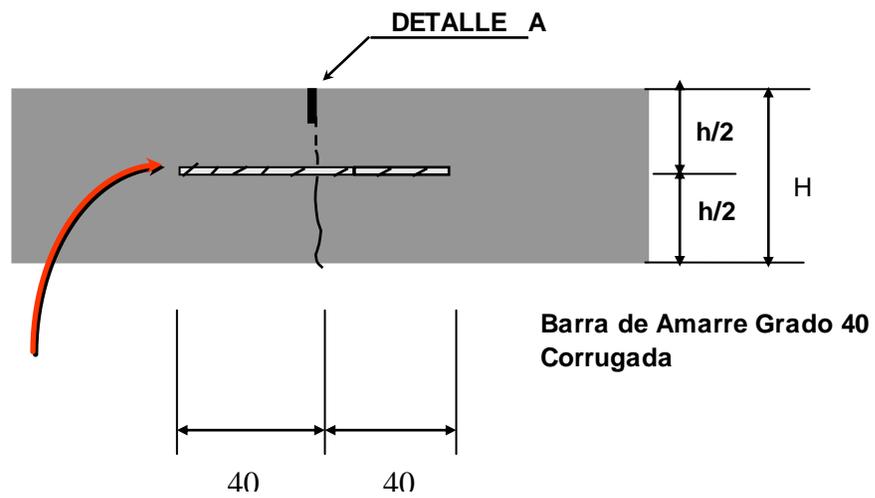


Fig. 24. Junta longitudinal de contracción

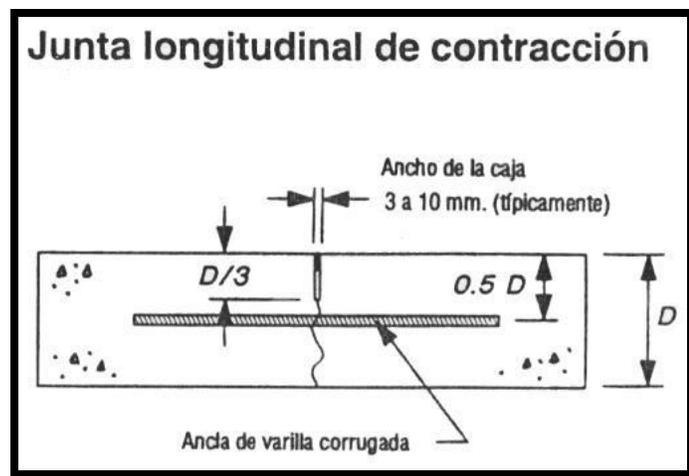


Fig. 25. Junta longitudinal de contracción

➤ JUNTAS LONGITUDINALES DE CONSTRUCCIÓN

Son aquellas que sirven para unir carriles que se pavimentan con pasadas separadas. Se incluye los acotamientos de concreto y los carriles de circulación. Por medio de machimbre y/o anclas se consigue la transferencia de cargas (ver fig. 26, 27 y 28).

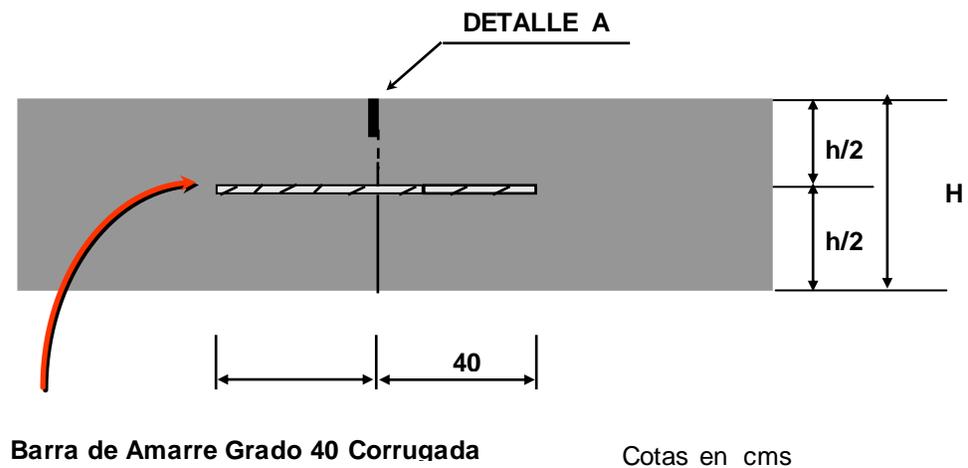
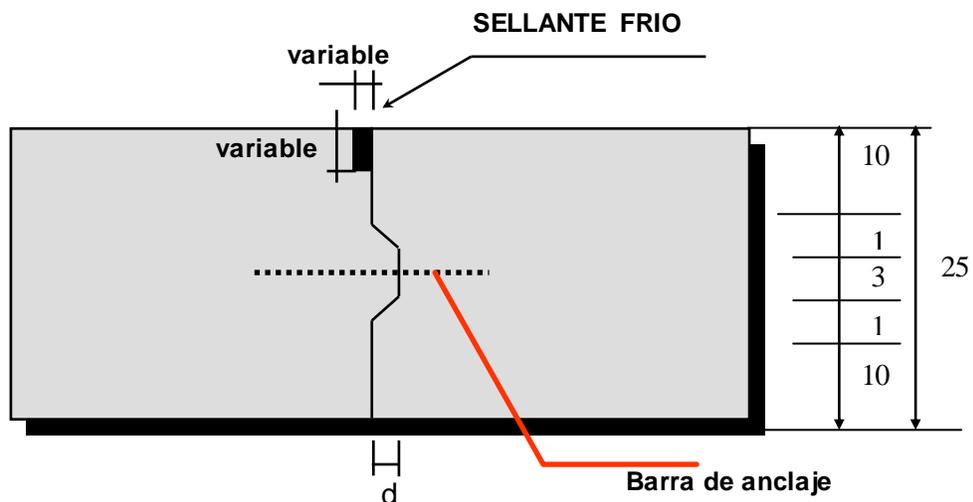


Fig. 26. Junta longitudinal de construcción



OBS: Dimensiones en cm
 Junta machihembrada opcional en pavimentos de más de 25 cm.

Fig. 27. Junta longitudinal de construcción

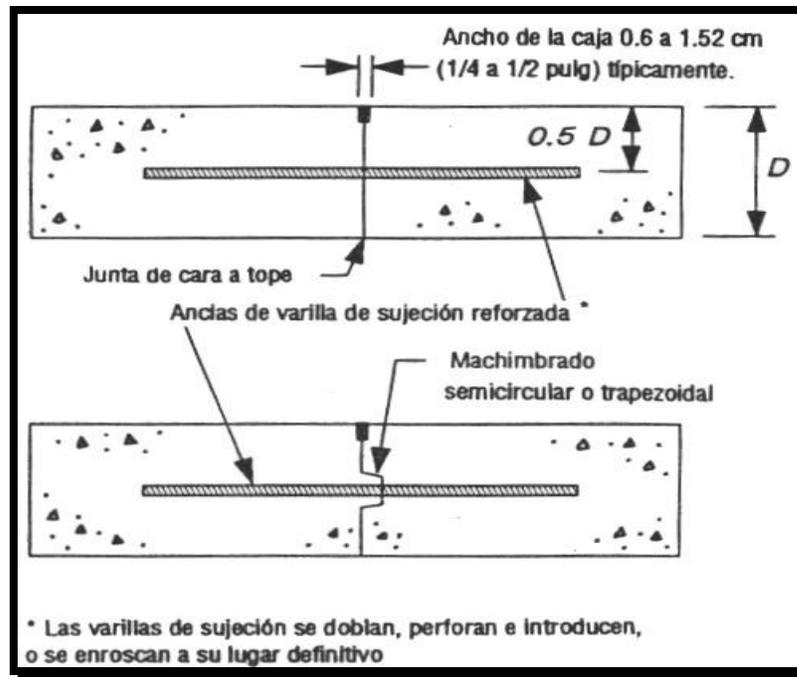


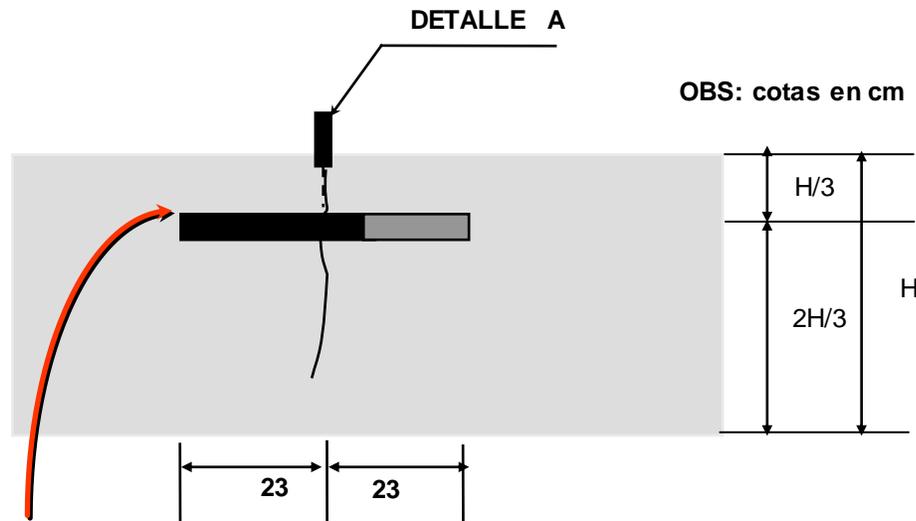
Fig. 28. Junta longitudinal de construcción

2.13.2. JUNTAS TRANSVERSALES

➤ JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCIÓN

Son las juntas que se construyen transversalmente a la línea central del pavimento y están debidamente espaciadas para controlar la fisuración generada por la retracción y por los cambios de humedad y temperatura. Estas juntas, generalmente son perpendicularmente a los bordes y a la línea central del pavimento (ver fig. 29). Algunos autores recomiendan cortar las juntas de contracción con esviaje para ayudar a disminuir el impacto de las cargas dinámicas a través de las juntas, porque eliminan el paso simultáneo de las ruedas del eje sobre la junta.

El diseño adecuado de la junta y la construcción correcta, son actividades críticas en el comportamiento general del pavimento. Muchos problemas derivados de la pérdida de la capacidad de servicio del pavimento se han presentado en juntas mal diseñadas.



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

Fig. 29. Junta Transversal de Contracción

➤ JUNTAS TRANSVERSALES DE DILATACION

Según la ACPA (Asociación Americana de Pavimentos de Concreto) son aquellas juntas que se colocan en lugares que permiten el movimiento del pavimento, sin dañar la estructura adyacente (puentes, estructuras de drenaje, etc.) o el propio pavimento (ver fig. 30 y 31). Los pavimentos para carreteras no necesitan generalmente juntas transversales de dilatación, los estudios de pavimentos carreteros en servicio y experimentales indican que las juntas de dilatación solo se requieren en estructuras fijas.

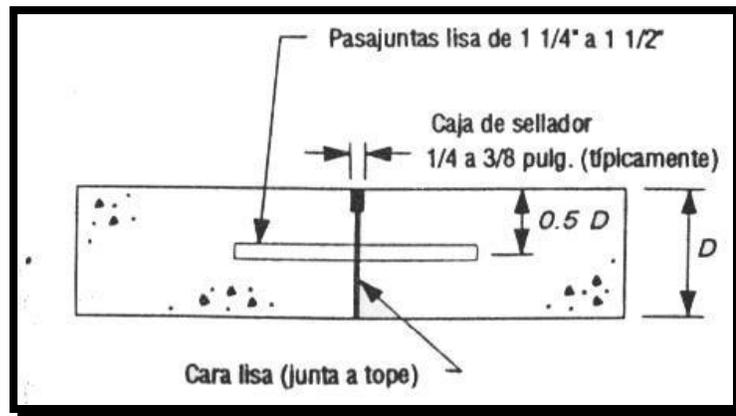


Fig. 30. Junta transversal de dilatación

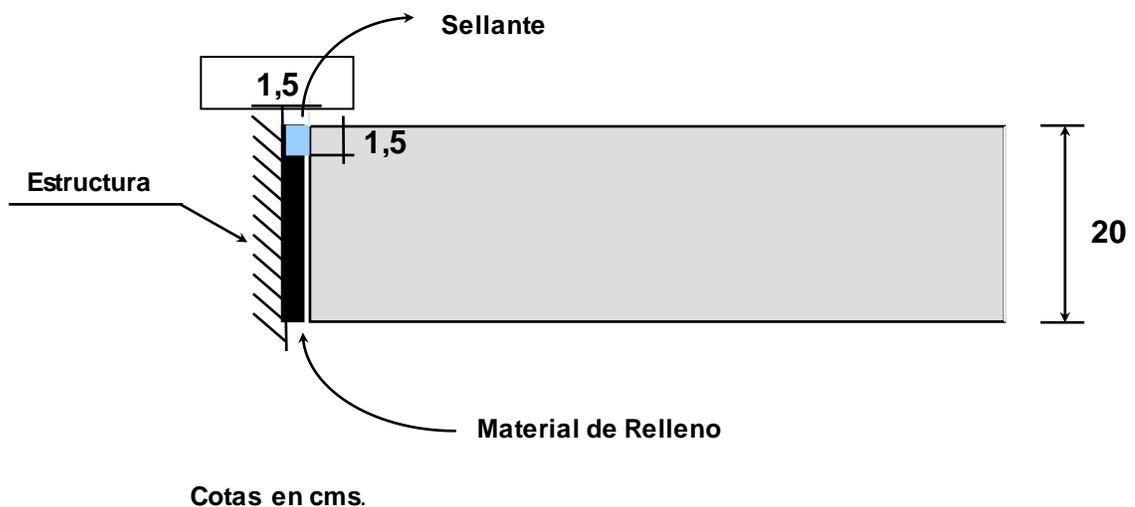


Fig. 31. Junta transversal de expansión

➤ JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRUCCION

Son juntas que se instalan al término de la operación diaria de colocación del pavimentación o cuando ocurre otro tipo de interrupción. Las interrupciones más comunes se presentan en los puentes, intersecciones y paros de emergencia. En cada caso debe de ser posible, colocar una junta transversal de construcción en el mismo lugar que le corresponda una junta transversal de contracción.

En caso contrario la colocación debe de hacerse dentro del tercio medio del tablero proyectado, las juntas transversales de construcción siempre se orientan perpendiculares al eje de trazo, aún cuando las juntas de contracción estén enviadas. Estas juntas se colocan, de ser posible, en el lugar donde se ha proyectado tener una junta definitiva (ver fig. 32 y 33).

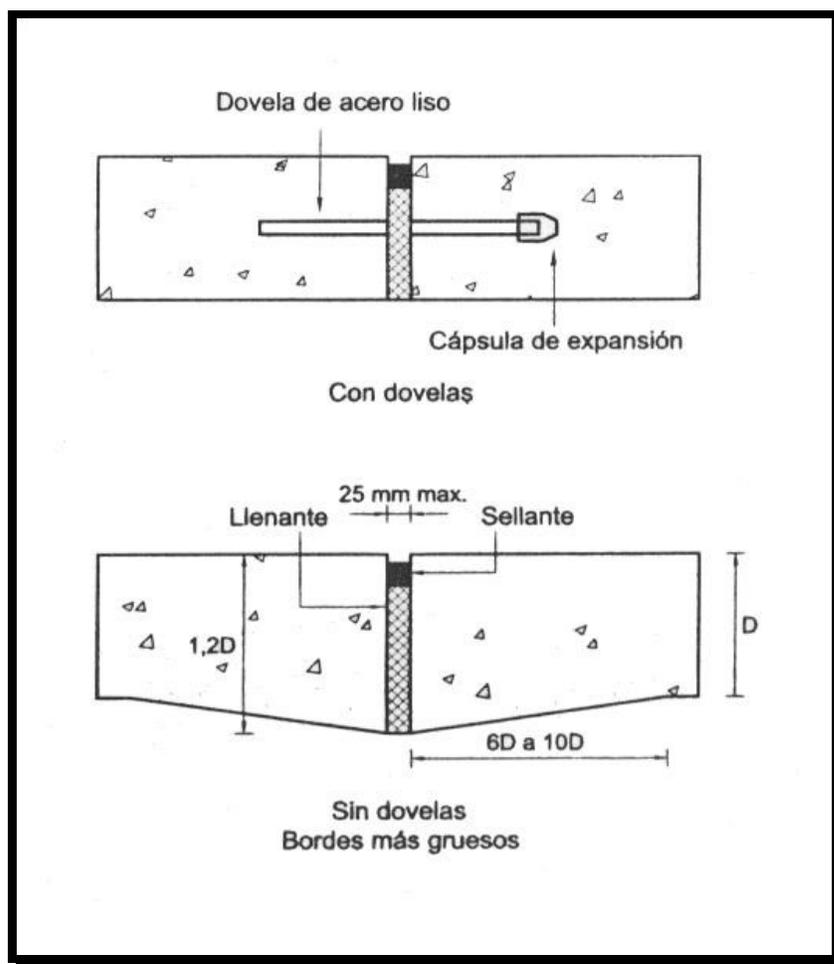
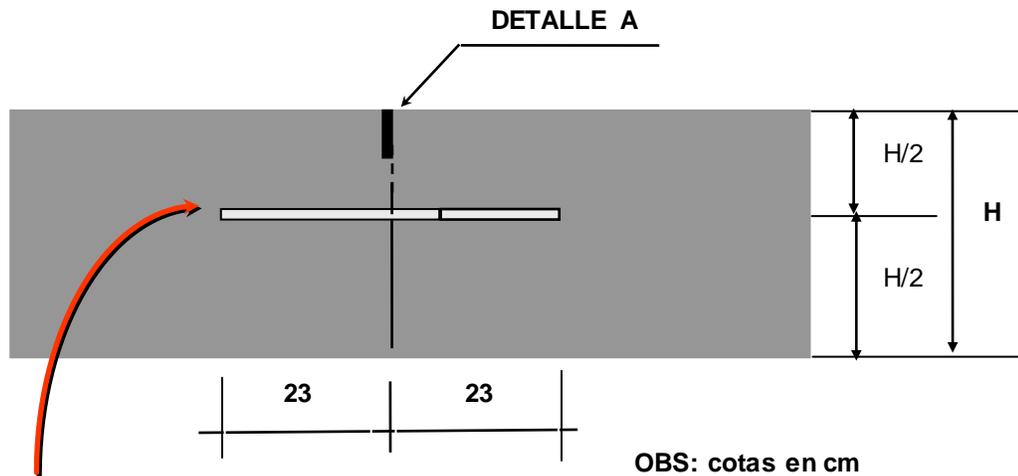


Fig. 32. Junta transversal de construcción



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

Fig. 33. Junta transversal de construcción

2.13.3. JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Este tipo de juntas son las que se dan al final de un colado de las losas de pavimento y pueden ser de dos tipos:

➤ PLANEADAS

Son las que ya están programadas su construcción y terminan exactamente en una junta transversal o longitudinal en todo lo ancho del pavimento. Por lo tanto este tipo de juntas quedan completamente separadas.

➤ EMERGENTES

Son las juntas que se construyen cuando por cualquier imprevisto es necesario detener el colado y la junta no puede ser colada a la misma distancia que el resto de las juntas planificadas, éstas se rigen por las mismas normas de diseño.

2.13.4. JUNTAS ESPECIALES

Como su mismo nombre lo indica, son las juntas que se construyen en casos especiales ya sea por causas del proceso constructivo previsto o no, por nuevas construcciones o por conveniencias en la formas de trabajo de las juntas (ver fig. 34 y 35).

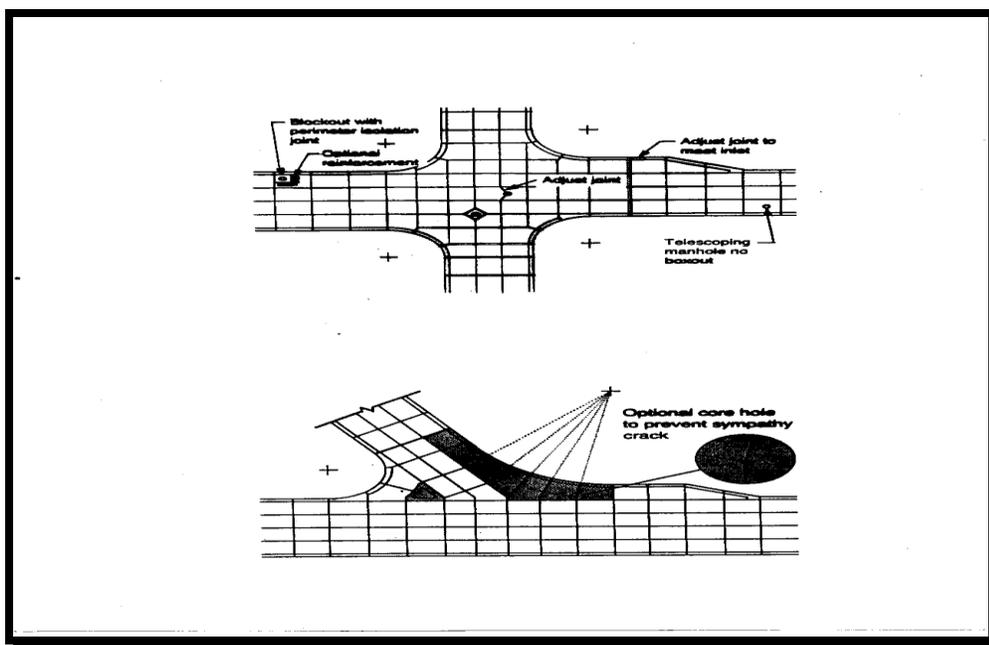


Fig. 34 Juntas especiales

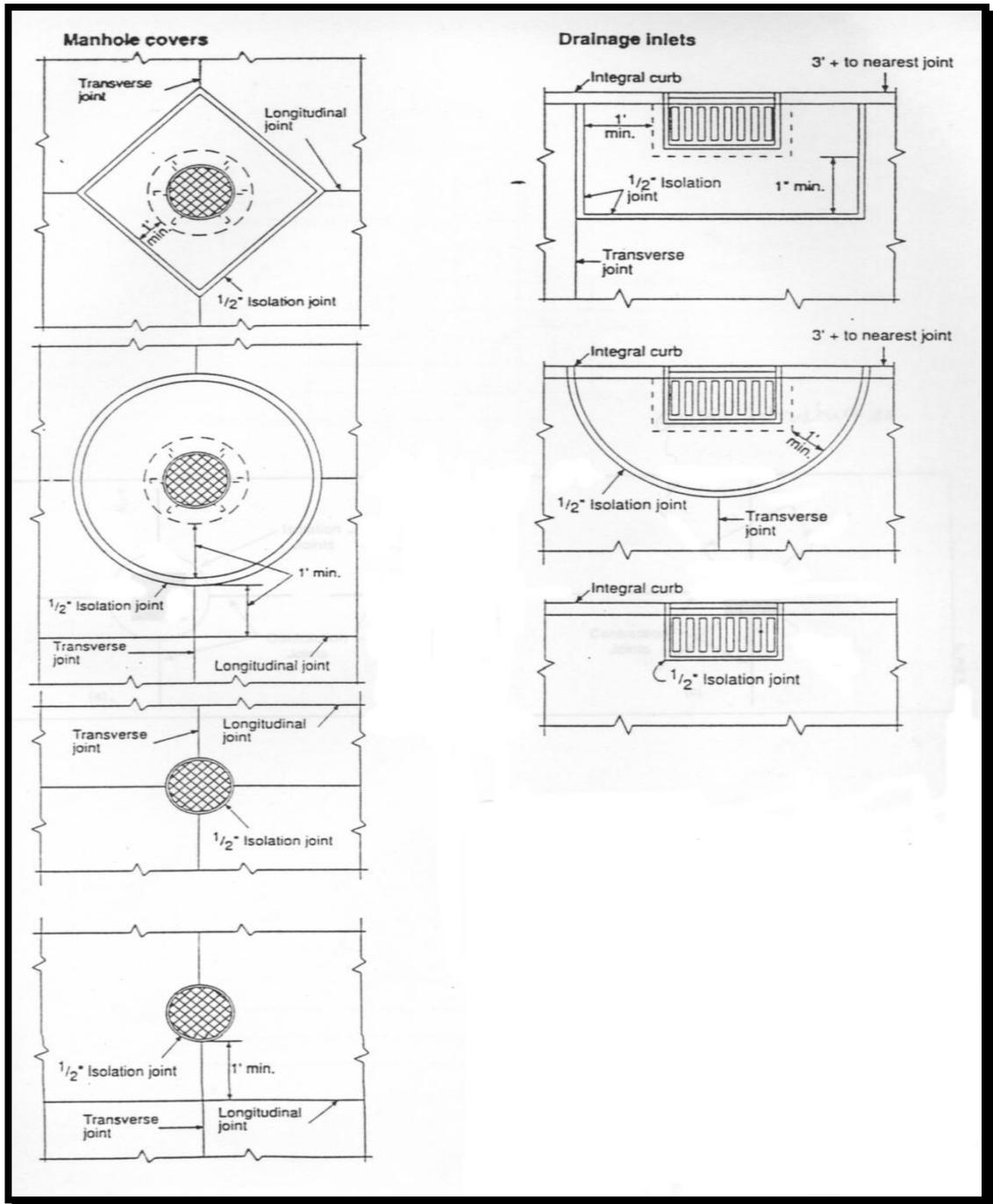


Fig. 35. Juntas especiales

➤ **JUNTAS EN POZOS Y CAJAS**

Son juntas que se construyen para dar aislamiento a estos elementos e inducir el agrietamiento por contracción.

➤ **JUNTAS DE AISLAMIENTO**

Son juntas que separan las partes adyacentes de una estructura de concreto, pero permiten un movimiento relativo y evitan la formación de grietas en cualquier lugar en el concreto.

➤ **JUNTAS DE EXPANSIÓN**

Son juntas que permiten movimientos grandes de cierre, para prevenir el desarrollo de compresión lateral entre losas adyacentes; normalmente son usadas para aislar las estructuras por ejemplo un puente, etc.

➤ **JUNTAS DE DESLIZAMIENTO**

Son aquellas que permiten movimientos laterales, en el plano de las caras a tope de la junta. Como no es posible poner refuerzo alguno, se engruesa el espesor tal que como se vio en las juntas de expansión. Estas juntas se colocan en la unión de dos pavimentos o si es posible en una junta longitudinal, donde no exista continuidad en las juntas transversales, por limitaciones en el diseño.

➤ **JUNTAS DE EMERGENCIA**

Son juntas que se realizan en lugares no planeados, por algún tipo de interrupción o paros de emergencia, son juntas cuadradas entre dos miembros y no se benefician de la trabazón del agregado, por lo tanto es necesario colocar pasadores garantizando la transferencia de cargas.

➤ **JUNTAS DE AMPLIACIONES**

Es necesario colocarlas cuando se termina de colar un pavimento en un lugar y se tenga proyectado seguir construyendo, como por ejemplo la construcción del proyecto Rehabilitación de la Autopista San Salvador-Comalapa-Aeropuerto, en la que fue necesario dejar juntas de ampliaciones en las entradas de los diferentes municipios, ya que las municipalidades involucradas tiene proyectado continuar con el proyecto vial.

El pavimento construido queda totalmente desprotegido, el cual puede sufrir daños severos debido a la erosión o por las cargas de los vehículos, por tanto al construirse el nuevo pavimento, el antiguo ya debería de estar reforzado por posibles daños que se pudieron haber generado con el paso del tiempo antes de construir el pavimento nuevo; el objetivo de la construcción de una junta de ampliación es proteger al antiguo pavimento contra las inclemencias del tiempo.

2.13. BARRAS DE ANCLAJE Y DOVELAS

Estas son constituidas con el propósito de mantener unidas las losas y para transmisión de cargas entre ellas respectivamente.

2.14.1. BARRAS DE ANCLAJE O BARRAS DE AMARRE

Estas son barras de acero corrugado se usan generalmente a través de las juntas longitudinales, especialmente en condiciones de confinamiento lateral tráfico pesado, o cuando se realizan colados en diferentes tiempos; cabe aclarar que las barras de amarre no son dispositivos de transferencias de carga, simplemente trabajan a tensión, que son provocados por los esfuerzos de fricción entre las barras corrugadas, concreto y la sub-rasante. Las barras de anclaje para cualquier junta longitudinal que las requiera, se diseñan para resistir la fuerza de tensión generada por la fricción entre las losas del

pavimento y la sub-base o sub-rasante, la sección transversal de acero por unidad de longitud de la junta se puede calcular con base a la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{b * f * w}{F_s}$$

Donde:

A_s = área de acero por unidad de longitud de junta (cm^2/m).

b = distancia entre las juntas en relación al borde libre del pavimento, corresponde normalmente al ancho de el carril.

f = coeficiente de fricción entre losas y suelo (1.5).

w = peso de la losa por unidad de área (kg/m^2).

2.14.2. DOVELAS O PASADORES

Las dovelas o pasadores de acero lisas, se usan generalmente a través de las juntas transversales para transmisión de cargas entre las losas del pavimento. Estas barras deben permitir que la junta pueda abrirse y cerrarse pero manteniendo juntos a un mismo nivel los bordes de la losa.

El diámetro de la barra en función del espesor se indica en la tabla N° 6, se observa que estas pasajuntas no deberán tener una longitud mayor a 45 cm, con un espaciamiento a cada 30 cm.

ESPELOR DEL PAVIMENTO	DIAMETRO DEL PASADOR		LONGITUD TOTAL (cm)	SEPARACION ENTRE CENTROS (cm)
	(cm)	(Plg)		
10	1.27	1/2	25	25
11-13	1.59	5/8	30	30
14-15	1.91	3/4	35	30
16-18	2.22	7/8	35	30
19-20	2.54	1.0	35	30
21-23	2.86	1 1/8	40	30
24-25	3.18	1 1/4	45	30
26-28	3.49	1 3/8	45	30
29-30	3.81	1 1/2	50	30

Tabla N° 6. Diámetro de dovelas o pasadores

Fuente: Curso Colombiano de Pavimentos

2.15. DAÑOS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

2.15.1. ORIGEN DE LOS DAÑOS

Los daños en los pavimentos de concreto hidráulico son ocasionados por diversos factores, entre los cuales podemos mencionar:

➤ HUMEDAD

Los daños en el pavimento de concreto hidráulico causados por la presencia de agua en cada una o en una de las capas que lo conforman, se deben a los siguientes factores:

- a) Filtración de agua por las grietas, vacíos o juntas del pavimento.
- b) Sistema de drenaje inadecuado.
- c) Lateralmente, a través del suelo de la sub-rasante.
- d) La acción de la capilaridad cuando el nivel freático se encuentra superficial.

➤ DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES EN CUALQUIERA DE LAS CAPAS QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Las deficiencias estructurales son debidas a diferentes causas, entre las cuales podemos mencionar:

- a) Diseño inadecuado de la estructura del pavimento, no lográndose así el objetivo funcional y estructural que ésta debe cumplir.
- b) Defectos por mal proceso constructivo.
- c) La calidad de los materiales utilizados en la estructura del pavimento no es la adecuada para la misma.
- d) Sobrecargas aplicadas a la estructura.
- e) Incremento de tránsito no considerado cuando se realizó el estudio de tráfico.

- f) Mal mantenimiento de la estructura del pavimento.
- g) Drenajes no adecuados para el tipo de estructura del pavimento.

➤ **CONDICIONES CLIMÁTICAS Y AMBIENTALES**

Las condiciones climáticas y ambientales son factores que al igual que los anteriores afectan la estructura del pavimento. Los principales son:

- a) Las precipitaciones o sequías anormales.
- b) Las temperaturas extremas.

2.15.2. TIPOS DE DAÑOS EN EL PAVIMENTO

➤ **AGRIETAMIENTOS**

❖ **ROTURAS DE ESQUINA**

▪ **Descripción**

Una porción de la losa separada por una grieta que intercepta las juntas adyacentes transversal y longitudinal, describiendo un ángulo de 45° en la dirección del tránsito. La longitud de los lados varía de 0.3 m a un medio del ancho de la losa, en cada lado de la esquina. Las grietas 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.

■ Niveles de severidad

Se definen tres niveles de severidad (**Baja**, **Moderada** y **Alta**) considerando la severidad misma de la grieta que la origina, como el estado del pavimento comprendido por la misma y los bordes de la losa, de acuerdo con la siguiente clasificación:

Baja:

- * La grieta no está desportillada en más del 10% de la longitud de la grieta.
- * No existe escalonamiento medible.
- * El fragmento de la esquina no está roto en dos o más piezas.

Moderada:

- * La grieta está desportillada con una severidad baja en más del 10% de su longitud total.
- * El escalonamiento de la grieta o la junta es < 13 mm.
- * El fragmento de la esquina no está roto en dos o más piezas.

Alta:

- * La grieta está desportillada con una severidad de moderada a alta en más del 10% de su longitud total.
- * El escalonamiento de la grieta adjunta es ≥ 13 mm.
- * El fragmento de la esquina está roto en dos o más piezas.

➤ **Forma de medición**

Las grietas 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 grietas de esquina. Se contabiliza como una losa cuando ésta:

- * Contiene una única grieta de esquina.
- * Contiene más de una grieta del mismo nivel de severidad.
- * Contiene dos o más grietas 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.

➤ **Esquema y fotografía**

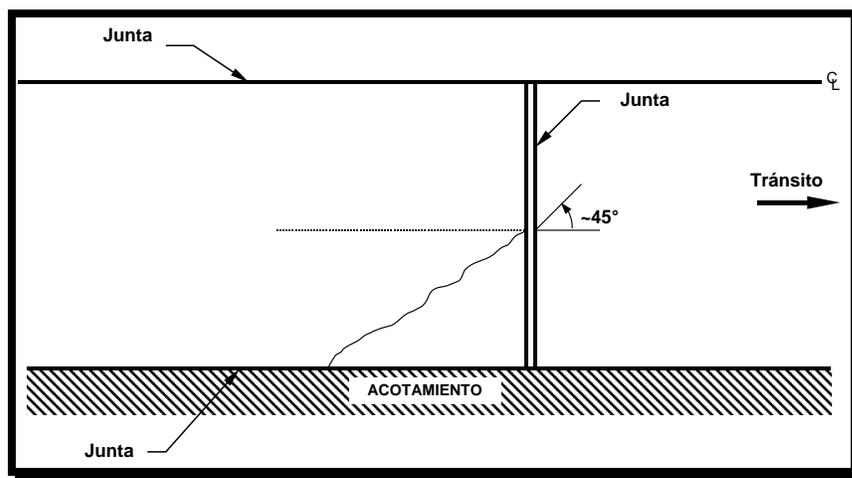


Fig. 36. Rotura de esquina

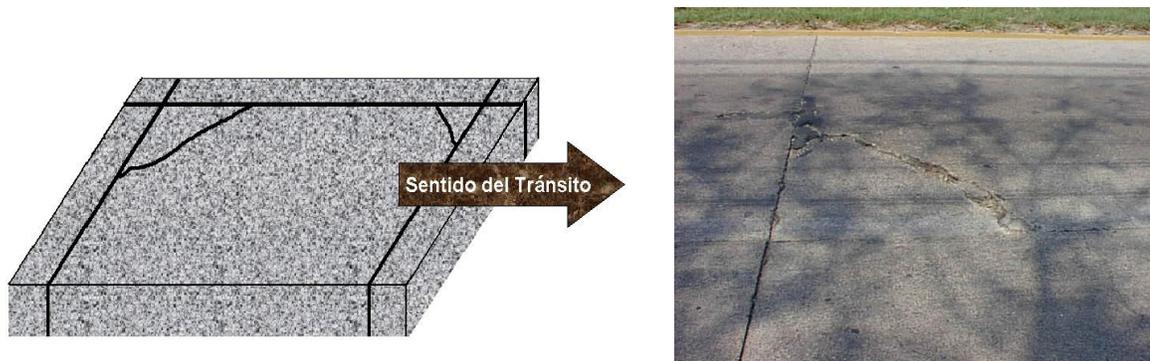


Fig. 37. Rotura de esquina con severidad alta

❖ AGRIETAMIENTO TIPO “D”

▪ Descripción

Patrón de agrietamiento delgado cercanamente espaciado con apariencia de cuarto de luna. Ocurre adyacente a las juntas, grietas u orillas libres; con inicio en las esquinas de la losa. De coloración oscura en el patrón de agrietamiento y el área circunvecina.

▪ Posibles causas

Reactividad álcali-sílice de los agregados que conforman el pavimento, cuando éstos se congelan y expanden.

▪ Niveles de severidad

Se definen tres niveles de severidad (**Baja**, **Moderada** y **Alta**) de acuerdo con la siguiente clasificación:

Baja:

- * Las grietas “D” están muy compactadas, sin piezas sueltas o faltantes.
- * No hay bacheos en el área afectada.

Moderada:

- * Las grietas “D” están bien definidas.
- * Algunas piezas pequeñas del pavimento están sueltas o han sido desplazadas.

Alta:

- * El agrietamiento “D” tiene un patrón bien desarrollado, con una cantidad significativa de material suelto o faltante.
- * Las piezas desplazadas, de hasta 0.1 m² puede haber sido bacheadas.

▪ Forma de medición

Se registra el número de losas con agrietamiento “D” y los metros cuadrados del área afectada para cada nivel de severidad. La clasificación de la severidad se basa en el nivel de severidad más alto presente en por lo menos el 10% del área afectada.

▪ Esquema

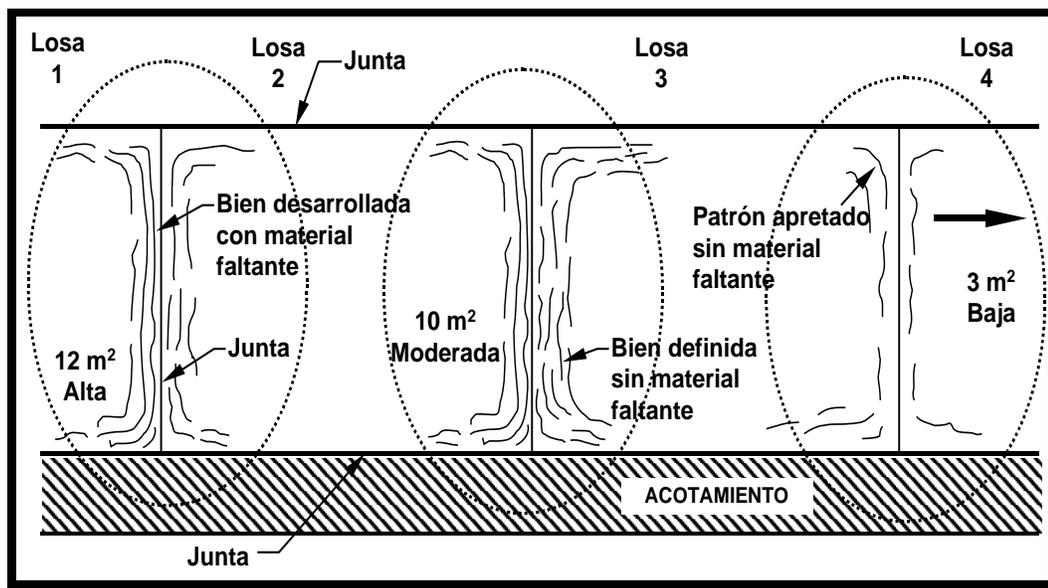


Fig. 38. Agrietamiento tipo "D"

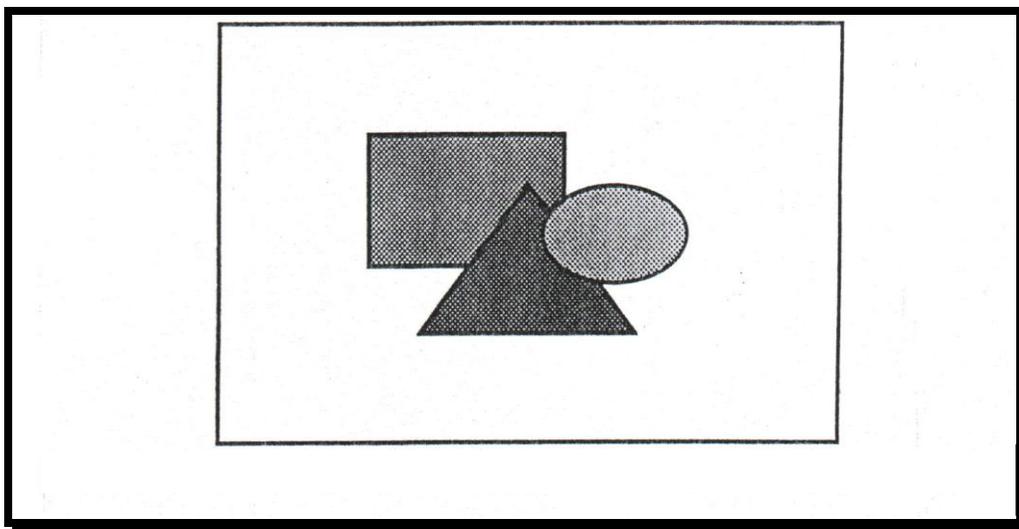


Fig. 39. Agrietamiento "D" con severidad moderada con patrón bien definido

❖ AGRIETAMIENTO 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 grietas longitudinales.

▪ Niveles de severidad

Se definen tres niveles de severidad (**B**aja, **M**oderada y **A**lta) de acuerdo al ancho de la grieta, condición y estado de los bordes, según la siguiente clasificación:

Baja:

- * Grietas finas, no activas, de ancho promedio < 3 mm.
- * Grietas selladas de cualquier ancho, con el material de sello en condición satisfactoria; sin desportillamiento y/o escalonamientos no medibles.

Moderada:

- * Grietas activas, de ancho promedio ≥ 3 mm y < 13 mm.
- * Desportillamiento < 75 mm.
- * Grietas selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición insatisfactoria y/o desportillamiento y/o escalonamiento menor de 13 mm.

Alta:

- * Anchos de las grietas ≥ 13 mm.
- * Desportillamiento ≥ 75 mm.
- * Grietas selladas o no, de cualquier ancho con escalonamiento > 13 mm.

■ **Forma de medición**

Se registra la longitud en metros de los agrietamientos longitudinales para cada nivel de severidad.

También se registra la longitud en metros de los agrietamientos longitudinales con sello en buenas condiciones para cada nivel de severidad.

- Esquema y fotografía

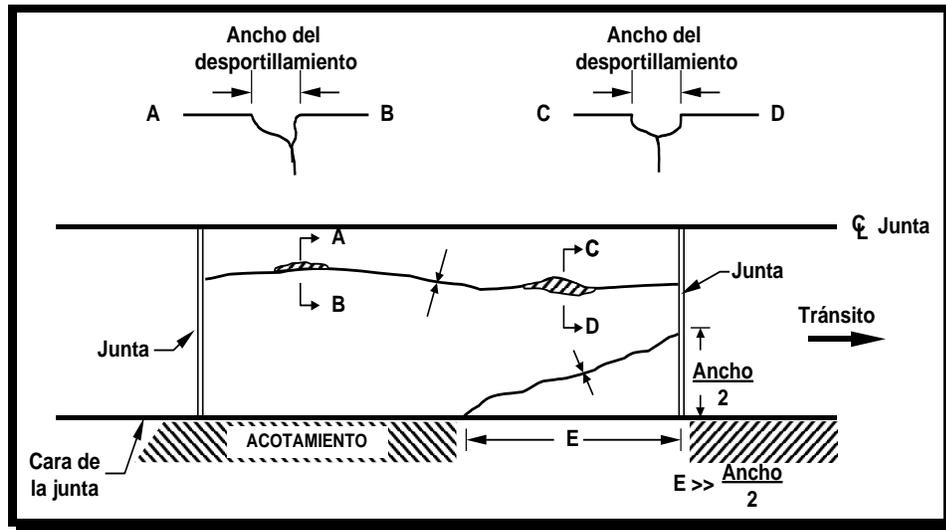


Fig. 40. Agrietamiento longitudinal

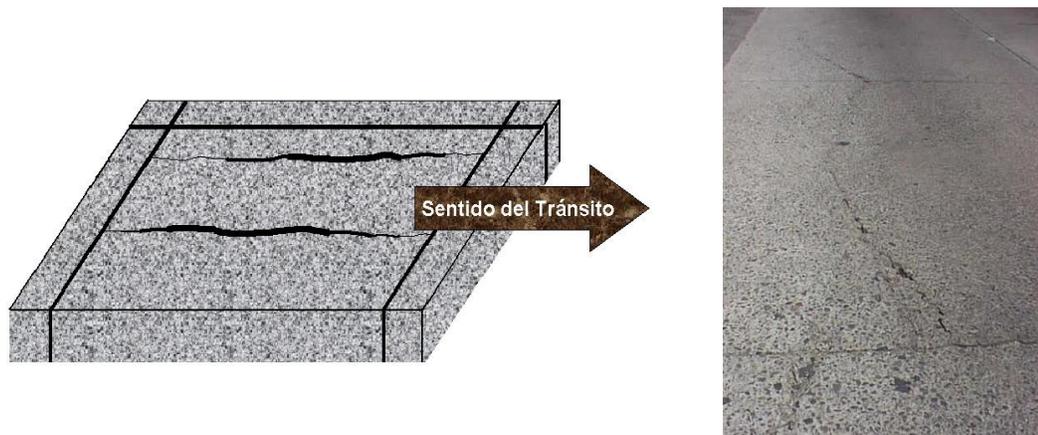


Fig. 41. Agrietamiento longitudinal con severidad moderada

❖ AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL

▪ Descripción

Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular a la línea central 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 del concreto), 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 grietas transversales, regularmente distribuidas o próximas al centro de las losas, respectivamente. Variaciones significativas en el espesor de las losas provocan también grietas transversales.

▪ Niveles de severidad

Se definen tres niveles de severidad (**Baja**, **Moderada** y **Alta**) de acuerdo a las características de las grietas, según la siguiente clasificación:

Baja:

- * Grietas finas, no activas, de ancho promedio < 3 mm.
- * Grietas selladas de cualquier ancho, con el material de sello en condición satisfactoria; sin desportillamiento y/o escalonamientos no medibles.

Moderada:

- * Grietas activas, de ancho promedio ≥ 3 mm y < 6 mm.
- * Desportillamiento < 75 mm.
- * Grietas selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición insatisfactoria y/o desportillamiento y/o escalonamiento ≤ 6 mm.

Alta:

- * Anchos de las grietas ≥ 6 mm.
- * Desportillamiento ≥ 75 mm.
- * Grietas selladas o no, de cualquier ancho con escalonamiento ≥ 6 mm.

■ Forma de medición

Se registra el número y longitud de las grietas transversales para cada nivel de severidad. Se clasifica toda la grieta transversal para el nivel de severidad más alto presente en por lo menos 10% del total de la longitud de la grieta. La longitud registrada, en metros, es la longitud total de la grieta y se asigna al nivel de severidad más alto presente en por lo menos 10% del total de la longitud de la grieta.

También se registra la longitud, en metros, del agrietamiento transversal para cada nivel de severidad con sellador en buenas condiciones. La longitud registrada, en metros, es la longitud total de la grieta bien sellada y se le asigna al nivel de severidad de la grieta. Se registra únicamente cuando el sellador se encuentre en buenas condiciones en al menos el 90% de la longitud de la grieta.

▪ Esquema y fotografía

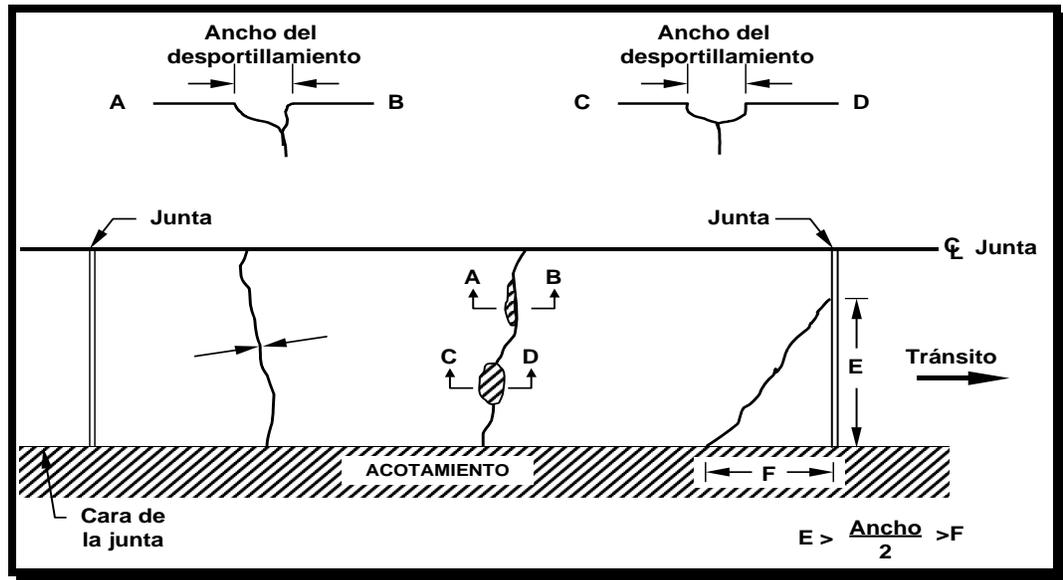


Fig. 42. Agrietamiento transversal

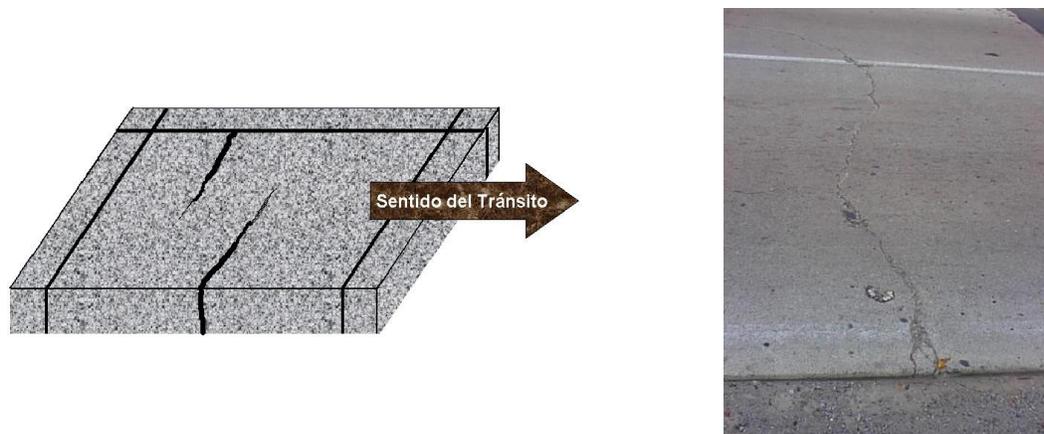


Fig. 43. Agrietamiento transversal con severidad moderada

➤ DEFICIENCIAS DE LAS JUNTAS

▪ 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 desportillamientos de juntas.

❖ DAÑOS DEL SELLO DE LA JUNTA

▪ Posibles causas

Las causas más frecuentes para que el material de sello sea deficiente, son:

- * Endurecimiento por oxidación del material de sello.
- * Pérdida de adherencia con los bordes de las losas.
- * Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas.
- * Escasez o ausencia del material de sello.
- * Material de sello inadecuado.

▪ Tipos de daños

Los tipos más comunes de daños en el sello de las juntas son:

- * Extrusión.
- * Endurecimiento.
- * Falla del adhesivo.
- * Falla cohesiva (separación).
- * Pérdida total del sello de la junta.

✓ DAÑOS DEL SELLO DE LA JUNTA TRANSVERSAL

▪ Niveles de severidad

Se diferencian tres niveles de severidad (**Baja**, **Moderada** y **Alta**) de acuerdo con la siguiente clasificación:

Baja:

- * El material de sello en la junta transversal se encuentra en general en buena condición en toda la sección o muestra evaluada.
- * Algunos de los defectos antes indicados, existe en menos del 10% de la junta; pero no existe riesgo de infiltración de material incompresible.

Moderada:

- * El material de sello se encuentra en general en condición regular, en toda la sección o muestra.
- * Uno o más defectos de la relación arriba indicados ocurren en grado moderado; existe de un 10 - 50% de la junta.
- * El material de sello necesita ser reemplazado en un período de dos años.

Alta:

- * El material de sello se encuentra en general en condición pobre, o bien no existe; en toda la sección o muestra.
- * Uno o más defectos de la relación arriba indicada ocurren con grado de severidad alto, existe en más del 50% de la junta.
- * Las juntas requieren ser selladas o reselladas con la mayor brevedad posible.

- **Forma de medición**

Se indica si las juntas transversales han sido selladas (sí o no). En caso afirmativo, se registra el número de juntas transversales selladas para cada nivel de severidad.

- **Esquema y fotografía**

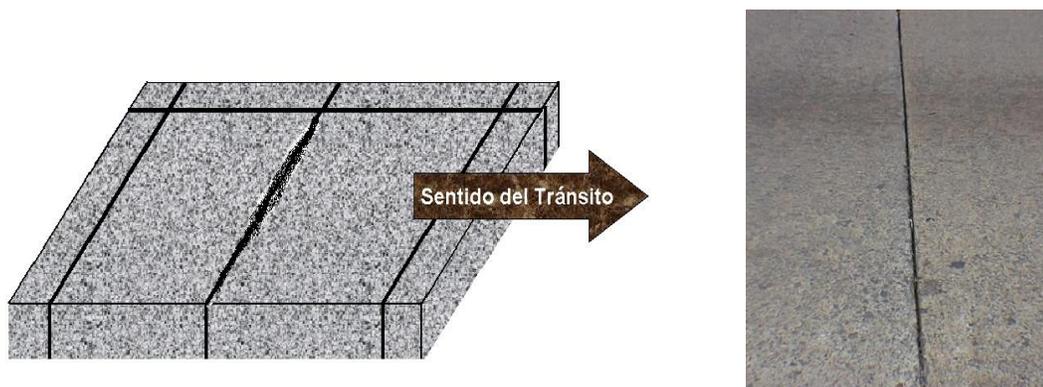


Fig. 44. Daño del sello de la junta transversal con severidad alta

√ **DAÑOS DEL SELLO DE LA JUNTA LONGITUDINAL**

- **Niveles de severidad**

No se aplica.

- **Forma de medición**

Se registra el número de juntas longitudinales que están selladas (0,1,2).

Se registra la longitud total de las juntas longitudinales selladas que presenten sello dañado de la forma ya descrita. Las ocurrencias individuales se registran únicamente cuando tengan al menos un metro de longitud.

- **Fotografía**



Fig. 45. Daño del sello de la junta longitudinal con severidad alta

- ❖ **DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS**

- **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 desportillamientos 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 sobre-acabado 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.

▪ Niveles de severidad

Se definen tres niveles de severidad (**B**aja, **M**oderada y **A**lta) combinando el estado de las "piezas" que se forman por el fracturamiento en contacto con la junta, así como el ancho y longitud afectadas, de acuerdo con la siguiente clasificación:

Baja:

- * Desportillamientos menores de 75 mm de ancho, medidos hacia el centro de la junta, con pérdida de material.
- * Desportillamientos sin pérdida de material y sin bacheo.

Moderada:

Desportillamientos de 75 mm a 150 mm de ancho, medidos hacia el centro de la junta, con pérdida de material.

Alta:

Desportillamientos mayores a 150 mm de ancho, medidos hacia el centro de la junta, con pérdida de material.

✓ DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS LONGITUDINALES

▪ Forma de medición

Se registra la longitud en metros de los desportillamientos de la junta longitudinal para cada nivel de severidad.

▪ Esquema y Fotografía

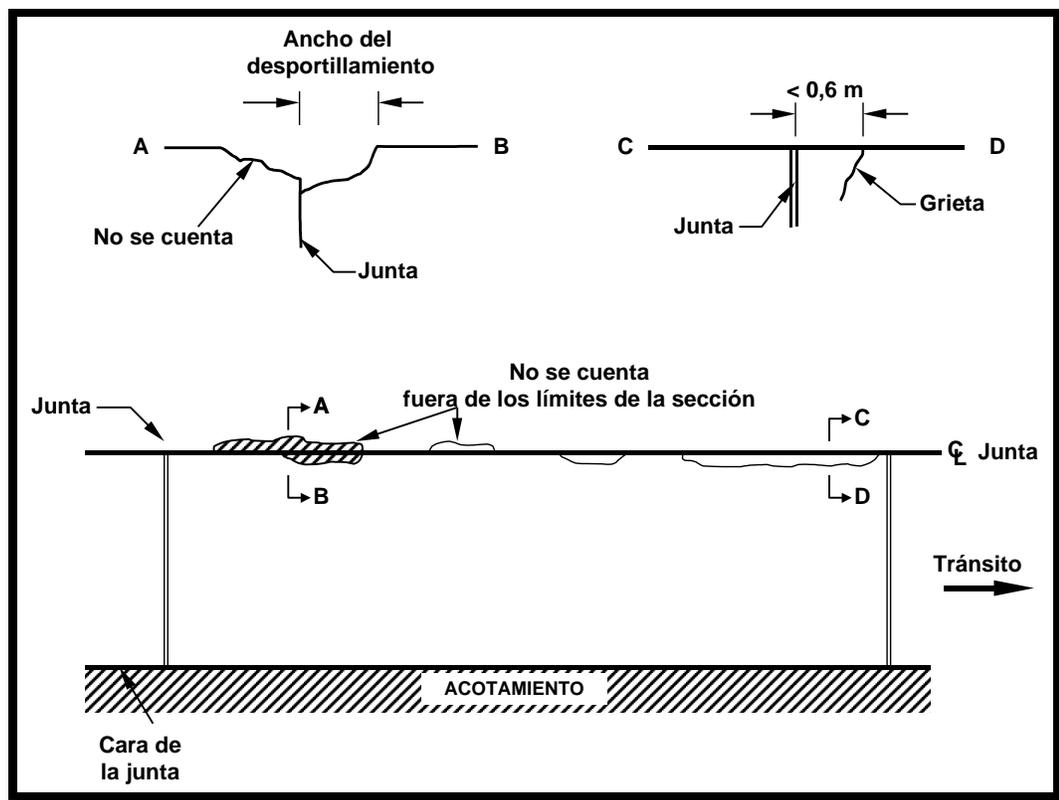


Fig. 46. Desportillamiento de las juntas longitudinales

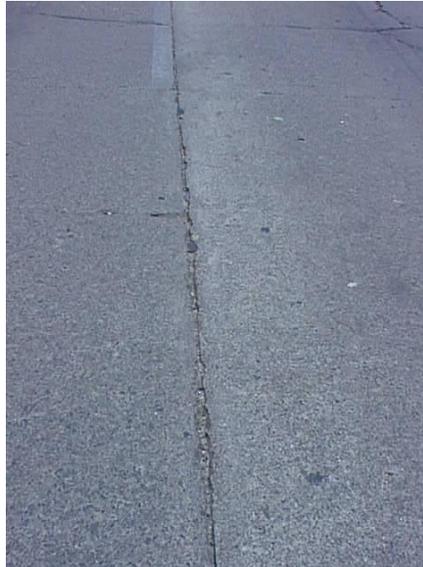


Fig. 47. Desportillamiento de la junta longitudinal con severidad moderada

√ **DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES**

▪ **Forma de medición**

Se registra el número de juntas transversales afectadas para cada nivel de severidad. Se clasifica toda la junta transversal en el nivel más alto de severidad presente en al menos 10% del total de la longitud de la junta.

▪ Esquema y fotografía

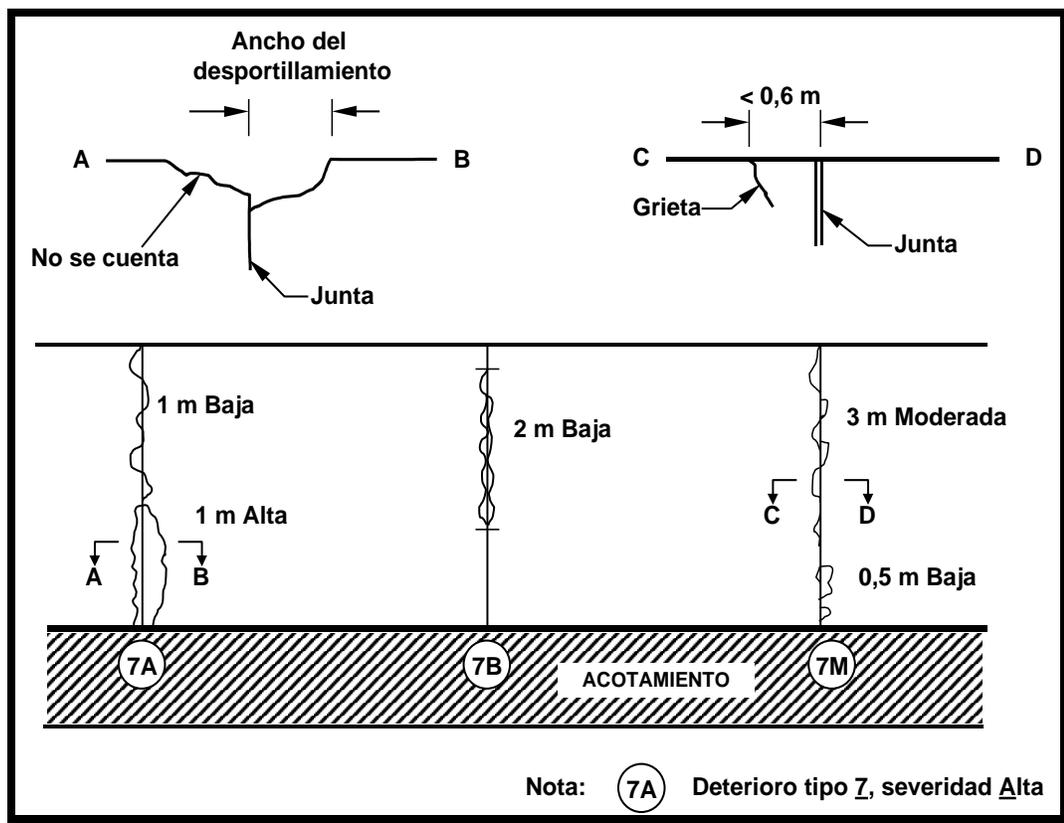


Fig. 48. Desportillamiento de las juntas transversales

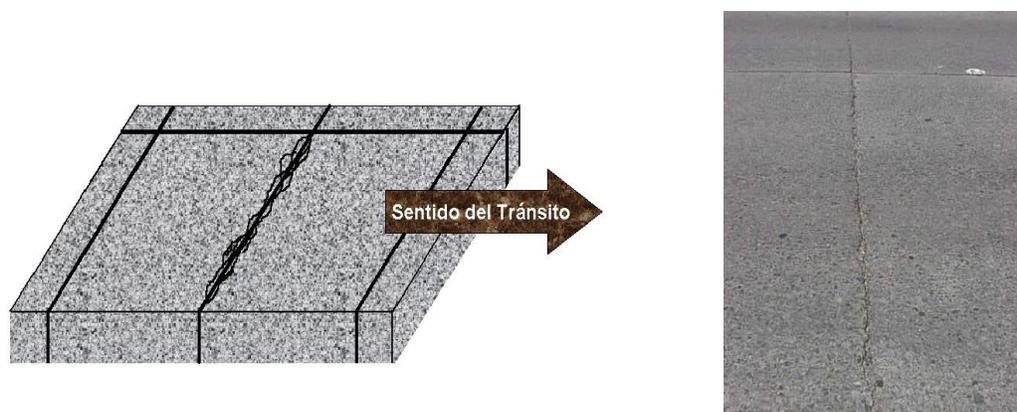


Fig. 49. Desportillamiento de la junta transversal con severidad moderada

➤ **DEFECTOS DE LA SUPERFICIE**

❖ **AGRIETAMIENTO TIPO MAPA**

▪ **Descripción**

Serie de agrietamientos que se presentan únicamente en la superficie de la losa. Frecuentemente unas grietas mayores están orientadas a la dirección longitudinal del pavimento y están interconectadas por grietas más finas transversales en forma aleatoria.

▪ **Posibles causas**

Esto puede ocurrir cuando el curado del concreto es inapropiado, exceso de amasado superficial y/o adición de agua durante el alisado de la superficie, acción del clima o de productos químicos (en zonas de clima frío) y además por la mala construcción del pavimento.

▪ **Niveles de severidad**

No se aplica.

▪ **Forma de medición**

Se registra el número de ocurrencias y los metros cuadrados del área afectada.

- **Fotografía**



Fig. 50. Agrietamiento tipo mapa

- ❖ **ESCAMADURAS**

- **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.).

- **Niveles de severidad**

Se diferencian tres niveles de severidad (**Baja**, **Moderada** y **Alta**) según la magnitud de los desprendimientos, de acuerdo con la siguiente clasificación:

Baja:

Pequeñas escamaduras muy superficiales, puntuales o concentradas en pequeñas áreas, como remiendos.

Moderada:

Escamaduras generalizadas, se extienden en la superficie dando lugar a una textura abierta, pero los desprendimientos se limitan a material fino, solo superficialmente.

Alta:

Escamaduras generalizadas, se extienden en la superficie dando lugar a una superficie muy rugosa, con desprendimiento de agregado grueso formando cavidades o pequeños baches superficiales.

- **Forma de 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.

- **Esquema y Fotografía**

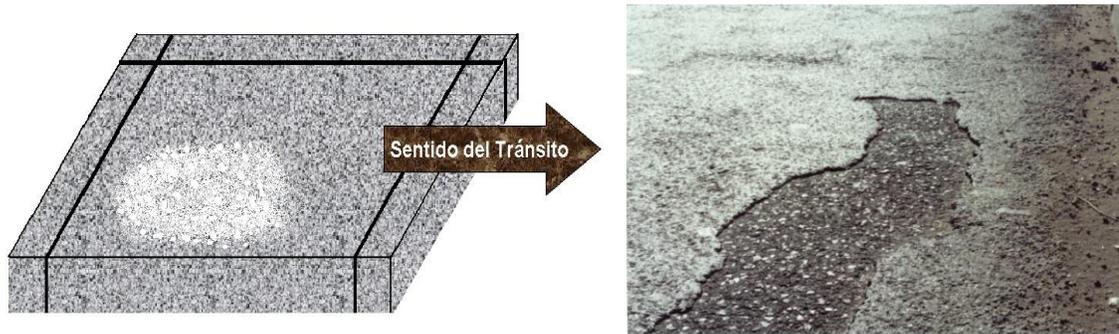


Fig. 51. Escamadura

- ❖ **PULIMIENTO DEL AGREGADO (DESGASTE DE LA SUPERFICIE)**

- **Descripción**

Mortero superficial y texturizado gastado exponiendo el agregado grueso; provocando una superficie de rodamiento excesivamente lisa por efecto del pulimiento del agregado 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 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 éste presenta una superficie suave al tacto.

- **Niveles de severidad**

No se aplica. Sin embargo, el grado de pulimiento se puede reflejar en la reducción de la fricción de la superficie. El grado de pulimiento de la superficie debe ser significativo para ser informado.

- **Forma de medición**

Se registran los metros cuadrados del área afectada.

- **Esquema y Fotografía**

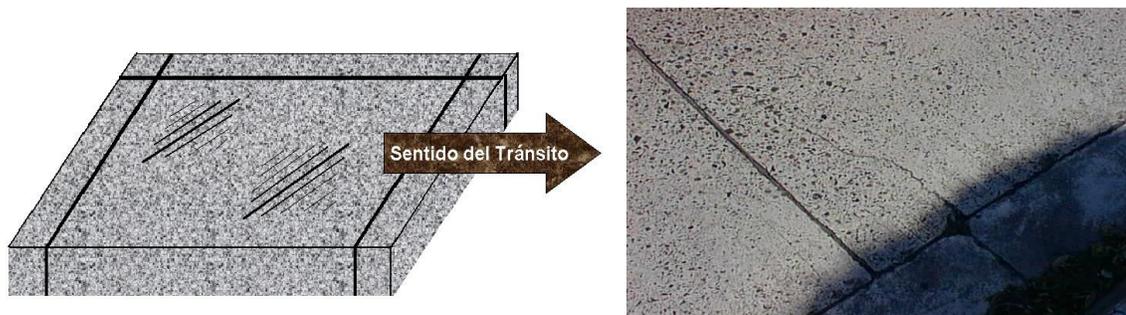


Fig. 52. Pulimiento del agregado

❖ DESPRENDIMIENTOS

▪ Descripción

Fragmentos pequeños del pavimento que se sueltan de la superficie, normalmente en un rango de 10 mm a 25 mm de diámetro y una profundidad de 13 mm a 50 mm.

▪ Niveles de severidad

No se aplica. Sin embargo, los niveles de severidad se pueden definir en relación a la intensidad de los desprendimientos de acuerdo a su medición.

▪ Forma de medición

Se registra el número de desprendimientos por metro cuadrado.

▪ Esquema y Fotografía

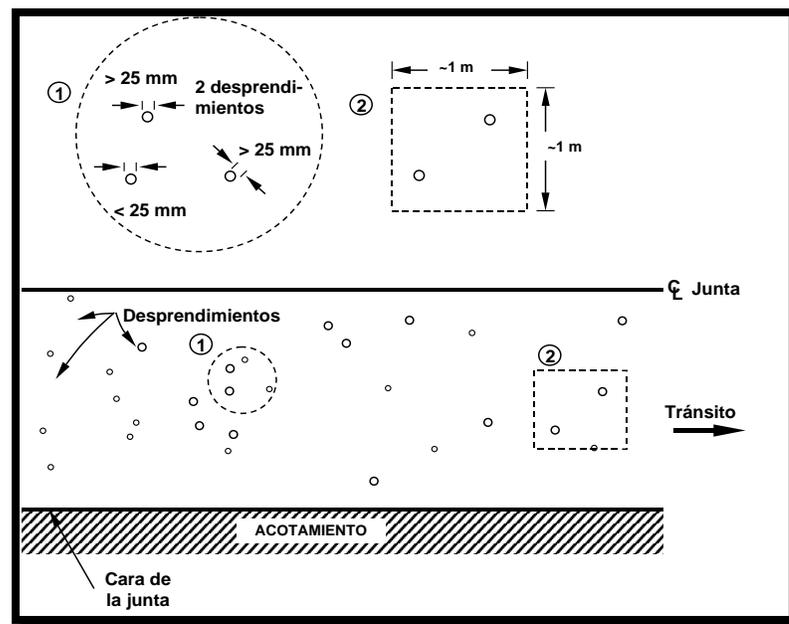


Fig. 53. Desprendimientos



Fig. 54. Desprendimientos

➤ **DETERIOROS DIVERSOS**

❖ **ESTALLAMIENTOS**

▪ **Descripción**

Movimiento ascendente localizado de la superficie del pavimento en las juntas transversales o grietas, a menudo acompañados de la destrucción del concreto en esa área.

▪ **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.

- **Niveles de severidad**

Según la incidencia en la comodidad de manejo, se diferencian tres niveles de severidad (**Baja**, **Moderada** y **Alta**) de acuerdo con la siguiente clasificación:

Baja:

Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a velocidad de operación promedio.

Moderada:

Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir velocidad de circulación.

Alta:

El estallamiento causa un excesivo salto del vehículo, generando la pérdida de control del mismo, una sustancial incomodidad, y/o riesgo para la seguridad y/o daños al vehículo, siendo necesario reducir drásticamente la velocidad.

- **Forma de medición**

Los estallamientos 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:

- * Estallamiento en grieta cuenta como una losa afectada.
- * Estallamiento en juntas se cuenta como dos losas afectadas.

▪ Esquema y Fotografía

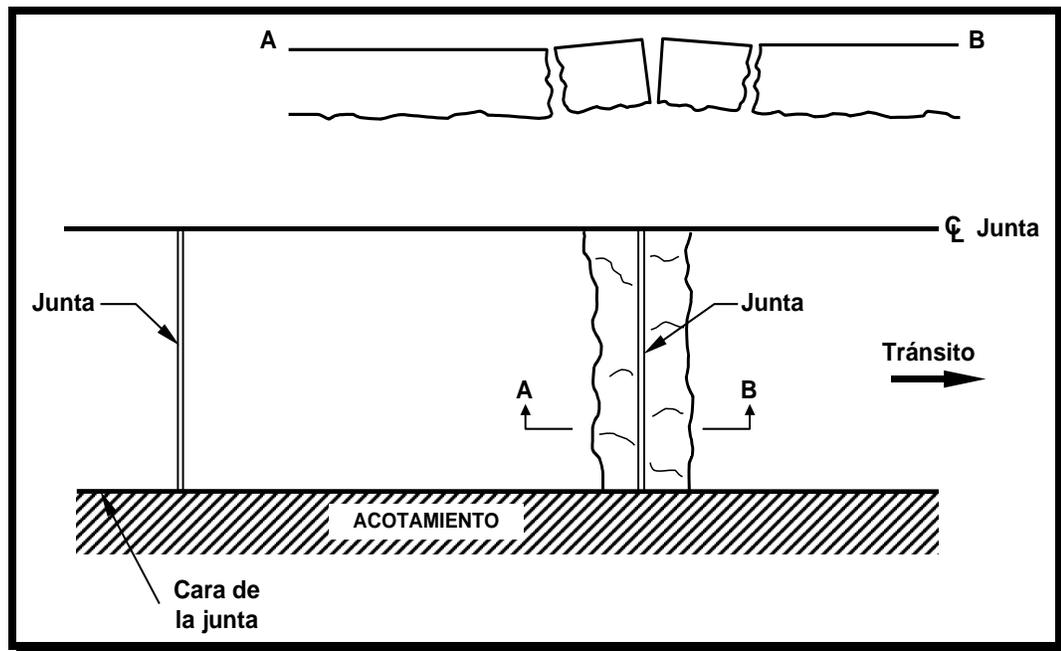


Fig. 55. Estallamientos



Fig. 56. Estallamiento con severidad alta

❖ ESCALONAMIENTO DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES Y GRIETAS

▪ 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 grietas.

▪ 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.

▪ Niveles de severidad

La severidad se determina en función del desnivel medido en correspondencia con las juntas, se diferencian tres niveles de severidad (**Baja**, **Moderada** y **Alta**) de acuerdo con la siguiente clasificación:

Baja:

Diferencia de nivel de 3 a 10 mm.

Moderada:

Diferencia de nivel de 10 a 20 mm.

Alta:

Diferencia de nivel mayor de 20 mm.

▪ Forma de medición

Los escalonamientos 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:

- * El escalonamiento a través de una junta, se cuenta como una losa.
- * El escalonamiento a través de una grieta es una falla combinada; no se registra como escalonamiento pero se considera al definir la severidad de la grieta.

La medición se efectúa a una distancia de 0.30 m desde la cara exterior de carril y 0.75 m desde la cara exterior de carril (rodera). No se efectúa la medición en juntas afectadas por parchados temporales.

Si la losa de “aproximación” es más alta que la losa de salida, se registra el escalonamiento como positivo (+) y si la losa de “acercamiento” es más baja se registra el escalonamiento como negativo (-).

▪ Esquema y Fotografía

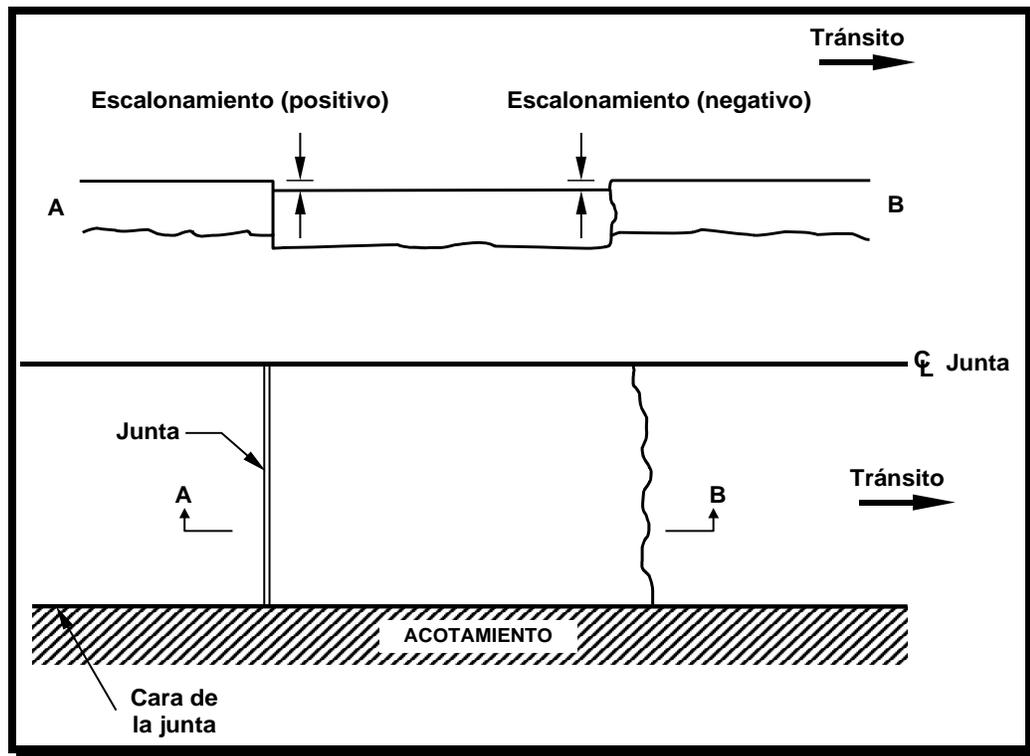


Fig. 57. Escalonamiento de juntas transversales y grietas

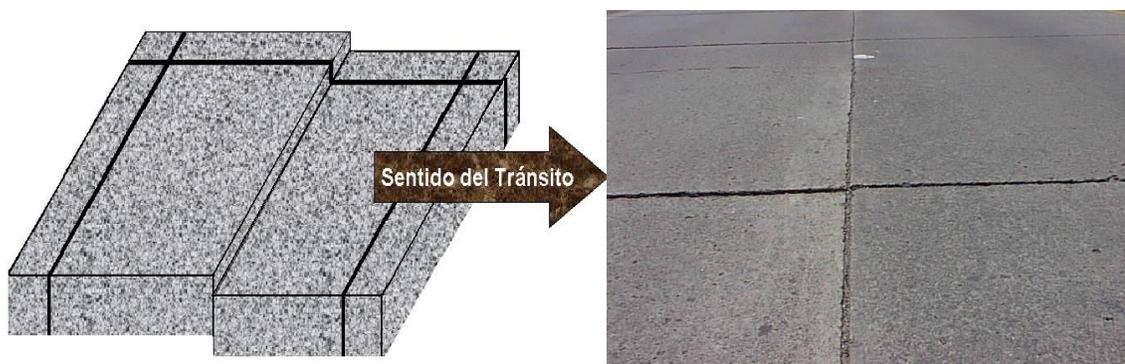


Fig. 58. Escalonamiento de junta transversal con severidad moderada

❖ HUNDIMIENTO CARRIL-ACOTAMIENTO

▪ Descripción

Diferencia en elevación entre la cara de la losa y el acotamiento exterior; a menudo ocurre cuando el acotamiento exterior se asienta.

▪ Posibles causas

Asentamiento de la berma, normalmente por una compactación insuficiente. En bermas no revestidas, principalmente por el tránsito; también por erosión de la capa superficial por agua que escurre desde el pavimento hacia el borde externo de la plataforma. En zonas frías, con ciclos de hielo-deshielo, por descompactación producida por la penetración de la helada en suelos heladizos.

▪ Niveles de severidad

No se aplica.

▪ Forma de medición

Se mide en la junta longitudinal de construcción entre la cara de carril y el acotamiento.

Se registra en milímetros al milímetro más cercano, en intervalos de 15 m a lo largo de la junta carril-acotamiento.

Si la superficie recorrida es más baja que el acotamiento, se registra como negativa (-).

▪ Esquema y Fotografía

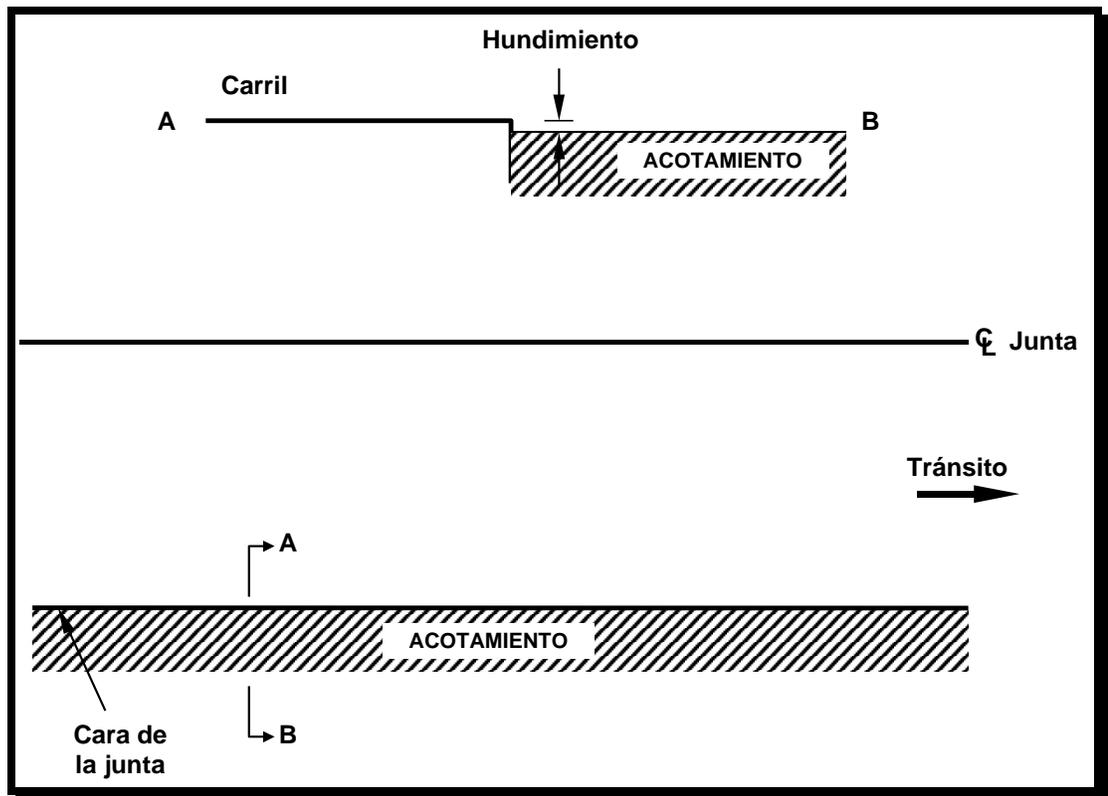


Fig. 59. Hundimiento carril-acotamiento



Fig. 60. Hundimiento carril-acotamiento positivo (+)

❖ SEPARACIÓN CARRIL-ACOTAMIENTO

▪ Descripción

Ensanchamiento de la junta entre la cara de la losa y el acotamiento.

▪ Posibles causas

La separación carril-acotamiento puede deberse al asentamiento con desplazamiento de la berma, normalmente originado en una compactación insuficiente o falta de compactación contra la cara lateral del pavimento. Además por el escurrimiento de agua sobre la berma, cuando existe un desnivel entre ella y el pavimento.

▪ Niveles de severidad

No se aplica.

▪ Forma de medición

Se registra en milímetros al milímetro más cercano, en intervalos de 15 m a lo largo de la junta carril-acotamiento. Se indica si la junta está bien sellada (sí o no) en cada separación.

▪ Esquema y Fotografía

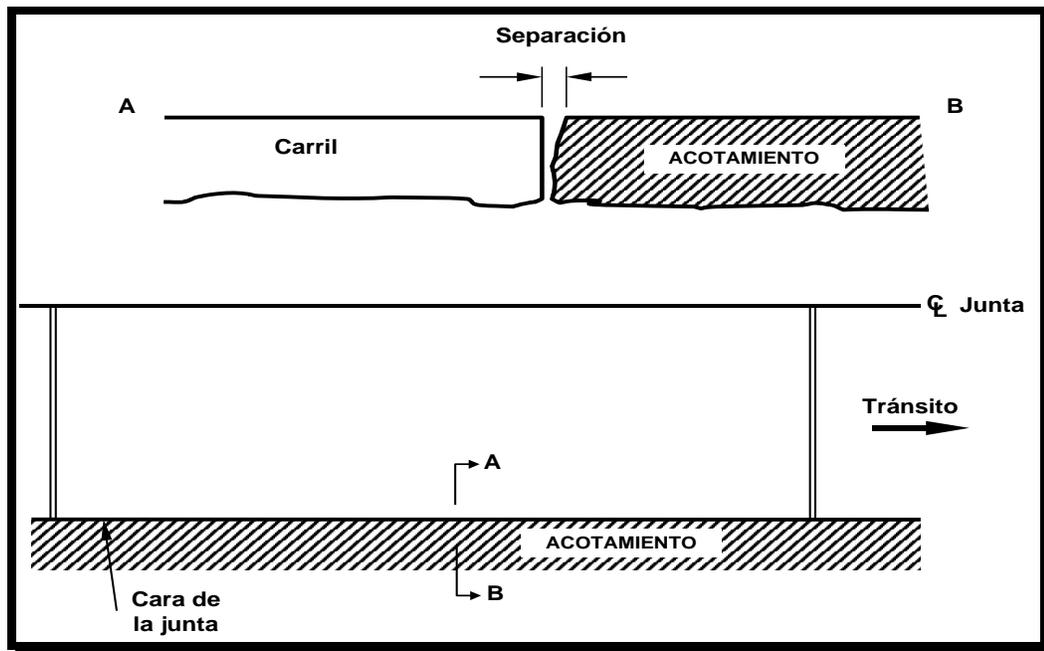


Fig. 61. Separación carril-acotamiento



Fig. 62. Separación carril-acotamiento

❖ BACHEO/DETERIORO DE BACHEO

▪ Descripción

Un bache es un área (mayor a 1.0 m² o toda la losa original) donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, para reparar el pavimento existente, o material adicional aplicado al pavimento después de la construcción original.

Los bacheos 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 bacheos, por deficiente ejecución dan origen a nuevas fallas.

▪ Posibles causas

En el caso de parches asfálticos, capacidad estructural insuficiente del parche o mala construcción del mismo. También por el reemplazo de nuevas losas de concreto hidráulico de espesor similar al del pavimento existente, que brindan insuficiente traspaso de cargas en las juntas de contracción o mala construcción. Además en baches con concreto de pequeñas dimensiones, inferiores a una losa, por la retracción de fraguado del concreto del bache que lo despega del concreto antiguo.

▪ Niveles de severidad

Se definen tres niveles de severidad (**B**aja, **M**oderada y **A**lta) de acuerdo con la siguiente clasificación:

Baja:

- * El bacheo tiene cuando mucho un deterioro de cualquier tipo de severidad baja.
- * No existe escalonamiento o asentamiento medible en el perímetro del bacheo.

Moderada:

- * El bacheo tiene un deterioro de severidad moderada de cualquier tipo o descascaramiento alrededor de sus bordes.
- * Existe escalonamiento o asentamiento de hasta 6 mm en el perímetro del bacheo.

Alta:

- * El bacheo tiene un deterioro de severidad alta de cualquier tipo.
- * Existe escalonamiento o asentamiento ≥ 6 mm en el perímetro del bacheo.
- * La extensión o importancia de los daños mencionados anteriormente indican una condición de falla, siendo el reemplazo del parche necesario.

■ Forma de medición

Se registra el número de bacheos y los metros cuadrados del área afectada para cada nivel de severidad, y se separan por el tipo de material, rígido o flexible.

Para el reemplazo de losas, se clasifica cada losa como un bacheo separado y se continúa para clasificar la junta.

▪ Esquema y Fotografía

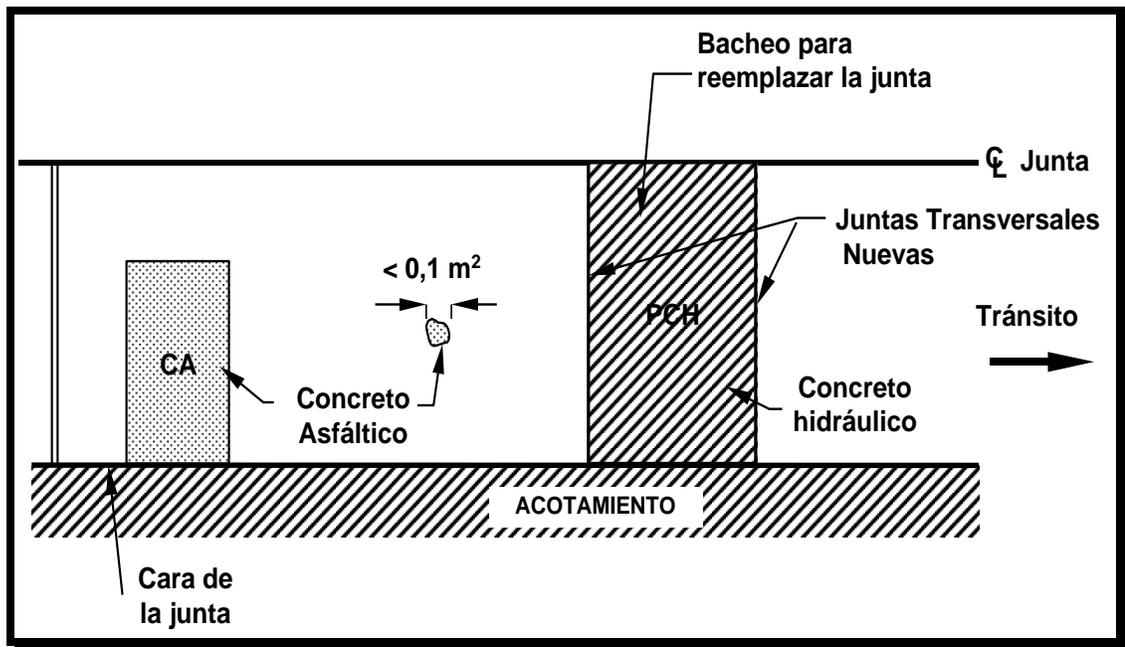


Fig. 63. Bacheo/daño del bacheo

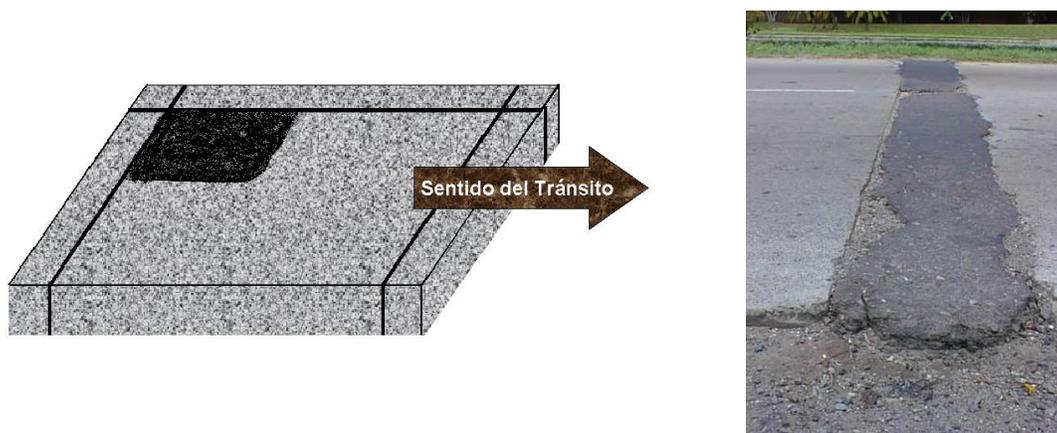


Fig. 64. Bacheo con severidad alta

❖ ESCURRIMIENTO DE AGUA Y BOMBEO

▪ Descripción

Filtración o expulsión de agua por debajo del pavimento a través de grietas. En algunos casos se detecta por pequeños depósitos de material fino en la superficie del pavimento, que fueron erosionados (bombeados) desde las capas de soporte y han manchado la superficie.

▪ Posibles causas

Cuando existe agua entre el pavimento y la base o ésta se encuentra cercana a la saturación, el tránsito, en especial los vehículos pesados, produce un efecto de succión y luego bombeo que erosiona material fino de la base. El fenómeno es especialmente activo cuando la transmisión de las cargas entre losas es inadecuado.

▪ Niveles de severidad

No se aplica. Los niveles de severidad no se utilizan debido a que la cantidad y grado del escurrimiento de agua y el bombeo cambia con las condiciones de humedad.

▪ Forma de medición

Se registra el número de ocurrencias del escurrimiento de agua y bombeo y la longitud en metros del pavimento afectado.

2.16 TÉCNICAS PARA REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

La Rehabilitación de Pavimentos de Concreto (RPC), se refiere a una serie de técnicas de reparación para restaurar la capacidad estructural o confort de manejo de un pavimento de concreto hidráulico deteriorado a una condición aceptable.

Actualmente existen nueve técnicas de RPC que no sólo sirven para la reparación de deterioros existentes en el pavimento, sino también intentan prevenir que estos deterioros vuelvan a ocurrir en el futuro, de las cuales desarrollaremos tres de ellas.

Para un buen programa de RPC es indispensable la apropiada elección de las técnicas disponibles, ya que la secuencia del trabajo es muy importante en un proyecto integral de RPC, como se muestra en la figura 65. Por ejemplo la estabilización de losas y la colocación de drenes longitudinales deben preceder a la reparación de espesor completo o parcial, la colocación de bermas de concreto, y el refuerzo en cruz, deben preceder al cepillado. El ranurado y el resello de juntas se aplican después de cepillado para asegurar una adecuada profundidad del ranurado y sellado.

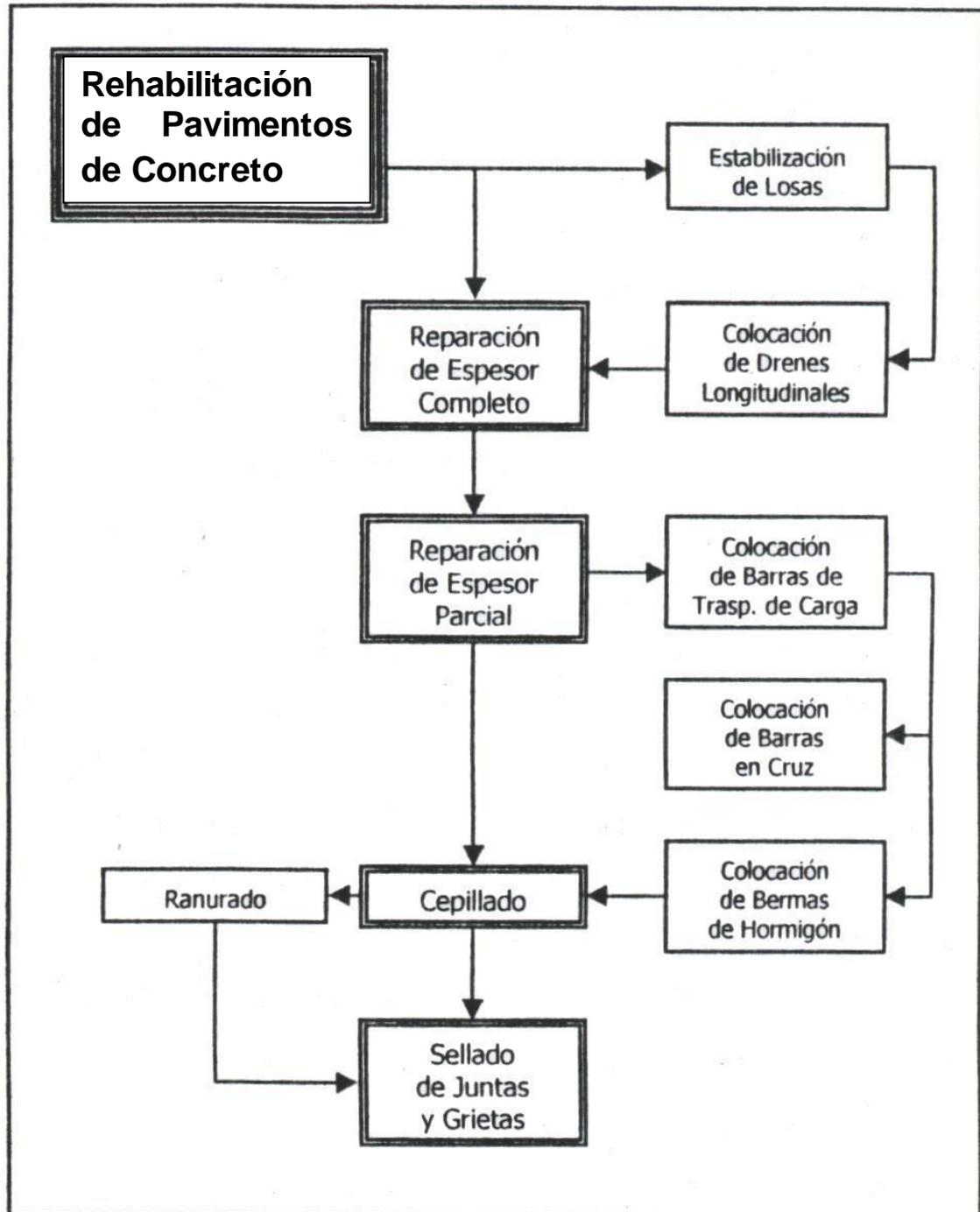


Fig. 65. Secuencia de aplicación de las técnicas de RPC.

No todos los proyectos requieren de cada procedimiento, pero la secuencia se debe mantener. Los procedimientos más comunes se destacan con recuadros dobles

2.16.1 TÉCNICA DE REPARACIÓN DE ESPESOR PARCIAL

➤ DEFINICIÓN

La reparación de espesor parcial es una técnica de rehabilitación que restaura deterioros superficiales localizados, tales como saltaduras o desconches en las juntas y/o grietas, que se han producido en el tercio superior o hasta la mitad del espesor de la losa. Los desconches o saltaduras generan una circulación áspera y pueden acelerar el desarrollo de futuros problemas.

Las reparaciones de espesor parcial reemplazan el concreto dañado, mejoran las condiciones de circulación, impiden deterioros mayores y entregan bordes apropiados para que las juntas y grietas puedan ser reselladas en forma efectiva.

➤ CARACTERÍSTICAS

La reparación de espesor parcial es utilizada comúnmente para reparar desconches, que se producen por la introducción de materiales incompresibles dentro de las juntas y grietas transversales no selladas, tales como pequeñas piedras o fragmentos de concreto. Como resultado de ello, se producen tensiones a lo largo de las paredes de las juntas, que pueden ocasionar la rotura (desconche) del concreto a lo largo de ella. Además las juntas construidas con insertos plásticos, normalmente requieren de un trabajo superficial más acabado, debiendo muchas veces aumentar la proporción agua/cemento (A/C) del concreto, para hacerlo más trabajable, quedando la superficie más susceptible a problemas de desconche y desgaste. Los desconches que son menores a 50 mm por 150 mm no afectan la calidad de rodadura del pavimento y por lo tanto no necesitan ser reparados, simplemente pueden ser llenados con sellante.

➤ **LIMITACIONES**

La reparación de Espesor Parcial podría no ser apropiada para roturas que se extiendan más allá de 150 a 250 mm de la junta y sean de severidad moderada a alta. Tal tamaño de deterioro podría indicar que se trata de uno más grave que sólo superficial, y que eventualmente también podría estar afectando el fondo de la losa, o sea la grieta atraviesa la losa del pavimento en todo su espesor.

Este tipo de reparación se aplica solamente en los desconches que están confinados al tercio o mitad superior del espesor de la losa y no incluyen el acero de refuerzo o los dispositivos de transferencia de carga. Es posible cortar y remover completamente el acero de refuerzo expuesto en el área desconchada y la reparación de espesor parcial puede ser exitosa, si no excede los límites de profundidad establecidos.

➤ **PROCESO CONSTRUCTIVO**

❖ **LOCALIZACIÓN DE CONCRETO DETERIORADO**

El primer paso antes de hacer cualquier reparación es buscar en la superficie del concreto áreas deterioradas. A menudo estas áreas resultan de grietas en el concreto que podrían no ser visibles desde la superficie. La localización de zonas deterioradas, se realiza mediante el golpeteo de la superficie del concreto con una varilla de acero, un martillo de bola o arrastrando una cadena a lo largo de la superficie (ver fig. 66), un sonido metálico firme indica concreto bueno, mientras que un sonido hueco indica concreto pobre. Se inicia golpeando el pavimento a lo largo de las juntas transversales o grietas y cualquier área de la mitad de la losa que exhiban desportillamientos visible o escamaduras severas.



Fig. 66. Recorrido con una cadena de las zonas probables de reparar

❖ DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE REPARACIÓN

Para asegurar la remoción de todo el concreto en mal estado, los límites del área a reparar se deben extender más allá de las zonas deterioradas, éstas deben marcarse con pintura en aerosol luminosa y coloreada definiendo formas cuadradas o rectangulares de remoción, ya que las áreas irregulares y esquinas interiores pueden causar el desarrollo de grietas (ver fig. 67). Deben usarse las siguientes reglas para determinar cuándo, cómo, dónde localizar y marcar los límites de la reparación:

- Longitud mínima de 300 mm.
- Ancho mínimo de 100 mm.
- Extender los límites de la reparación por lo menos de 75-100 mm más allá de las zonas con deterioros visibles como escamado o desportillamiento.
- No realizar la reparación si el desportillamiento es menor de 150 mm de largo y menor de 35 mm de ancho.

- Cuando se presenten áreas que necesiten reparación y estén separadas entre sí a menos de 60 cm, se recomienda que se integren en una sola área, con el fin de reducir los costos y proporcionar una apariencia más continua y agradable.
- Reparar toda la junta transversal si existen más de dos desportillamientos a lo largo de ella.

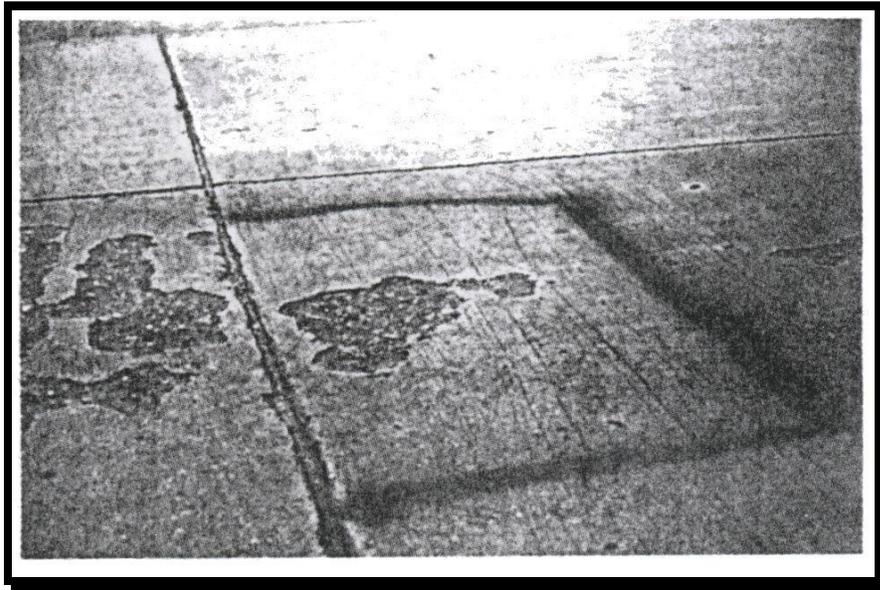


Fig. 67. Marcado de los límites de una reparación con pintura en aerosol

❖ REMOCIÓN DEL MATERIAL DAÑADO

El concreto desconchado o deteriorado se puede remover por aserrado y cincelado, o por un proceso de fresado con disco de carburo.

A. Aserrado y cincelado

Para remover el concreto descascarado o deteriorado mediante el aserrado y cincelado, se debe efectuar un corte con una sierra alrededor del perímetro del área a reparar (ver fig. 68). Esto proporcionará una pared vertical en los bordes de la reparación y dará la profundidad suficiente para otorgar integridad al parche. El corte de la sierra debe tener una profundidad mínima de 25 a 50 mm. En muchas oportunidades se hacen cortes adicionales con la sierra, dentro del área de reparación para facilitar la remoción por cincelado.

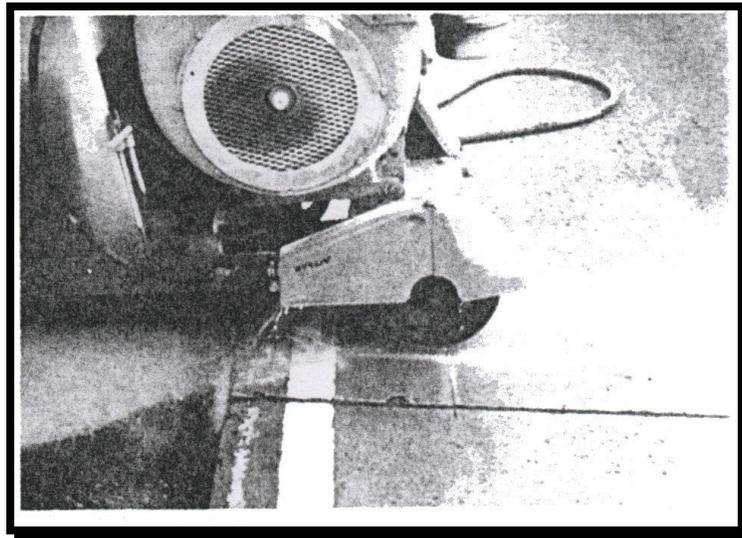


Fig. 68. Aserrando los límites del parche

La superficie del área a reparar, se debe remover en una profundidad mínima de 40 mm con herramientas neumáticas ligeras hasta que quede expuesto el concreto sano (como se observa en la fig. 69). En donde los parches sean grandes, la mayor parte de su área también se puede fresar usando una máquina de fresado en frío de tamaño pequeño. Sin embargo, la remoción final hasta los límites del corte de sierra requerirán del uso de herramientas neumáticas ligeras.

Es importante que se usen las herramientas del tamaño adecuado. El uso de un martillo neumático demasiado grande causará daños y fracturas en el concreto más allá de la profundidad realmente necesaria para llegar hasta el material en buen estado. No se deben usar martillos neumáticos pesados debido a que las losas se pueden romper durante la remoción. Para evitar esto, se recomienda que el tamaño máximo permitido de martillo neumático sea de 15 kilos para ser usado en el cincelado de las reparaciones de profundidad parcial.



Fig. 69. Cincelado del material dentro del área del parche

B. Fresado con disco de carburo.

La remoción del concreto desportillado o deteriorado mediante el fresado en frío es especialmente efectivo cuando la reparación se extiende a todo el ancho del carril o a la mayor parte de él. Para esto se requerirá de un equipo de fresado en frío con puntas de carburo (ver fig. 70). Las máquinas de fresado deben estar equipadas con un aparato para detenerse a una profundidad preestablecida con el objeto de evitar remociones excesivas y un posible daño a las barras de acero, en el caso que existan. Después de hacer el fresado, el fondo del área de la reparación se debe inspeccionar por resonancia para asegurar que todo el material en mal estado se haya removido. Cualquier material restante en mal estado se debe soltar con cincel; también se debe tener en cuenta la posibilidad de que se necesite hacer una reparación de todo el espesor.

El fresado puede ser perpendicular o paralelo al eje del pavimento, el primero de ellos se recomienda cuando se van a reparar desportillamientos a lo largo de toda una junta. Para desportillamientos pequeños, cualquier dirección en que se hace el fresado es buena.

Cuando se hace el fresado las paredes no quedan verticales (ver fig. 71) y las experiencias indican que el concreto delgado, o en forma de cuña a lo largo del perímetro de la reparación tiene tendencia a desprenderse. Esto también ocurre cuando se usa un martillo neumático para formar los límites del parche y los bordes no quedan parejos. La aparición de desportillamientos en los bordes ahusados dejados por un procedimiento de fresado no ha constituido un problema.

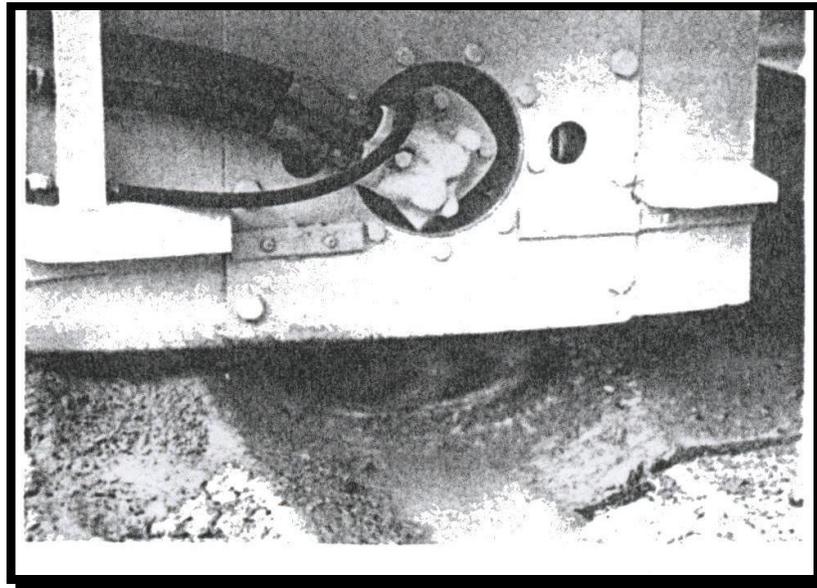


Fig. 70. Remoción del material del área del parche con una máquina de fresado en frío

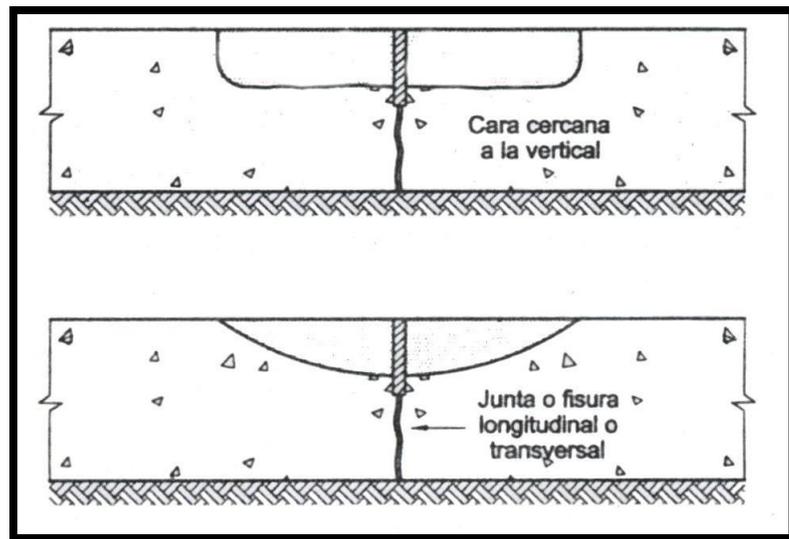


Fig. 71. Perfil de reparación de profundidad parcial en la que se usó equipo de fresado para la remoción

➤ LIMPIEZA

Las caras expuestas del concreto se deben limpiar con un chorro de arena a presión para dejarlas libres de partículas sueltas, aceite, polvo, restos de concreto asfáltico y otros contaminantes antes de proceder a la reparación. Este procedimiento dejará una superficie áspera y limpia que ayudará a proporcionar una buena adherencia.

Todos los residuos de arena se deben remover usando un chorro de aire a presión por unos instantes antes de la colocación del adherente. El equipo de aire a presión se debe revisar para que no desprenda aceite, debido a que el aceite rociado con el aire contaminará las paredes del parche e impedirá la adherencia y el buen comportamiento de la reparación. Se puede comprobar la calidad del aire poniendo una tela seca sobre la boquilla, dejando salir una pequeña cantidad de aire e inspeccionando la tela en busca de manchas de aceite. Después de la limpieza con aire a presión, la superficie a reparar queda lista para la colocación del material (ver fig. 72).

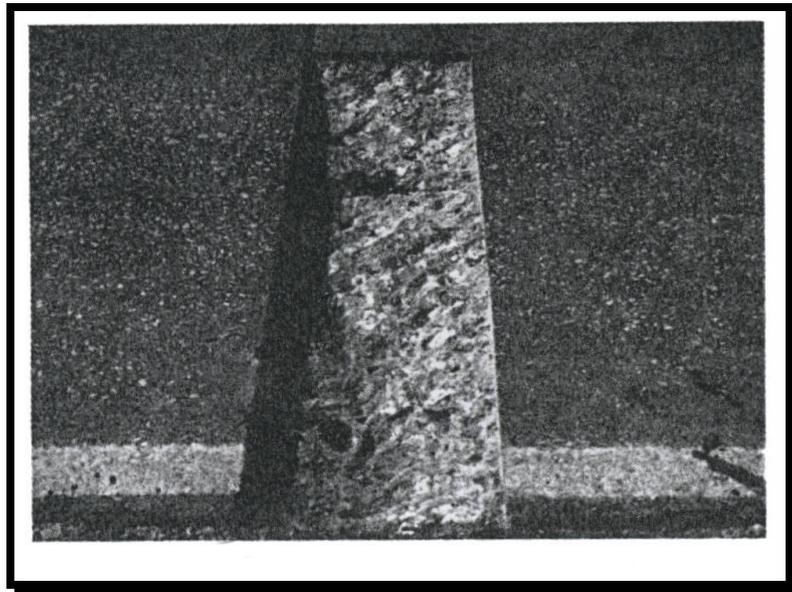


Fig. 72. Trabajo preliminar completo y parche listo para la colocación y acabado del concreto

➤ REPARACIÓN DE JUNTAS

- ❖ Juntas Longitudinales: Cuando se efectúa una reparación de profundidad parcial contra una junta longitudinal, el concreto de la reparación no se debe adherir al concreto del carril adyacente. Si se produce la adherencia, el alabeo ó el movimiento diferencial de las losas, puede causar descascaramientos en el parche.

La eliminación de la adherencia se puede lograr ya sea mediante un inserto compresible en la junta, o colocando una tira delgada de polietileno o un fieltro de techo impregnado con asfalto a lo largo de la junta antes de colocar el material de parche.

- ❖ Juntas transversales y grietas: Los parches adyacentes a las juntas o grietas activas que penetran en toda la profundidad de la losa requieren el uso de un inserto compresible, u otro medio para romper la adherencia, para volver a formar la junta o grieta. Los materiales más usados para este propósito son la espuma de poliestireno, la madera aglomerada impregnada con asfalto o tiras de polietileno.

➤ MATERIALES PARA LA REPARACIÓN

- ❖ Mezclas de concreto de alta resistencia inicial: El concreto de alta resistencia inicial, se hace normalmente con cemento tipo III, y se especifica que desarrolle resistencias que sobrepasen los 21 Mpa en menos de 24 horas. Esto se hace, cuando se requiere dar la reparación al servicio rápido (cuatro horas). Cuando se use concreto de alta resistencia inicial también se debe especificar un adherente epóxico y el concreto no se debe colocar hasta que éste se ponga viscoso.

- ❖ Mezclas de concreto de fraguado normal: El concreto de fraguado normal se puede usar cuando el material del parche se puede proteger del tráfico por 24 horas o más. El mortero de arena-cemento usado para la adherencia del parche debe estar compuesto de: una parte de cemento Portland y por una parte de arena, con la suficiente agua para producir un mortero con una consistencia cremosa. El concreto se debe colocar en el parche antes que se seque el mortero.

- ❖ Materiales de resistencia rápida patentados: Cuando se seleccionan materiales patentados de fraguado rápido para hacer el parche, es importante que éstos se usen de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, esto incluye la adherencia, la colocación, el curado y el tiempo requerido antes de dar al servicio las reparaciones.

- ❖ Morteros de resina epóxica y concreto epóxico: Los diseños de mezclas de mortero epóxico y concreto epóxico se deben evaluar con cuidado en el laboratorio antes de su uso en gran escala. Los componentes epóxicos se deben mezclar cumpliendo al pie de la letra las recomendaciones del fabricante antes de que se adicione el agregado.

- **COLOCACIÓN DEL MATERIAL**

- ❖ Colocación del adherente: Cuando se necesite un agente adhesivo (primera capa o lechada de cemento), el material se deber aplicar en una capa delgada y pareja. El material debe cubrir toda el área, incluyendo las paredes del parche y debe superponerse a la superficie del pavimento para asegurar una adherencia adecuada.

- ❖ Mezclado: En la mayoría de las reparaciones de profundidad parcial, el volumen es muy pequeño. Por lo tanto, los materiales para la reparación se deben mezclar en el sitio en pequeñas mezcladoras de tambor o de paletas.

Cuando se requiere de un adherente o de una lechada, el material se debe mezclar en pequeñas cantidades de manera que el desecho no sea excesivo. El tiempo de contacto entre el cemento y el agua en la lechada no debe exceder de los 90 minutos.

- ❖ Consolidación: La mezcla para el parche se debe colocar y vibrar para su consolidación, con el objeto de eliminar cualquier vacío en el contacto del parche y el concreto existente, esto mejorará la adherencia entre ambas superficies y aumentará la resistencia al corte. Se deben usar vibradores pequeños de inmersión para consolidar el concreto de no más de 25 mm de diámetro.
- ❖ Acabado: El material de la reparación debe tener un acabado cuidadoso con respecto a la sección transversal del pavimento existente. El proceso de acabado recomendado es el de emparejar desde el centro del material de relleno hacia afuera (ver fig. 73) para evitar que queden espacios vacíos en las paredes de la cavidad.



Fig.73. Forma de planchar el material de relleno (de dentro hacia afuera) para evitar que queden espacios vacíos en las paredes de la calidad

- ❖ Texturizado: Después del acabado, el material de reparación se debe texturizar adecuadamente para aproximarse al del pavimento existente. Aunque el área total de la reparación no es grande y la textura tendrá poco o ningún impacto en la resistencia al patinaje del pavimento, esto producirá una apariencia más uniforme.
- ❖ Corte con sierra: El mortero sobrante del acabado se puede usar para rellenar los cortes de la sierra que se extiendan más allá del perímetro del área reparada en las esquinas de ella. El mortero ayudará a evitar la penetración de humedad que puede debilitar la adherencia.
- ❖ Sellado: Un procedimiento importante a menudo ignorado en la colocación de reparaciones espesor parcial, es el sellado de la interfase del área reparada con la losa del pavimento existente.

- ❖ Curado: Los procedimientos de curado son muy importantes debido a la gran superficie de estas pequeñas reparaciones comparadas con el volumen del material de la reparación. Un procedimiento adecuado es el de aplicar un compuesto de curado en los momentos en que el agua de exudación se ha evaporado de la superficie de la reparación.

En donde se requiera de una apertura temprana al tráfico, puede resultar beneficiosa la colocación de esteras de aislamiento sobre las reparaciones, esto mantendrá el calor proveniente de la hidratación y promoverá una mayor ganancia de resistencia para los materiales con base en cemento.

- ❖ Resellado de juntas: El sellado de la junta es muy importante debido a que contribuirá a evitar que la humedad y los materiales incompresibles puedan causar un daño, en la figura 74 se muestra un proceso de sellado de la junta.

Cuando se aplican adecuadamente y se construyen con cuidado, las reparaciones de espesor parcial pueden resultar como reparaciones muy efectivas en cuanto a costo para el descascamiento y el deterioro superficial. En la figura 75, se muestra una reparación de espesor parcial terminada y abierta al tráfico.

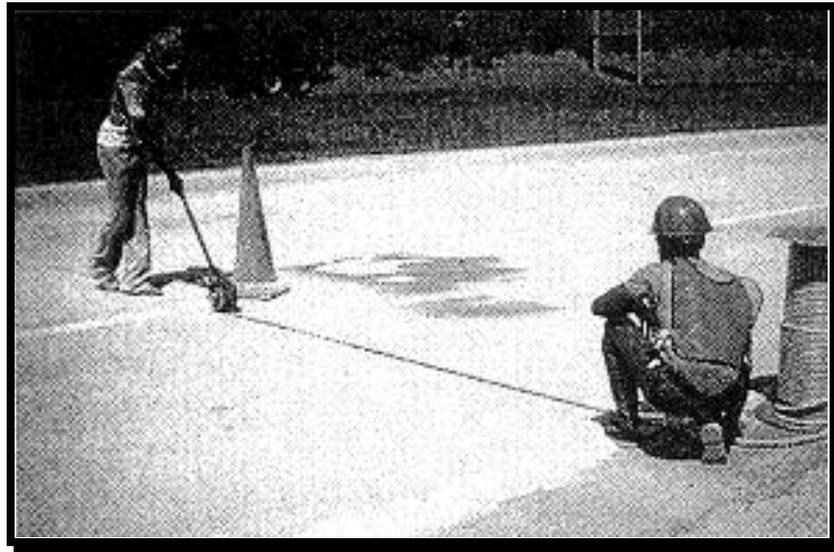


Fig. 74. Sellado de la junta con un sellante de silicona después de una reparación de profundidad parcial

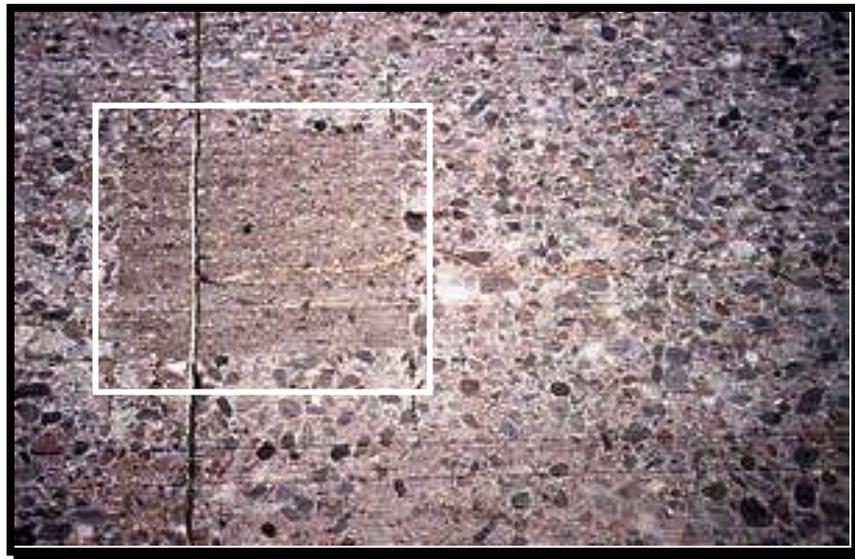


Fig. 75. Un parche terminado y abierto al tráfico

2.16.2 TÉCNICA DE REPARACIÓN DE ESPESOR COMPLETO

➤ DEFINICIÓN

La reparación de espesor completo significa la remoción y reemplazo de por lo menos una porción de la losa, en todo su espesor, con el propósito de restaurar las áreas deterioradas. Las reparaciones de espesor completo pueden mejorar las condiciones de rodado y de integridad estructural, así como extender la vida útil del pavimento.

➤ CARACTERÍSTICAS

La reparación de espesor completo es utilizada comúnmente para reparar:

- a) Deterioro de juntas.
- b) Agrietamiento transversal .
- c) Agrietamiento longitudinal .
- d) Agrietamiento múltiple y grietas de esquina.
- e) Reventones.

a) **Deterioros de juntas:** El deterioro de juntas incluye cualquier agrietamiento, rotura, saltadura o desconche de los bordes de la losa en cualquier lado de la junta transversal o longitudinal; es el más común de los deterioros que requieren una reparación de espesor completo. Este deterioro es causado a menudo por excesivas tensiones de compresión que son resultado de la presencia de partículas incompresibles en las juntas transversales.

Otros factores que contribuyen al deterioro de las juntas son: el bombeo de la sub-base, la desalineación de las barras de traspaso de carga y la falla producida por el cordón central. Éstas son fallas provocadas por una inadecuada transferencia de cargas. La instalación defectuosa o el deficiente

mantenimiento de los insertos en las juntas pueden también dar origen al deterioro de las juntas.

b) **Agrietamiento Transversal:** Algunas grietas que se extienden a todo el espesor de la losa pueden comenzar a moverse y a funcionar como si fueran juntas. Las grietas transversales que funcionan como juntas se les llama “grietas de trabajo” y están sujetas al mismo rango de movimiento de las juntas transversales. Cuando son adecuadamente selladas, estas grietas pueden actuar bien por muchos años. Sin embargo, puede ser necesario restaurar la integridad del pavimento con reparaciones de espesor completo y eliminar grietas de trabajo que presenten un desconche severo, bombeo o escalonamiento. Otra forma de reparar las grietas transversales que estén trabajando, es la instalación de barras de traspaso de carga, siempre que la grieta no se esté desconchando. La instalación de barras en estas circunstancias probablemente costará mucho menos que una reparación de espesor completo.

c) **Agrietamiento Longitudinal:** Cuando las grietas longitudinales se deterioran hasta una condición de alta severidad, la reparación de espesor completo se justifica. Una condición de alta severidad indica que una grieta tiene un ancho de más de 12 mm, el desconche se extiende a más de 150 mm de la grieta, y el escalonamiento es mayor de 12 mm. Si la condición es menos severa, son suficientes los siguientes procedimientos:

- Reparación de espesor parcial.
- Colocación de barras en cruz (Cross-stitching).
- Colocación de barras de transferencia de carga.
- Aserrado y sellado (crack abrade).

- d) **Agrietamiento Múltiple y Grietas de Esquina:** Las roturas de esquina y el agrietamiento múltiple se desarrollan en losas que tienen un apoyo marginal en la sub-base y sub-rasante. Cualquier carga pesada que pasa sobre estas losas les produce grandes deformaciones verticales y altas tensiones de tracción en el concreto. Con el tiempo las losas bombearán los materiales de la sub-base o la subrasante desde debajo de la losa, resultando en vacíos y la eventual rotura sobre la discontinuidad del soporte. Se requiere una reparación de espesor completo para las roturas de esquina y de losas con más de una grieta entrecruzada, ya que representan problemas de soporte y de falta de capacidad estructural.
- e) **Reventones:** Los reventones en los pavimentos de concreto hidráulico continuamente reforzado requieren de reparación de espesor completo. Éstos se forman luego de muchos ciclos de carga, por la ruptura del acero longitudinal a lo largo de las caras de dos grietas cercanamente espaciadas (generalmente separadas menos de 0.6 m).

Para dimensionar una reparación es necesario conocer la extensión del deterioro en el pavimento. Cada reparación debe reemplazar el concreto de toda la zona comprometida hasta encontrar concreto en buenas condiciones. Resulta adecuado fijar el tamaño de las reparaciones más allá de los límites del área de la sub-base con vacíos originados en la acción de la erosión o del bombeo. En la figura 76, se presentan ejemplos de la manera como se definen áreas de reparación para diferentes deterioros, tanto en pavimentos de concreto con juntas como en pavimentos continuamente reforzados.

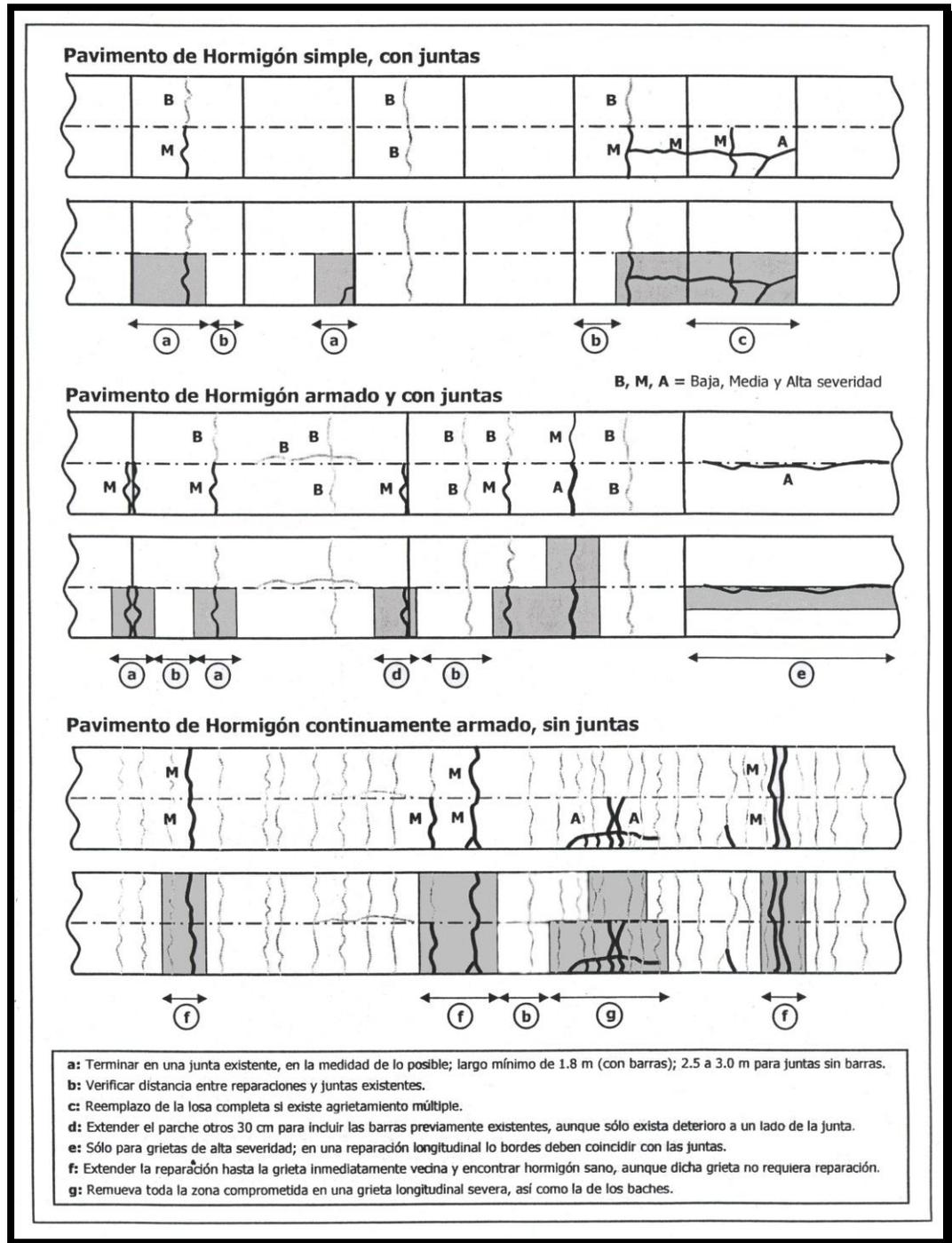


Fig. 76. Ejemplos de reparaciones y sus dimensiones, para varios tipos de deterioro

➤ PROCESO CONSTRUCTIVO

❖ DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE REPARACIÓN

Antes de comenzar cualquier trabajo se deben definir las áreas que requieren reparación. La ubicación de los lugares que deberán ser removidos se debe marcar con pintura en la superficie del pavimento.

Todos los parches deben tener mínimo las siguientes dimensiones: ancho igual al ancho de un carril en la dirección transversal y de 1.80 a 3.00 m en la dirección longitudinal.

En campo tal vez sea necesario ajustar el tamaño de las reparaciones, por lo que se presentan algunas recomendaciones para las situaciones más comunes encontradas en campo:

- Si en las cercanías de la reparación a un ancho mínimo de 2 m de una junta transversal sin pasajuntas y ésta no requiere reparación, se extiende la reparación a la junta transversal.
- Si el límite a un ancho mínimo de 2 m cae sobre una junta transversal y ésta tiene pasajuntas y el otro lado de la junta no requiere reparación, se extiende la reparación más allá de la junta transversal en aproximadamente 0.3 m para quitar las pasajuntas existentes.
- Si el límite a un ancho mínimo de 2 m cae en una grieta de un pavimento continuamente reforzado, extienda la reparación más allá de la grieta en 0.15 m.
- La combinación de reparaciones pequeñas en una grande a menudo puede reducir los costos de reparación. Sin embargo, la longitud máxima de la reparación no debe exceder a la longitud máxima de una losa del pavimento.

➤ REMOCIÓN DEL MATERIAL DAÑADO

En la actualidad existen dos maneras diferentes de efectuar la remoción:

- A. Remoción de losa por izado
- B. Remoción de la losa demoliéndola

A. Remoción de losa por izado

Siempre que sea posible se recomienda que el concreto se retire izándolo. Esto requiere que después de que el área de remoción sea aislada con los cortes de la sierra en todo el espesor del pavimento, el concreto deteriorado se iza verticalmente desde su posición en el pavimento. Para hacer esto, se efectúan perforaciones que traspasen la losa desde la parte superior y se ponen ganchos que permitan izar los pedazos de losa, con la ayuda de cadenas que se sujetan a un equipo pesado, como una grúa o un cargador frontal, luego la losa se iza verticalmente, tal como se muestra en la figura 77.

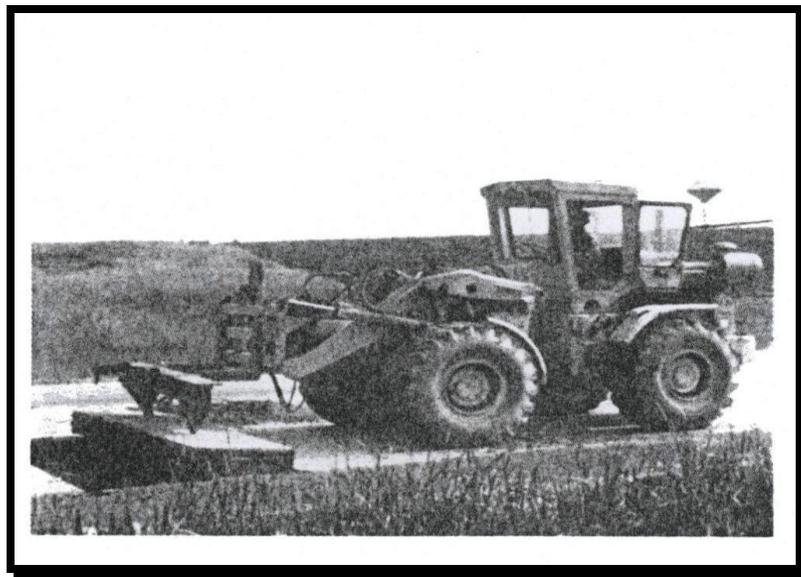


Fig. 77. Izado del fragmento de losa con un cargador frontal

En algunos casos, el material que está siendo izado se puede romper, produciendo daños o desportillamientos en la parte superior de las losas adyacentes. Cuando esto sucede se puede requerir de un corte de sierra secundario con el objeto de evitar un daño mayor.

La remoción del concreto por izado minimizará el daño al concreto circundante y a la base. Las paredes de las juntas transversales serán lisas y no requerirán de mayor trabajo antes de las perforaciones con taladro para la instalación de los dispositivos de transferencia de carga (dovelas).

B. Remoción de la losa por demolición

La experiencia ha demostrado que este método puede dañar significativamente la base y en consecuencia, se necesita una reparación más grande de la base que la que se hace cuando se izan las losas. Sin embargo, se reconoce que en muchos casos, el concreto puede estar tan deteriorado que el izado no es práctico. Para estos casos se puede demoler el concreto, del área que se va a remover, con la ayuda de un martillo neumático (jack hammer), un martillo de caída libre (drop hammer), o un ariete hidráulico (hydraulic ram), retirando luego el material mediante el uso de una retroexcavadora o de herramientas manuales.

Se deben tener consideraciones especiales para el corte del concreto con sierra cuando el pavimento se va a demoler con un ariete hidráulico o con un martillo de caída libre (ver fig. 78).

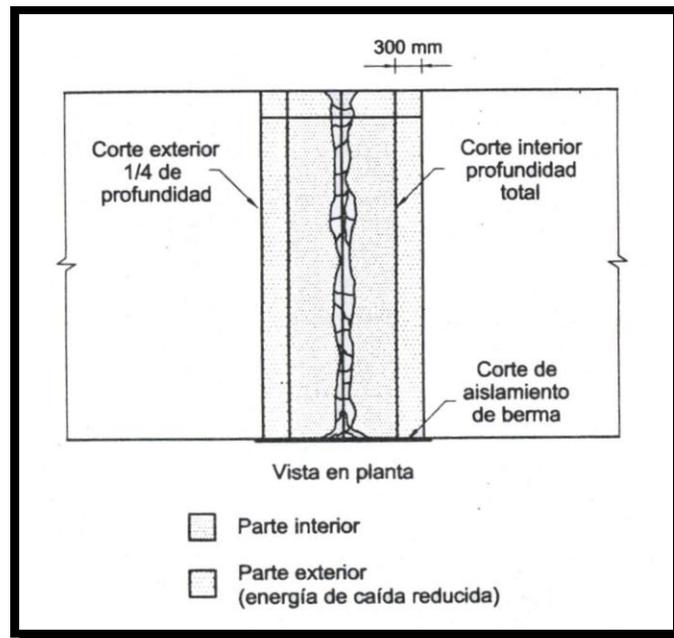


Fig. 78. Patrón de aserrado típico requerido si se usa equipo de demolición hidráulico para quebrar el concreto

➤ PREPARACIÓN DEL ÁREA DE REPARACIÓN

Si se determina que durante la remoción del concreto se ha deteriorado significativamente la base, ésta se debe limpiar y recompactar retirando cualquier material suelto. Además, cualquier zona de la base en la que se presente material blando se debe retirar y sustituir con material adecuado. La base en el área de la reparación se debe compactar para cumplir con los requisitos de las especificaciones. Cualquier problema de drenaje localizado también se debe reparar y no desequilibrar el área de la base, excepto cuando sea absolutamente inevitable.

❖ PAVIMENTOS PARA TRÁFICO PESADO

Para los pavimentos con elevado volumen de tráfico de camiones, los estudios han demostrado claramente que las reparaciones hechas sin dovelas se escalonan o asientan, por lo cual se recomienda que se usen dovelas en estas circunstancias.

Las dovelas con un diámetro de 31 mm y de 450 mm de largo, han sido los medios más efectivos para desarrollar transferencia de carga a través de las juntas en las áreas reparadas. Para anclar las dovelas se hacen perforaciones con taladros en la pared aserrada de la losa existente. Se recomiendan taladros agrupados (varios taladros montados en forma paralela en una armazón rígida) con el objeto de evitar las desviaciones y desalineamientos durante el proceso de perforación con el taladrado, tal como se muestra en la figura 79.

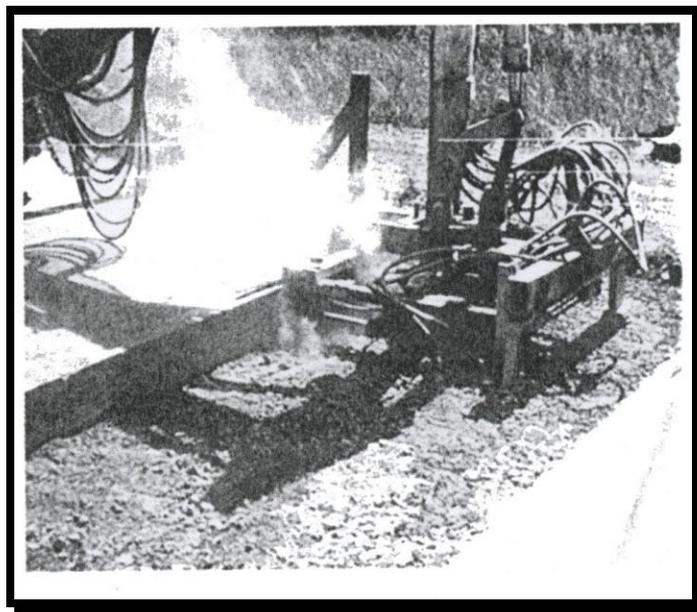


Fig. 79. Perforación de agujeros para las dovelas con una batería de taladros

Se han desarrollado muchas reparaciones usando diferente número de dovelas en cada junta, pero las informaciones sobre el comportamiento de las reparaciones no son concluyentes para establecer criterios de diseño. Sin embargo, se recomienda que se usen por lo menos cuatro o cinco dovelas en las zonas sobre las que han de pasar las llantas de los vehículos. El tamaño y la cantidad de dovelas se deben determinar con base en el espesor de la losa, tipo de base y de sub-rasante, condiciones de drenaje y tráfico esperado. El diámetro recomendado para las dovelas, es de 30 mm como mínimo y de 38 mm como máximo.

Las dovelas no se deben insertar en agujeros sucios y sin preparación. Por lo tanto, cuando los agujeros han sido taladrados, se debe emplear aire comprimido para remover el polvo y los desechos. Después de limpiar los agujeros y antes de la inserción de las dovelas se debe hacer en la parte posterior del agujero una aplicación de pintura epóxica o de un mortero que no se contraiga.

Un disco de retención de mortero, fabricado de plástico, se recomienda para mantener el material dentro del agujero durante la inserción de la dovela (ver fig. 80). El disco es efectivo para asegurar que la barra de refuerzo está completamente rodeada por el mortero o el material epóxico de anclaje, debido a que el material no puede salir por la parte frontal del agujero. Cuando se usa, el disco ayuda a encajar la dovela, evitando el desarrollo de deformaciones del agujero.

Cuando la reparación involucra la restauración de juntas, se debe tener un cuidado especial para asegurar el alineamiento adecuado de las barras de refuerzo en la pared de la junta para permitir los movimientos de la losa.

Después de insertar las dovelas, con el mortero o con el material epóxico en su lugar, se puede proceder a vaciar el concreto (ver fig. 81).

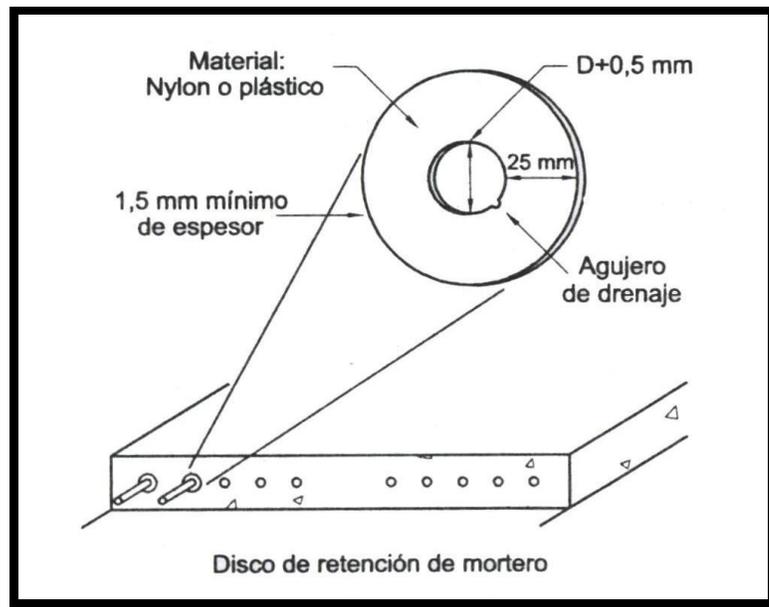


Fig. 80. Disco de retención de mortero para mantener dentro del agujero el epóxico o el mortero durante la inserción de las dovelas

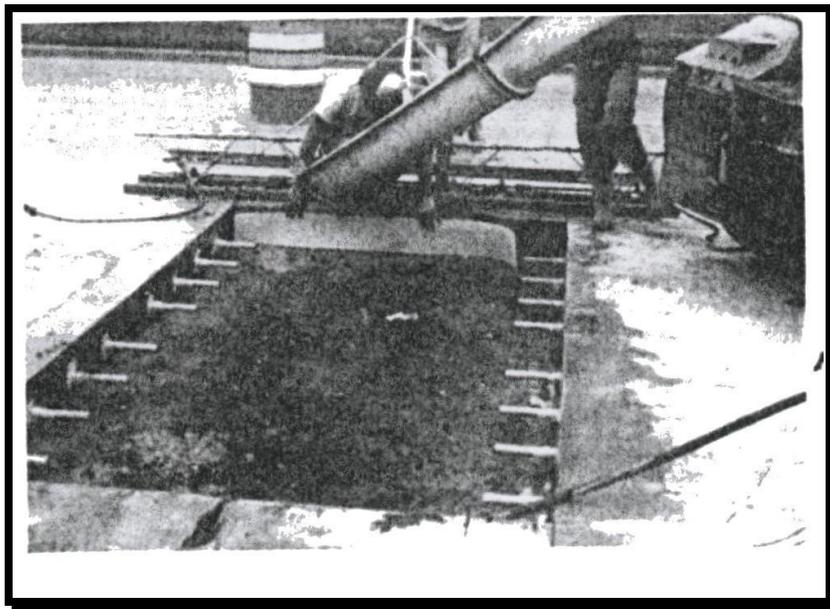


Fig. 81. Área sujeta a reparación lista para la colocación del concreto

❖ PAVIMENTOS DE POCO TRÁFICO Y CORTES PARA BRECHAS

En pavimentos para bajos volúmenes de tráfico y con poco tránsito de camiones pesados, como es el caso de las áreas residenciales y calles locales, se puede prescindir de las dovelas en las reparaciones de profundidad total, sin que se comprometa el comportamiento de la reparación.

Es importante que las delimitaciones de las áreas que es necesario intervenir se planee cuidadosamente, y en estos casos no se aplica el requisito de que el ancho de la reparación debe ser igual al ancho del carril. El tamaño de la reparación estará determinado por el trabajo que se requiera hacer debajo del pavimento. Sin embargo, se recomienda que el área removida del concreto se extienda por lo menos 200 mm más allá de la excavación planificada, esencialmente para generar un borde limpio en la subrasante existente. El significado de este borde es que se asegure que la subrasante bajo el concreto

existente no se altere, en el caso de que eso suceda, se necesitará hacer un relleno en el vacío bajo el pavimento existente, lo que eventualmente, podría conducir a la pérdida de soporte y a un problema de bombeo en la junta de la reparación. Bajo ninguna circunstancia la junta de la reparación se debe construir a una distancia menor que 500 mm de una junta existente.

❖ VACIADO DEL CONCRETO

En la mayoría de los casos, cuando la apertura al tráfico del pavimento es un aspecto crítico, el concreto se debe vaciar tan pronto como sea posible después de que las dovelas estén instaladas y la sub-base preparada.

Para tal fin, es corriente que se haga un diseño de mezcla especial para obtener reparaciones de buena calidad durante la colocación del concreto, incluyendo la vibración para la consolidación y el acabado adecuado del mismo, como se observa en la fig. 82.

Cuando se ha terminado el vaciado y el texturizado del concreto, se debe proceder a aplicar un compuesto de curado pigmentado, para evitar la pérdida de humedad.

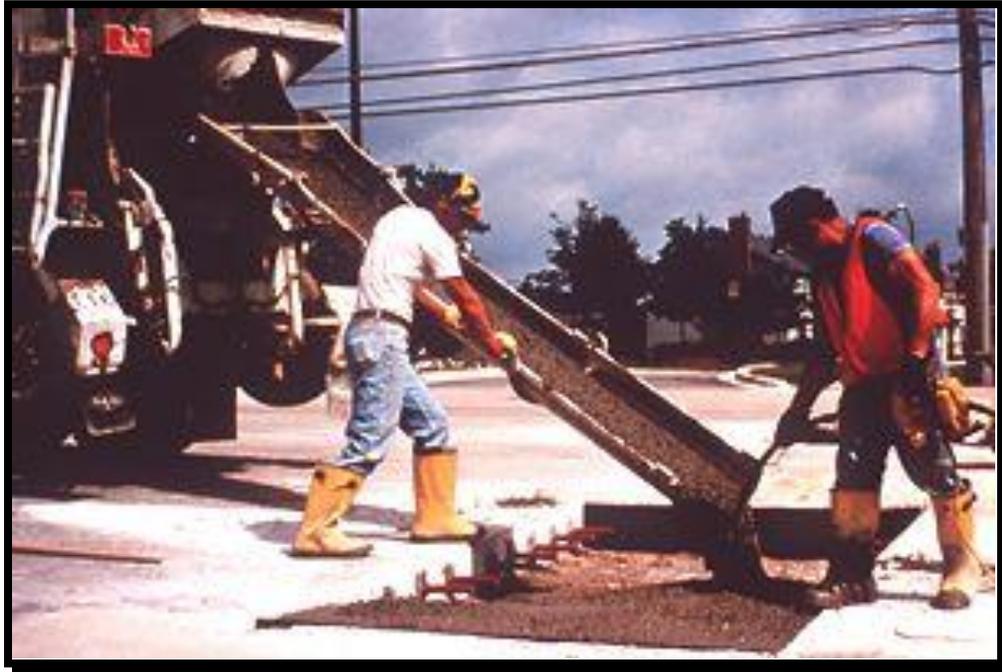


Fig. 82. Vibración del material de parchado para lograr una buena consolidación mediante el uso de un vibrador de mano

➤ **SELLADO DE JUNTAS**

El último paso en una buena reparación de pavimentos de concreto en todo su espesor, consiste en hacer la caja para alojar el material de sello en las juntas tanto longitudinales como transversales. Se recomienda que la profundidad de la caja tenga 50 mm como mínimo para evitar puntos de concentración en la parte superior de la superficie, reduciendo de esta manera el potencial para el descascaramiento.

2.16.3 TÉCNICA DE CEPILLADO

➤ DEFINICIÓN

El cepillado (Diamond Grinding) es un procedimiento usado para restaurar o mejorar la calidad de rodadura en un pavimento. La rehabilitación de una superficie de rodaje mejora la capacidad de soportar el tránsito aumentando de esta manera el valor agregado de un pavimento existente.

❖ VENTAJAS

- Prolonga la vida útil de un pavimento proporcionando una superficie nivelada, lisa y suave al tránsito. Remueve los defectos de la superficie que se forman con el paso de los años y los efectos del clima, así como los defectos del proceso constructivo. Una carretera lisa y nivelada tiene una mayor duración bajo los efectos de las cargas de tránsito repetidas, reduciendo las cargas dinámicas o de impacto.
- Es efectivo en todo tipo de pavimento de concreto hidráulico teniendo un costo menor del 50% comparado con el costo de un recarpeteo asfáltico, aplicándose únicamente donde sea necesaria la rehabilitación de la calidad de rodadura, debido a que no modifica la elevación de la superficie del pavimento.
- No obliga a efectuar cambios a las características del drenaje de un pavimento urbano. En cambio los recarpeteos asfálticos ocupan parte de las cunetas y soleras reduciendo su capacidad de drenaje, ocasionando en época lluviosa que el agua pueda sobrepasar la altura reducida de la solera inundando las aceras o retrocediendo hacia la superficie de rodadura del pavimento (ver fig. 83).

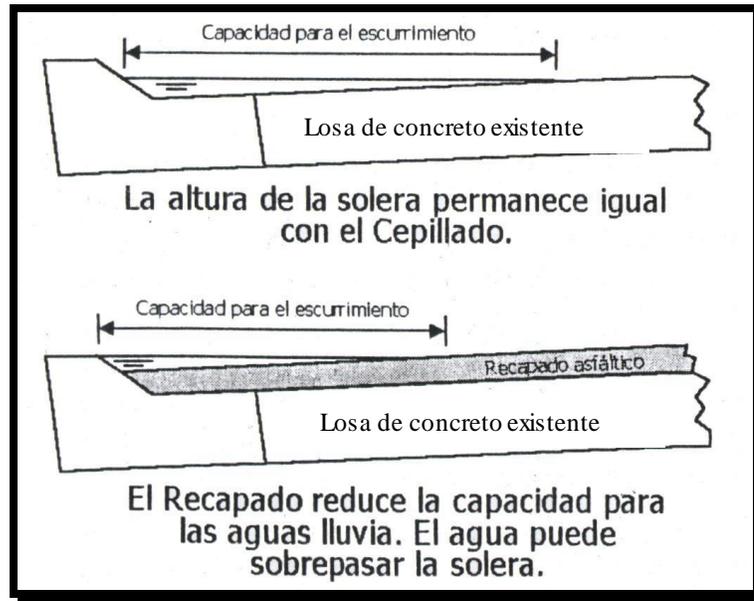


Fig. 83. Los recarpados asfálticos reducen la altura de la solera y la capacidad de almacenamiento de la cuneta para el escurrimiento de las aguas lluvias

- Aumenta la fricción y seguridad de la superficie de un pavimento antiguo. Después del cepillado la superficie queda con un dibujo tipo “cotelé o surco” el que proporciona canales para que el agua se desplace bajo las ruedas de los vehículos reduciendo el potencial de hidroplaneo. Además puede remover las protuberancias de los pavimentos nuevos, reperfil las pistas ásperas y alisar un pavimento en conjunto con un sistema completo de rehabilitación. Aunque el tamaño del equipo puede ser más pequeño para el cepillado de protuberancias en pavimentos nuevos, se aplican muchos de los mismos principios usados para el cepillado restaurativo. Así mismo, los proyectos donde se desarrolla la técnica de cepillado no necesitan del cierre al tránsito de las pistas adyacentes.

➤ **PAVIMENTOS QUE REQUIEREN CEPILLADO**

El cepillado restaurativo se usa para reperfilar pavimentos de concreto hidráulico que hayan desarrollado cualquiera de las siguientes condiciones:

- ❖ Escalonamientos o alabeo de losas.
- ❖ Deformaciones superficiales causadas por neumáticos con clavos y/o cadenas (que se generan en zonas con presencia de nieve).
- ❖ Pendiente inadecuada para el drenaje.
- ❖ Superficie demasiado desgastada.
- ❖ Rugosidad (IRI) excesiva.

El escalonamiento de juntas es probablemente el motivo más importante para aplicar el cepillado. Los espaciamientos demasiado largos entre juntas y las bases de soporte rígidas, dan como resultado losas alabeadas que son más altas en los extremos (juntas) que en la mitad de la losa, que pueden ser removidos fácilmente con la aplicación de la técnica de cepillado (ver fig. 84).



Fig. 84. Junta escalonada

➤ EQUIPO

La máquina cepilladora usa discos diamantados que van montados en forma paralela en un cabezal cortante. Los tres aspectos más importantes de una máquina de cepillado son el peso de la máquina, la potencia disponible para el cabezal y el cabezal cortante mismo. El operador debe saber los efectos de estos factores para controlar apropiadamente la máquina para producir una superficie aceptable.

Las ruedas frontales pasan sobre el escalonamiento o protuberancia, mientras que el cabezal cepilla el escalonamiento o protuberancia y así las ruedas traseras siguen por la huella ya alisada por el cabezal de la cepilladora. El cabezal de cepillado que corta el concreto consta de varios discos diamantados colocados muy juntos, en un eje (ver fig. 85). Generalmente son necesarios entre 54 a 59 discos por pie, para producir una superficie nivelada con una textura tipo cotelé (observar fig. 86). El cabezal típico utilizado en grandes proyectos tiene entre 36 y 38 pulgadas de ancho. Las características del cabezal (en particular de los discos de corte) son función de múltiples condiciones, siendo la más importante la dureza del concreto y sus agregados.

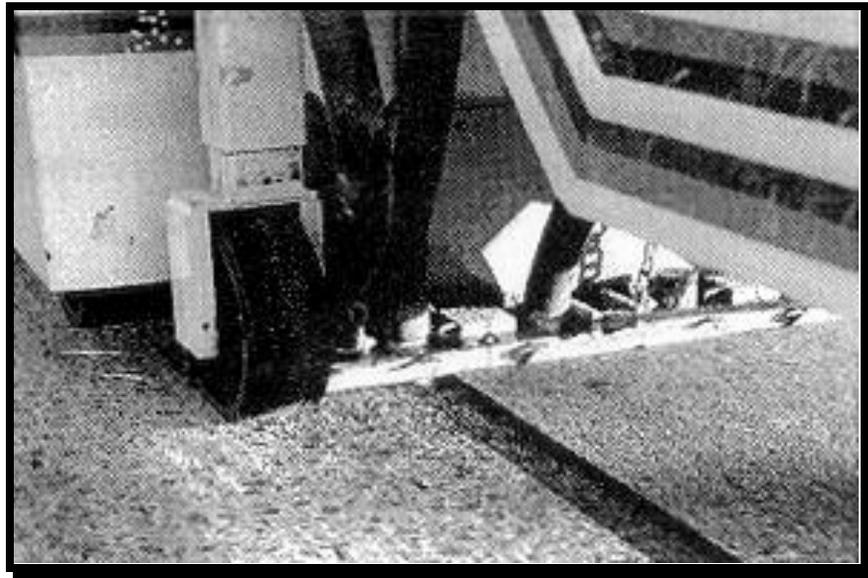


Fig. 85. Cabezal con los discos de corte diamantados montados en grupo (superior). Vista inferior del cabezal de la cepilladora (centro). El cabezal removiendo aproximadamente 0.25 pulgadas de la superficie del concreto (inferior)



Fig. 86. Típica textura de tipo "cotelé".
Se nota el incremento en la textura superficial de la superficie cepillada comparada con la superficie sin cepillar

La selección de los discos tiene una importancia extraordinaria en el comportamiento del cepillado. Los tres factores que los fabricantes de discos y los contratistas consideran al seleccionar los discos son el tamaño de los diamantes, su concentración y la firmeza con que estén incrustados al disco. Cada factor puede tener influencia en la productividad, costo y calidad de la superficie cepillada.

El tamaño de los diamantes también tiene importancia en el rendimiento de los discos, velocidad de corte y precio del cabezal. Las partículas de diamante más grandes son mejores para los tipos de agregado menos duros mientras que los diamantes más pequeños son mejores para los agregados duros.

La textura y resistencia al deslizamiento resultante en una superficie cepillada varía según el espaciamiento de los discos en el cabezal, lo que a su vez influye en la vida útil y rendimiento del cabezal. La cantidad de surcos por pie de pavimento varía entre 50 y 60. Por ejemplo, la alta resistencia al deslizamiento de la textura tipo cotelé puede aumentarse en los agregados blandos y de fácil desgaste mediante un mayor espaciamiento entre discos. Un agregado más duro puede requerir de un espaciamiento menor. La figura 87 muestra una textura de cepillado y proporciona recomendaciones para agregados duros y blandos.

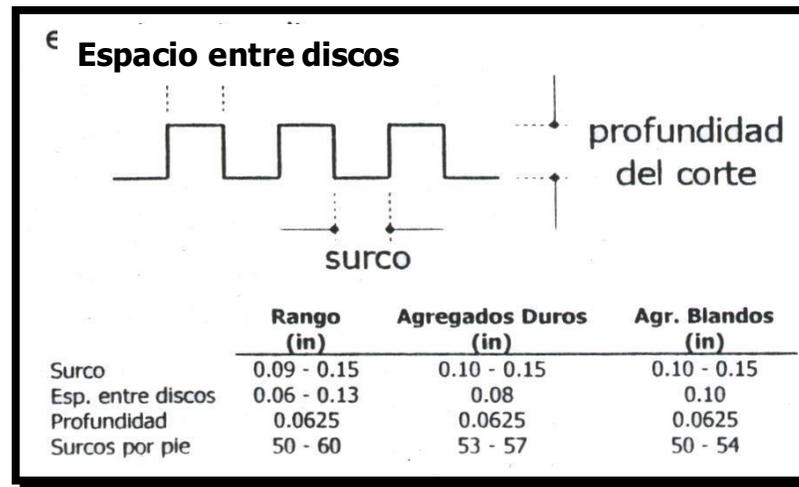


Fig. 87. Dimensiones para la textura del cepillado

➤ MODO DE OPERACIÓN

La aplicación de la técnica de cepillado al diamante (fresado con diamante), debe comenzar y terminar en líneas perpendiculares al eje del pavimento, este es desarrollado siempre en el sentido longitudinal de la carretera.

El mejor sentido de operación para desarrollar el cepillado (a favor o en contra del tránsito), depende de la secuencia de las operaciones y de las limitaciones de la zona de trabajo. El sentido del desarrollo no tendrá influencia en la calidad de la textura o de las juntas.

La imposición de un sentido de operación presenta problemas considerables para el contratista, especialmente cuando una zona de trabajo estrecha hace que el girar una cepilladora sea virtualmente imposible (de acuerdo con la Federal Highway Administration).

Los equipos de cepillado usan agua para enfriar el cabezal de corte, en cambio los equipos modernos de cepillado tienen incorporados sistemas de succión, lo que asegura la remoción continua de la lechada residual o de los desechos

dejados por las operaciones de cepillado, incluso reciclan la lechada para recuperar el agua y acumulan los sólidos en un depósito especial. De esa forma, la lechada no fluye a través de las pistas en utilización (de tránsito), por aceras u otras instalaciones de drenaje.

El peso de la máquina cepilladora es el lastre contra la fuerza (presión hacia abajo) que mantiene la cabeza cepilladora de subir y bajar en las protuberancias del pavimento. Si la presión hacia abajo es demasiado baja, la máquina rastreará exactamente el perfil de la protuberancia y no cortará a través de ella.

El operador debe controlar la velocidad de la cepilladora, fijar la profundidad de la cabeza cepilladora y la presión hacia abajo para mantener la máquina cortando a través de las protuberancias

Posteriormente, el operador puede revisar por algunas variaciones en la línea del corte longitudinal para ver si la máquina corta a través de las protuberancias. Si la variación es casi uniforme, es muy probable que la presión hacia abajo no esté fijada apropiadamente y el operador deberá bajar la cabeza cepilladora; cuando la profundidad de corte varía es una buena indicación de que el operador tiene las protuberancias apropiadamente.

El operador de la cepilladora debe tratar de mantener una presión hacia abajo constante en la cabeza cepilladora, esto ayudará a que la máquina corte a través de las protuberancias con profundidad similar en cada pasada; la alteración innecesaria de la presión hacia abajo de la cabeza cepilladora dará por resultado una nivelación vertical pobre entre pasadas.

Después revisar la nivelación vertical de cada pasada usando una regla de 3 m, el cual debe cumplir una especificación de traslape de 3 mm por cada 3 m. (ver fig. 88) y se debe tratar de mantener un traslape horizontal de 25 a 50 mm entre pasadas. Ya que la mayoría de las especificaciones requieren que el cepillado cumpla los requerimientos del perfil de la superficie de construcciones nuevas o por lo menos mejorar un 65% por encima del índice de pre-cepillado.

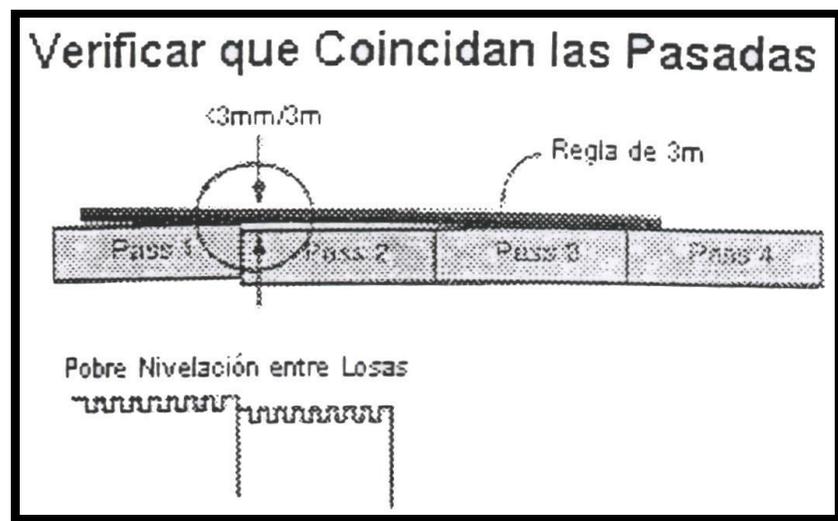


Fig. 88. Verificación que coincidan las pasadas

A continuación se mencionan algunos problemas que se presentan durante la aplicación de la técnica de cepillado:

1-Cuando existen juntas de expansión u otras aberturas de 75 a 125 mm en el pavimento, provocan que la cabeza cortante se incline hacia la superficie, tal como se observa a continuación.

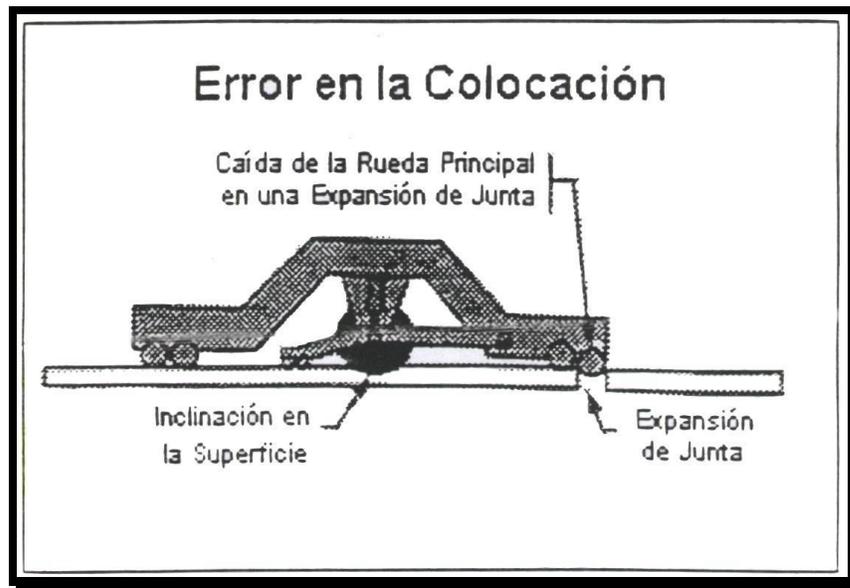


Fig. 89. Error en la colocación

2- Al cepillar losas que se flexionan por el efecto de cargas pesadas. El peso de la máquina de cepillado flexionará la losa y no dejará al cabezal de la cepilladora mucho que quitar de la superficie, después de que la máquina pasa la losa rebotará y las juntas falladas aparecerán (ver fig. 90).

Se puede determinar si éste es un problema comparando los valores del índice de perfil del pre-cepillado y post-cepillado, si no hay mucho cambio, la(s) losa(s) puede estar flexionándose demasiado. Podría ayudar ajustando la presión hacia debajo de la cabeza cepilladora, pero es más recomendable que se realice el estabilizado de estas losas o se ejecute una reparación profunda.

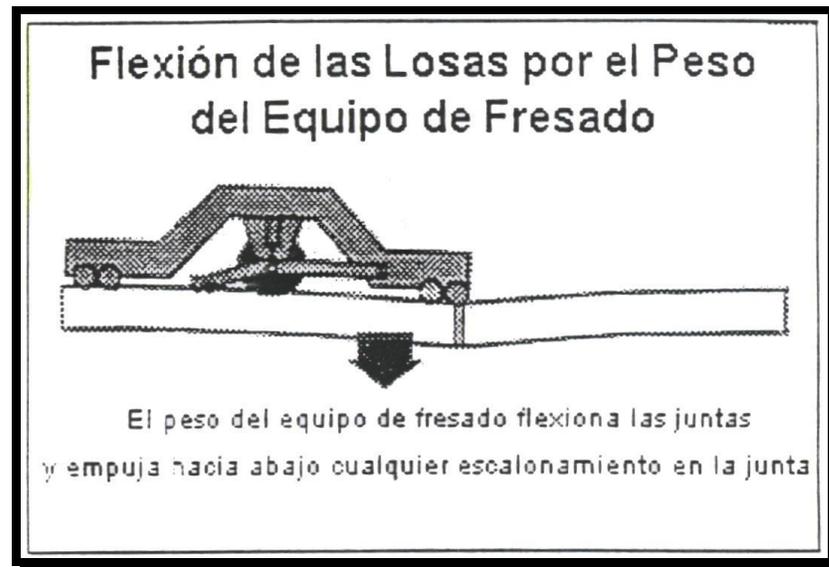


Fig. 90. Flexión de las losas por el peso del equipo de cepillado (fresado con diamante)

➤ VIDA ÚTIL

La vida útil de un pavimento cepillado es el tiempo que transcurre entre el término del proyecto (de cepillado) y la aparición de escalonamiento a un grado que se requiera de un nuevo tratamiento. La vida útil depende de muchos factores:

1. Tasa de carga de tránsito (ESAL's).
2. Diseño del pavimento existente (espesor de losa, espaciamiento de juntas, tipo de base, tipo de suelo de la subrasante, capacidad de drenaje subterráneo y tipo de berma).
3. Efectividad del sello de juntas.
4. Clima (Índice de congelamiento, precipitación).
5. Estado del pavimento en el momento de la restauración.
6. Técnicas de Reparaciones adicionales que se realicen, de acuerdo a las condiciones que se encuentre el pavimento a reparar.
7. Estado del sistema de transferencia de cargas.

CAPÍTULO III
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS
Y RESUMEN DE DAÑOS

3.1. LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS

3.1.1. GENERALIDADES

El levantamiento visual de deterioros es de gran utilidad, ya que es empleado como una guía estándar para la interpretación, identificación y clasificación de los deterioros observados en el pavimento en análisis, determinando el estado en que éste se encuentra.

En este capítulo se pretende dar a conocer la metodología a seguir, el equipo necesario para realizar un levantamiento y el uso de la tabla de deterioros de daños. Es importante mencionar que para realizar un levantamiento de deterioros la seguridad personal es la primera condición a tomar en consideración.

3.1.2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo un levantamiento visual de deterioros, existen una serie de pasos a seguir en forma ordenada los cuales deben de conocerse para realizar un buen trabajo. Estos pasos se mencionan a continuación:

- Paso 1. Realizar un levantamiento topográfico de la vía en estudio, con el objetivo de obtener un plano de ubicación de la misma.
- Paso 2. Crear mapas de deterioros para la ubicación de los diferentes tipos de daños que se puedan presentar en la vía en estudio, éstos deben de ser a escala para poder anotar con claridad dichos daños.
- Paso 3. Verificación de lo anotado en los mapas de deterioros, es decir, observar que lo anotado sea congruente a la realidad observada.

Paso 4. Una vez se han verificado los mapas de deterioro a escala, esta información es trasladada a las diferentes hojas de levantamientos de deterioros (hoja 1,2,3,4).

Paso 5. Clasificación de los diferentes tipos de deterioros (estadísticas de tipos de daños).

3.1.3. EQUIPO NECESARIO PARA REALIZAR UN LEVANTAMIENTO VISUAL DE DETERIOROS

El siguiente equipo es necesario para llevar a cabo el levantamiento visual de deterioros de cualquier tipo de pavimento:

- Manual para la Identificación de Deterioros de la SIECA.
- Hojas blancas y mapas.
- Lápices.
- Porta papeles.
- Cinta métrica de 30 m de longitud y una regla graduada en milímetros.
- Calculadora.
- Faultmeter y manual.
- Cámara fotográfica y de video.
- Equipo de seguridad vial (casco rígido, chaleco de seguridad, conos, entre otros).

3.1.4. INSTRUCCIONES PARA EL LLENADO DE LOS MAPAS DE DETERIOROS

Los mapas de deterioros se utilizan para mostrar la ubicación exacta de cada tipo de deterioro presente en la sección de análisis.

Los tipos de deterioros y los niveles de severidad deberán ser identificados utilizando el “Manual para la Identificación de Deterioros”. Se utilizan un total de 5 hojas proyectadas (mapas de deterioros); cada hoja contiene dos mapas de 15 m que representa 30 m de la sección de análisis, la información complementaria que contiene cada hoja es la siguiente: el número de carretera, el nombre, el tramo y la sección de la misma (ver fig. 91).

Cada sección de análisis deberá ser trazada en forma consistente una vez que se realice un levantamiento. Se deberá marcar en el pavimento las estaciones de inicio y fin de la sección de cada análisis.

No. Carretera: _____ Nombre: _____
 Tramo: _____ Sección: _____

Comentarios: _____

Comentarios: _____

Fig. 91. Modelo en blanco de mapas de deterioros

La extensión lateral de la sección, para propósitos del levantamiento, variará dependiendo de la existencia de las juntas longitudinales, grietas y la posición relativa de las rayas del carril. La fig. 92 ilustra las reglas que se deberán seguir para la extensión lateral de la sección en el levantamiento de deterioros.

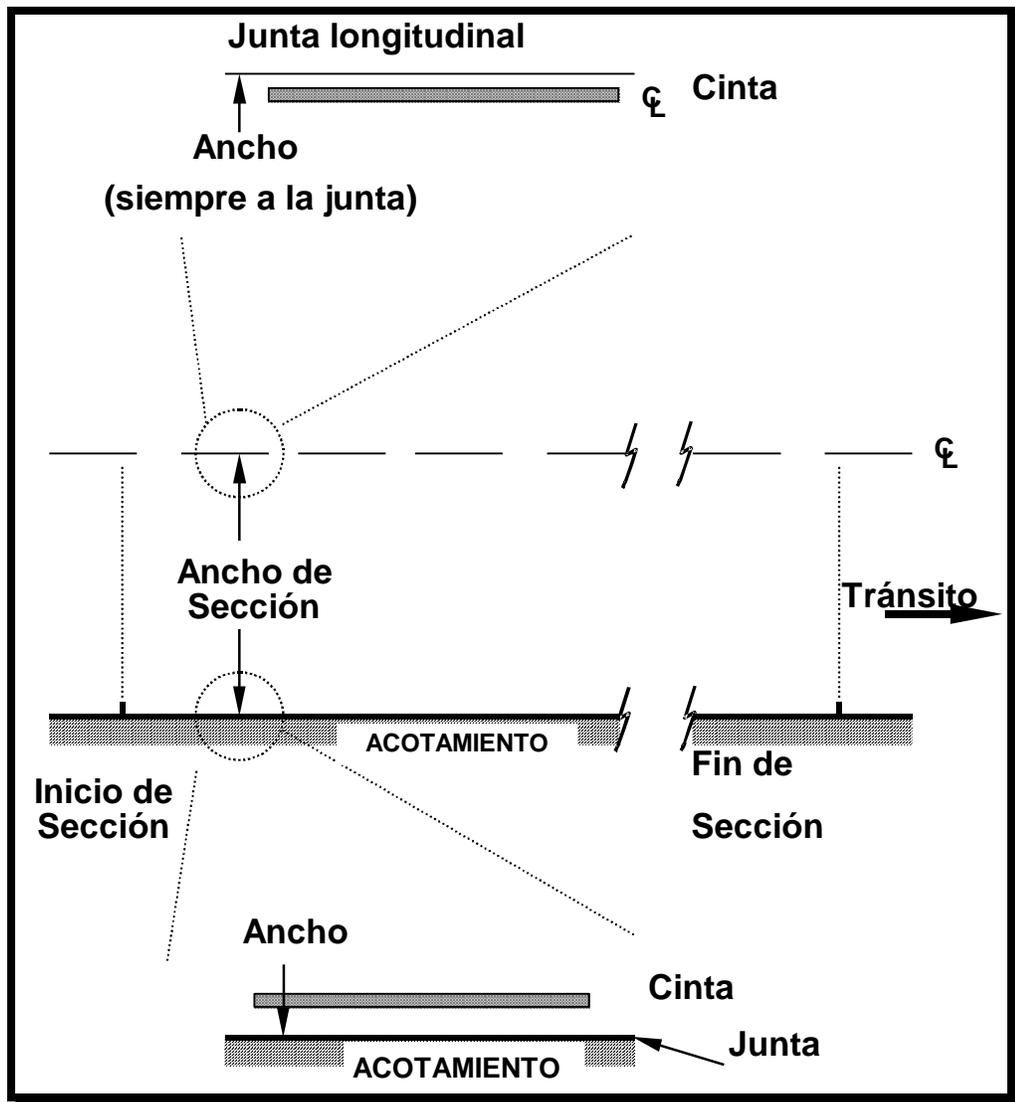


Fig. 92. Límites de la sección de análisis

Para trazar la sección de análisis, se puede colocar la cinta de medir en el hombro adyacente a la sección de análisis desde la estación 0+000 a la estación 1+000 (0 a 30 m). (Se puede utilizar una rueda de medición en lugar de la cinta de medir). Puede ser necesario asegurar la cinta al pavimento con cinta adhesiva o un objeto pesado.

Una vez que la cinta esté en su lugar, los deterioros se pueden trazar con la ubicación longitudinal de los deterioros leídos de la cinta métrica. La ubicación transversal y extensión del deterioro se puede obtener usando el sobrante de la cinta de medir. Una vez que la primera sub-sección de 30 m ha sido trazada, la cinta métrica deberá ser movida para trazar la segunda sub-sección de 30 m. Este proceso se repite a lo largo de la sección de análisis.

Los deterioros se dibujan en el mapa con su ubicación a escala utilizando los símbolos apropiados para el tipo de pavimento (ver fig. 93). En general, el deterioro se dibuja y se rotula usando el número del tipo de deterioro y su nivel de severidad (**B**aja, **M**oderada o **A**lta) si se aplica. Además, se deben presentar ejemplos de mapas para ilustrar la forma apropiada de su llenado.

Cualquier deterioro observado que no esté descrito en el Manual para la Identificación de Deterioros, deberá ser documentado con la suficiente información respectiva. La condición del sellador de grietas y del sellador de juntas se deberá trazar sólo para aquellos deterioros que se indican en la tabla N° 7. Los tipos específicos de deterioros que se deberán incluir en los mapas se registrarán como sigue:

Tipo de Deterioro	Símbolo	Tipo de Deterioro	Símbolo
1. Rotura de esquina (número) B, M, A.		8a. Agrietamiento tipo mapa 8b. Escamadura (metros cuadrad.)	
2. Agrietamiento tipo "D" (número de grietas afectadas) (metros cuadrados) B, M, A.		9. Agregado pulido (metros) Sin niveles de severidad	
3. Agrietamiento longitudinal (metros) B, M, A.		10. Desprendimientos (número) Sin niveles de severidad	
4. Agrietamiento transversal (metros) B, M, A.		11. Estallamientos (número) Sin niveles de severidad	
5ª. Daño del sello de las juntas transversales (número) B, M, A.		12. Escalonamiento de las juntas y grietas transversales	No se dibuja en el mapa de deterioros.
5b. Daño del sello de las juntas longitudinales (número) B, M, A.		13. Hundimiento carril a hombro	No se dibuja en el mapa de deterioros.
		14. Separación carril a hombro	No se dibuja en el mapa de deterioros.

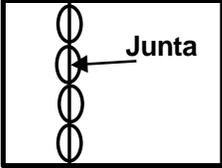
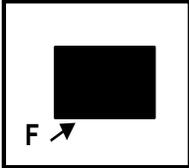
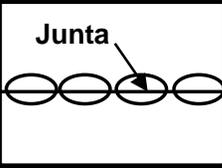
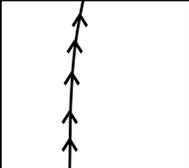
Tipo de Deterioro	Símbolo	Tipo de Deterioro	Símbolo
6. Desportillamiento de la junta longitudinal (metros) B, M, A.		15. Bacheo/deterioro del bacheo (Metros cuadrados y número) B, M, A. F - Flexible R - Rígido	
7. Desportillamiento de la junta transversal (número de juntas y longitud (metros)) B, M, A.		16. Flujo de agua y bombeo (número de ocurrencias y longitud del pavimento afectado (metros)) Sin niveles de severidad	

Tabla N° 7. Símbolos para el mapa de deterioros para pavimentos de concreto hidráulico con juntas

Fuente: Manual para la Identificación de Deterioros, SIECA

Si ocurren numerosos estallamientos, agrietamiento tipo mapa/escamadura o pulimento del agregado en áreas extensas a lo largo de la sección de análisis, no se traza la extensión total. En su lugar, se registra la ubicación, extensión y nivel de severidad, si se aplica, en el espacio para comentarios bajo el mapa apropiado. Estos deterioros deberán ser trazados sólo si ocurren en áreas limitadas.

3.1.5. ELEMENTOS COMUNES A TODAS LAS HOJAS DE LEVANTAMIENTO DE DATOS

En la sección de datos comunes que aparece en la esquina superior derecha de cada hoja de levantamiento de deterioros, se escribe el número de identificación de la carretera, la fecha en que se realiza el levantamiento, las iniciales de hasta 3 calificadores, la temperatura de la superficie del pavimento antes y después del levantamiento, y la indicación de si se obtuvieron fotografías o video al hacer el levantamiento. Todos estos datos se colocan en los espacios apropiados.

3.1.6. INSTRUCCIONES PARA EL LLENADO DE LAS HOJAS DE LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO CON JUNTAS

Los deterioros observados son registrados a escala en los mapas. Esta información la reduce el calificador en campo para resumir los resultados que son después anotados en las Hojas 1-4. Excepto donde se indique lo contrario, se registran todos los datos de todos los tipos de deterioro. Si un tipo específico de deterioro no existe en el pavimento poner "0" como indicación positiva de que el deterioro no se pasó por alto al resumir las hojas de los mapas.

Todos los mapas de deterioros se deberán llenar en campo antes de abandonar el lugar. Los símbolos que se usarán para el trazado de secciones de concreto hidráulico con junta están contenidos en la Tabla N° 7 y se muestra como ejemplo una sección trazada en la siguiente figura:

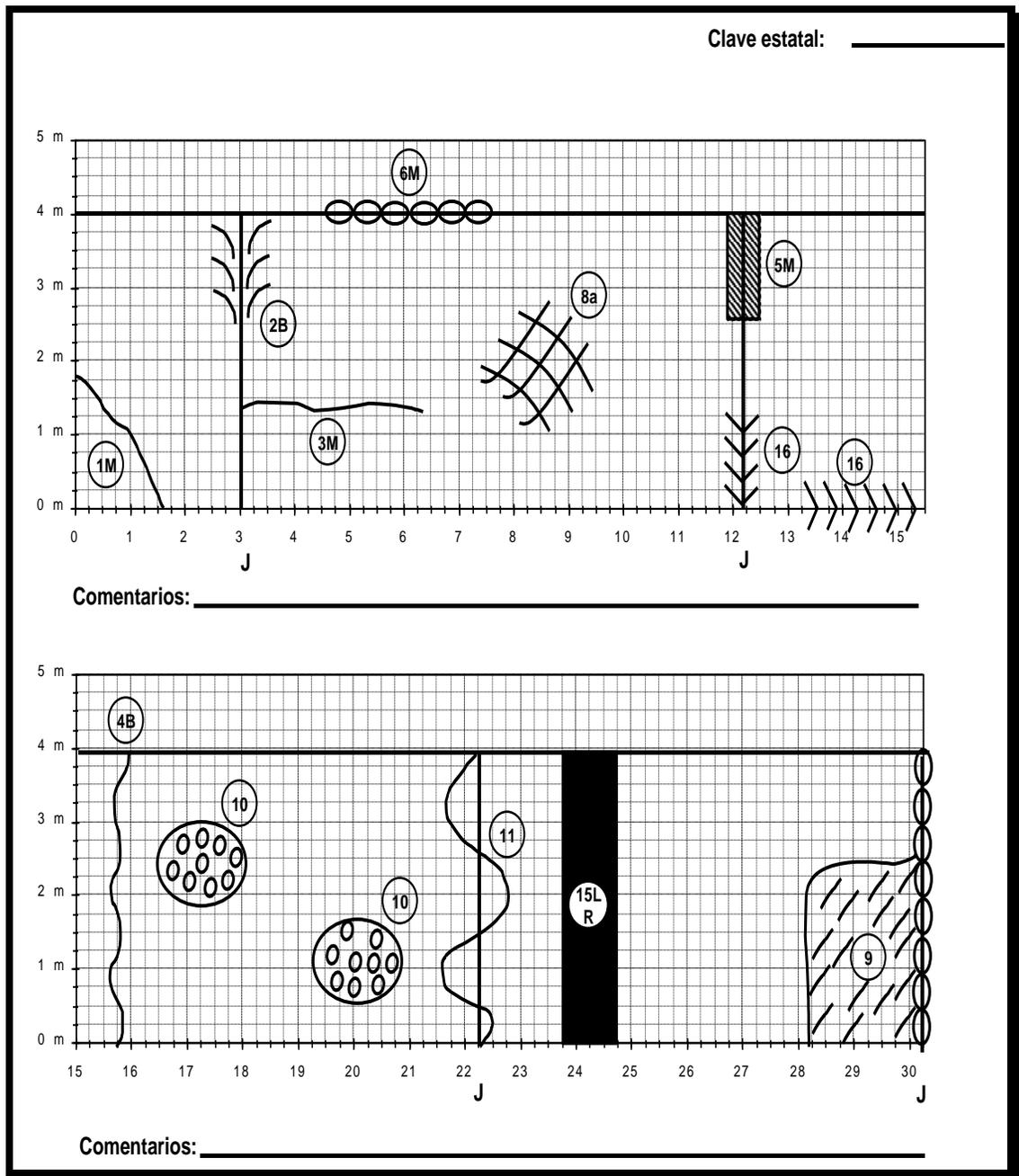


Fig. 93. Mapa de ejemplo de los primeros 30 m de una sección de análisis de un pavimento de concreto con juntas

➤ DESCRIPCIÓN DE LA HOJA DE DATOS 1

Esta hoja de datos (ver fig. 94) ofrece espacio para anotar valores medidos para los tipos de deterioros identificados en la columna izquierda. Las unidades de medida para cada uno de los tipos de deterioro se identifican también en la columna izquierda.

La extensión de los deterioros observados para cada nivel de severidad se anota en la columna de nivel de severidad identificada como baja, moderada o alta. Anotar "0" para cualquier tipo de deterioro y/o nivel de severidad no encontrado. Los tipos de deterioros y los niveles de severidad se deberán identificar utilizando el Manual para la Identificación de Deterioros de la SIECA.

➤ DESCRIPCIÓN DE LA HOJA DE DATOS 2

Esta hoja es una continuación de los datos del levantamiento anotados en la Hoja 1 y se termina como se describe en Hoja de Datos 1. Además, se ofrece espacio para describir otros tipos de deterioros encontrados en la sección de análisis pero no descritos en las Hojas de Datos 1 o 2 (ver fig. 95).

➤ DESCRIPCIÓN DE LA HOJA DE DATOS 3

Esta hoja de datos ofrece espacio para registrar información para cada junta transversal y grieta transversal encontrada en la sección. Se identifica la distancia desde el inicio de la sección, tipo de elemento (junta o grieta), si el elemento es una grieta entonces se registra su longitud y condición del sellado de la grieta, y si es junta, la longitud del desportillamiento de la misma (el desportillamiento de la junta no se registra separadamente). Las mediciones del escalonamiento se hacen en dos localidades transversales, 0.3 m y 0.75 m desde la cara exterior del pavimento.

En cada ubicación, se hacen 3 mediciones pero se anotará únicamente el promedio de las lecturas al milímetro más cercano. Se podrían necesitar hojas adicionales para resumir todas las juntas y grietas transversales en una sección para que el número sea anotado en el espacio apropiado.

A pesar de que no se ofrece un campo en el espacio a la izquierda de la anotación para el escalonamiento medido, existe espacio para un signo negativo cuando se observa escalonamiento negativo. Si la losa de “acercamiento” es más alta que la losa de “salida”, se anota un signo positivo y no se requiere algún dato. Si la losa de “aproximación” está más baja, se anota un signo negativo (ver fig. 96).

➤ DESCRIPCIÓN DE LA HOJA DE DATOS 4

Esta hoja se usa para registrar el hundimiento carril-hombro y la separación hundimiento carril-hombro. El hundimiento carril-hombro se mide como la diferencia en elevación, al milímetro más cercano, entre la superficie del pavimento y la superficie del hombro adyacente.

Las mediciones se toman al inicio de la sección de análisis y a intervalos de 15 m (11 mediciones en total) en la interfase o junta del carril/hombro. El hundimiento carril-hombro normalmente ocurre cuando el hombro exterior se asienta. Sin embargo, puede ocurrir levantamiento del hombro debido a la acción del congelamiento o a suelos expansivos. Si se presenta levantamiento del hombro, deberá ser anotado como un valor negativo (-). En cada punto donde no exista hundimiento carril-hombro, anotar cero (0).

La separación hundimiento carril-hombro se mide como el ancho de la junta (al milímetro más cercano) entre el carril exterior y la superficie del hombro adyacente.

Las mediciones se toman al inicio de la sección de análisis y a intervalos de 15 m (11 mediciones en total). En cada punto donde no exista separación carril-hombro, anotar cero (0) (ver fig. 97).

HOJA 1		No. Carretera	_____
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS		Nombre	_____
		Tramo	_____
		Sección	_____
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS PARA SUPERFICIES CON PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO CON JUNTAS		28 - JUN- 2002	
FECHA DEL LEVANTAMIENTO (DIA/MES/AÑO)			
CALIFICADORES (Iniciales) FV -BG -JV			
TEMPERATURA DEL PAVIMENTO - Antes 18 °C después 19 °C			
FOTOGRAFÍAS, VIDEO O AMBOS (F, V, A) V			
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD		
	BAJO	MODERADO	ALTO
AGRIETAMIENTO			
1. ROTURAS DE ESQUINA (número)	1	0	3
2. GRIETAS TIPO "D"			
(número de losas afectadas)	0	0	0
AREA AFECTADA			
(metros cuadrados)	0 , 0	0 , 0	0 , 0
3. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL			
(metros)	4 , 8	9 , 2	0 , 0
Longitud sellada			
(metros)	0 , 0	0 , 0	0 , 0
4. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL			
(número de grietas)	1	1	0
(metros)	1 , 8	3 , 5	0 , 0
Longitud sellada			
(metros)	0 , 0	3 , 5	0 , 0
DEFICIENCIAS DE LAS JUNTAS			
5a. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL			
¿Sellada? (S, N)			S
Si "S", número de juntas	0 8	4	2
5b. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA LONGITUDINAL			
Número de juntas longitudinales que han sido selladas (0, 1, ó 2)			2
Longitud de sello dañado (metros)			4 , 0
6. DESPORTILLAMIENTO DE JUNTAS LONGITUDINALES			
(metros)	0 , 0	0 , 0	0 , 0
7. DESPORTILLAMIENTO DE JUNTAS TRANSVERSALES			
Número de juntas afectadas	0	0	0
Longitud desportillada (metros)	0 , 0	0 , 0	0 , 0

Fig. 94. Hoja número 1

HOJA 2	No. Carretera _____																		
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS	Nombre _____																		
	Tramo _____																		
	Sección _____																		
LEVANTAM. DE DETERIOROS PARA SUPERFICIES CON PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO CON JUNTAS																			
<u>CONTINUACIÓN</u>																			
FECHA DEL LEVANTAMIENTO (DIA/MES/AÑO)	28-JUN-2002																		
CALIFICADORES (Iniciales) FV-BG-JV _____																			
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD																		
	BAJO MODERADO ALTO																		
DEFORMACION DE LA SUPERFICIE																			
8a AGRIETAMIENTO MAPA (número) (metros cuadrados)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">0, 0</td> </tr> </table>	—	—	0	—	—	0, 0												
—	—	0																	
—	—	0, 0																	
8b SCALING (número) (metros cuadrados)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">2, 0</td> </tr> </table>	—	—	1	—	—	2, 0												
—	—	1																	
—	—	2, 0																	
9. AGREGADO PULIDO (metros cuadrados)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">0, 0</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">0, 0</td> </tr> </table>	—	—	0, 0	—	—	0, 0												
—	—	0, 0																	
—	—	0, 0																	
10 DESPRENDIMIENTOS (número por metro cuadrado)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">0</td> </tr> </table>	—	—	0	—	—	0												
—	—	0																	
—	—	0																	
OTROS DETERIOROS																			
11 ESTALLAMIENTOS (número)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">0</td> </tr> </table>	—	—	0	—	—	0												
—	—	0																	
—	—	0																	
12 ESCALONAMIENTO DE JUNTAS TRANSVERSALES Y GRIETAS																			
13 HUNDIMIENTO CARRIL A HOMBRO																			
14 SEPARACION CARRIL A HOMBRO																			
15 BACHEO/DAÑO DEL BACHEO (Número) (metros cuadrados)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">0, 0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">—</td> <td style="text-align: right;">—</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">7, 0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">—</td> <td style="text-align: right;">—</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">2, 1, 3</td> </tr> </table>	—	—	2	—	—	0, 0	—	—	1	—	—	7, 0	—	—	2	—	—	2, 1, 3
—	—	2																	
—	—	0, 0																	
—	—	1																	
—	—	7, 0																	
—	—	2																	
—	—	2, 1, 3																	
16 SANGRADO DE AGUA Y BOMBEO Número de ocurrencias Longitud afectada (metros cuadrados)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">—</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">—</td> <td style="text-align: right;">—</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">—</td> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">4, 5</td> </tr> </table>	—	—	0	—	—	0	—	—	4	—	—	4, 5						
—	—	0																	
—	—	0																	
—	—	4																	
—	—	4, 5																	
16 OTROS (Describir)																			

Fig. 95. Hoja número 2

HOJA 4		No.	_____	
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS		Nombre	_____	
		Tramo	_____	
		Sección	_____	
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS PARA SUPERFICIES CON PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO CON JUNTAS				
<u>CONTINUACIÓN</u>				
FECHA DEL LEVANTAMIENTO CALIFICADORES		FECHA DEL LEVANTAMIENTO (DÍA/MES/AÑO)		
FV-BG-JV		28 - JUN - 2002		
13. Hundimiento carril a hombro				
14. Separación carril a hombro				
Punto	Distancia ¹ (metros)	Hundimiento carril a hombro (mm)	Separación carril a hombro (mm)	Bien sellada (S/N)
1.	0	— — <u>4</u> ,	— — <u>8</u> ,	<u>S</u>
2.	15	— — <u>8</u> ,	— — <u>6</u> ,	<u>S</u>
3.	30	— — <u>0</u> ,	— <u>1 0</u> ,	<u>S</u>
4.	45	— — <u>6</u> ,	— — <u>8</u> ,	<u>S</u>
5.	60	— — —,	— — —,	—
6.	75	— — —,	— — —,	—
7.	90	— — —,	— — —,	—
8.	105	— — —,	— — —,	—
9.	120	— — —,	— — —,	—
10.	135	— — —,	— — —,	—
11.	150	— — —,	— — —,	—
Nota	La distancia es desde el inicio de la sección de análisis al lugar de medición			
Nota	Si se presentan levantamiento del hombro, regístrelo como negativo (-). No registre signos (+), ya que se asumen valores positivos			

Fig. 97. Hoja número 4

3.2 ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DETERIOROS

Es importante destacar que el tramo en análisis consta de 13 kilómetros de carretera, por lo que se decidió junto a los Docentes Directores, desarrollar una metodología práctica, segura, económica y que los resultados obtenidos a través de este proceso fueran de carácter confiable.

La metodología que se utilizó en esta oportunidad para realizar el estudio del levantamiento de deterioros, fue analizada desde el punto de vista técnico y económico, llegando a la conclusión que se utilizaría una cámara de video para obtener la información de campo debido a que nuestro tramo en estudio cuenta con un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 41,521 vehículos hasta la fecha, indicando que dicho tramo es de alto tránsito. Por tanto el levantamiento de deterioros no se realizó a pie.

Después de haber obtenido las imágenes reales de cada losa con sus respectivos tipos de deterioros, se procedió en oficina a trasladar de forma directa de los videos los diferentes deterioros en el modelo de mapas de deterioros (ver fig. 91), utilizando los símbolos del Manual de Levantamiento de Deterioros de la SIECA (ver tabla N° 7).

Posteriormente se realizó el resumen de deterioros de cada lateral, los cuales se presentan en las siguientes tablas:

RESUMEN DE DETERIOROS DEL CARRIL DE DESACELERACIÓN

RESUMEN DE DETERIOROS				
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD			TOTAL
	BAJO	MODERADO	ALTO	
AGRIETAMIENTO				
1. ROTURA DE ESQUINA (número)	98	409	150	657
2. GRIETAS TIPO D (número de losas afectadas)				0
3. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL (metros)	542.13	2195.58	602.39	3340.1
4. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL (número de grietas)	132	1183	754	2069
(metros)	505.68	4098.43	572.36	5176.47
DEFICIENCIAS DE LAS JUNTAS				
5a. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL (número)				
5b. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL (número)				
(metros)				
6. DESPORTILLAMIENTO DE JUNTAS LONGITUDINALES (metros)	2840.64	2195.04	903.84	5939.52
7. DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES (número)	162	50	23	235
(metros)	404.62	112.06	27.3	543.98
DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE				
8a. AGRIETAMIENTO TIPO MAPA				0
8b. ESCAMADURA				0
9. AGREGADO PULIDO ⁽²⁾				
10. DESPRENDIMIENTOS (número de losas)				2693
(número por metro cuadrado)				2.7
15. BACHEO (número)	110	80	552	742
(metros cuadrados)	1146	548.91	5505.7	7200.61

TABLA N° 8. Resumen de los deterioros encontrados en la Pista Izquierda, carril de desaceleración

OBSERVACIONES

⁽¹⁾ El sello de las juntas no existe en su totalidad

⁽²⁾ El pulimento del agregado representa aproximadamente el 29% de la longitud total

PORCENTAJES DE DETERIOROS DEL CARRIL DE DESACELERACIÓN

PORCENTAJES DE NIVELES DE SEVERIDAD				
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD			TOTAL
	BAJO	MODERADO	ALTO	
AGRIETAMIENTO				
1. ROTURA DE ESQUINA (Porcentaje de roturas)	22.83	62.25	14.91	100
2. GRIETAS TIPO D				0
3. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL (Porcentaje de longitud dañada)	18	65.73	16.23	100
4. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL (Porcentaje de longitud dañada)	11.1	79.17	9.76	100
DEFICIENCIAS DE LAS JUNTAS				
5a. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL (Porcentaje de juntas dañada)				100
5b. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL (Porcentaje de longitud dañada)				100
6. DESPORTILLAMIENTO DE JUNTAS LONGITUDINALES (Porcentaje de longitud dañada)	47.83	36.96	15.22	100
7. DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES (Porcentaje de longitud dañada)	5.01	20.6	47.38	100
DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE				
8a. AGRIETAMIENTO TIPO MAPA				0
8b. ESCAMADURA				0
9. AGREGADO PULIDO				29
10. DESPRENDIMIENTOS				
15. BACHEO (Porcentaje de metros cuadrados dañados)	15.91	7.62	76.88	100

TABLA N° 9. Porcentajes de niveles de severidad presentados en la Pista Izquierda, carril de desaceleración

RESUMEN DE DETERIOROS DEL CARRIL DE ACCELERACIÓN

RESUMEN DE DETERIOROS				
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD			TOTAL
	BAJO	MODERADO	ALTO	
AGRIETAMIENTO				
1. ROTURA DE ESQUINA (número)	70	354	295	719
2. GRIETAS TIPO D (número de losas afectadas)				0
3. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL (metros)	294.13	549.64	619.04	1462.81
4. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL (número de grietas)	84	303	287	674
(metros)	238.14	882.15	826.32	1946.61
DEFICIENCIAS DE LAS JUNTAS				
5a. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL ⁽¹⁾ (número)				
5b. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL ⁽¹⁾ (número)				
(metros)				
6. DESPORTILLAMIENTO DE JUNTAS LONGITUDINALES (metros)	2840.64	2195.04	903.84	5939.52
7. DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES (número)	114	57	45	216
(metros)	103.77	46.63	20.23	170.63
DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE				
8a. AGRIETAMIENTO TIPO MAPA				0
8b. ESCAMADURA				0
9. AGREGADO PULIDO ⁽²⁾				
10. DESPRENDIMIENTOS (número de losas)				2523
(número por metro cuadrado)				2.7
15. BACHEO (número)	225	170	44	423
(metros cuadrados)	1136.85	1043.89	230.9	2411.64

TABLA N° 10. Resumen de los deterioros encontrados en la Pista Izquierda, carril de aceleración

OBSERVACIONES

⁽¹⁾ El sello de las juntas no existe en su totalidad

⁽²⁾ El pulimento del agregado representa aproximadamente el 29% de la longitud total

PORCENTAJES DE DETERIOROS DEL CARRIL DE ACELERACIÓN

PORCENTAJES DE NIVELES DE SEVERIDAD				
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD			TOTAL
	BAJO	MODERADO	ALTO	
AGRIETAMIENTO				
1. ROTURA DE ESQUINA (Porcentaje de roturas)	9.74	49.24	41.02	100
2. GRIETAS TIPO D				0
3. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL (Porcentaje de longitud dañada)	20.11	37.57	42.32	100
4. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL (Porcentaje de longitud de daño)	12.23	45.32	42.45	100
DEFICIENCIAS DE LAS JUNTAS				
5a. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL (Porcentaje de juntas dañada)				100
5b. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL (Porcentaje de longitud dañada)				100
6. DESPORTILLAMIENTO DE JUNTAS LONGITUDINALES (Porcentaje de longitud dañada)	47.83	36.96	15.22	100
7. DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES (Porcentaje de longitud dañada)	60.82	27.33	11.85	100
DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE				
8a. AGRIETAMIENTO TIPO MAPA				0
8b. ESCAMADURA				0
9. AGREGADO PULIDO				58
10. DESPRENDIMIENTOS				
15. BACHEO (Porcentaje de metros cuadrados dañados)	47.14	43.3	9.57	100

TABLA N° 11. Porcentajes de niveles de severidad presentados en la Pista Izquierda, carril de aceleración

CONSOLIDADO DE DETERIOROS DE LA PISTA IZQUIERDA

RESUMEN DE DETERIOROS				
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD			TOTAL
	BAJO	MODERADO	ALTO	
AGRIETAMIENTO				
1. ROTURA DE ESQUINA (número)	168	763	445	1376
2. GRIETAS TIPO D (número de losas afectadas)				0
3. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL (metros)	836.26	2745.22	1221.43	4802.81
4. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL (número de grietas)	216	1486	1041	2743
(metros)	743.82	4980.58	1398.68	7123.08
DEFICIENCIAS DE LAS JUNTAS				
5a. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL (número)				
5b. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL (número)				
(metros)				
6. DESPORTILLAMIENTO DE JUNTAS LONGITUDINALES (metros)	2840.64	2195.04	903.84	5939.52
7. DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES (número)	276	107	68	451
(metros)	508.39	158.69	47.53	714.61
DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE				
8a. AGRIETAMIENTO TIPO MAPA				0
8b. ESCAMADURA				0
9. AGREGADO PULIDO ²⁾				
10. DESPRENDIMIENTOS (número de losas)				5216
(número por metro cuadrado)				2.7
15. BACHEO (número)	335	250	596	1165
(metros cuadrados)	2282.85	1592.8	5736.6	9612.25

TABLA N° 12. Resumen de los deterioros que actualmente presenta la Pista Izquierda del tramo en estudio

PORCENTAJES DE DETERIOROS DE LA PISTA IZQUIERDA

PORCENTAJES DE NIVELES DE SEVERIDAD				
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD			TOTAL
	BAJO	MODERADO	ALTO	
AGRIETAMIENTO				
1. ROTURA DE ESQUINA (Porcentaje de roturas)	8.19	55.45	32.34	100
2. GRIETAS TIPO D				0
3. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL (Porcentaje de longitud dañada)	17.41	57.16	25.43	100
4. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL (Porcentaje de longitud dañada)	10.44	69.92	19.64	100
DEFICIENCIAS DE LAS JUNTAS				
5a. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL (Porcentaje de juntas dañada)				100
5b. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL (Porcentaje de longitud dañada)				100
6. DESPORTILLAMIENTO DE JUNTAS LONGITUDINALES (Porcentaje de longitud dañada)	47.83	36.96	15.22	100
7. DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES (Porcentaje de longitud dañada)	71.14	22.21	6.65	100
DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE				
8a. AGRIETAMIENTO TIPO MAPA				0
8b. ESCAMADURA				0
9. AGREGADO PULIDO				58
10. DESPRENDIMIENTOS				
15. BACHEO (Porcentaje de metros cuadrados dañados)	23.75	16.57	59.68	100

TABLA N° 13. Porcentajes de los niveles de severidad que actualmente presenta la Pista Izquierda del tramo en estudio

➤ AGRIETAMIENTOS

1. ROTURAS DE ESQUINA

El número de Roturas de Esquinas son mayores en el carril de aceleración, se tienen un total de 719 contra 657 del carril de desaceleración, esto posiblemente a 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. Así mismo, la presencia de arenas angulosas sueltas muy próximas a la pista hacen que aumente la abrasión de las llantas que ascienden y descienden del pavimento, provocando peladuras severas que pueden conducir a la desintegración.

2. GRIETAS TIPO “D”

Durante el levantamiento de daños realizado al tramo en estudio en el mes de junio de 2002, no se encontró este tipo de daños ya que éste solamente se presenta en climas fríos.

3. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL

El mayor número de agrietamientos longitudinales pertenecen al carril de desaceleración, con un total de 3,340.1 metros lineales de agrietamiento. Este tipo de deterioro es posible que se haya originado por la repetición de cargas pesadas de los vehículos, pérdida del soporte de carga de la fundación, gradiente de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales y aserrado tardío de la junta.

4. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL

El mayor número de agrietamientos transversales se presentó en el carril de desaceleración con un total de 2,069 número de grietas, que representan 5,176.41 metros de longitud. Las causas por las que posiblemente el carril de desaceleración este mayormente afectado que el carril de aceleración podría deberse a una combinación de una serie de factores dentro de las cuales se encuentran las excesivas repeticiones de carga (fatiga del concreto), deficientes apoyos de las losas, asentamiento de la fundación, deficiencia en la ejecución de éstas y variaciones excesivas en el espesor de la losa.

➤ DEFICIENCIA DE LAS JUNTAS

5. SELLO DAÑADO EN LA JUNTA TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL

Este tipo de daños es severo en el tramo en estudio, ya que el sello de la junta transversal (en ambos carriles) y longitudinal se ha perdido aproximadamente en un 100%, la pérdida de este sello pudo ser por los siguientes factores: endurecimiento por oxidación del material utilizado para sellar las juntas, pérdida de adherencia con los bordes de las losas y escasez o ausencia del material de sello.

6. DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS LONGITUDINALES

Las juntas longitudinales se encuentra desportilladas en 5,939.52 metros lineales. Este tipo de deterioro se produce como consecuencia de diversos factores que pueden actuar aislada o combinadamente, puede haberse debido a las excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles, por la debilidad del concreto en la proximidad de la junta debido a un sobre-acabado y excesiva disturbación durante la ejecución de la junta, al deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta y la acumulación de agua a nivel de las juntas.

7. DESPORTILLAMIENTO DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES

El mayor número de desportillamientos se presentó en el carril de desaceleración con un total de 235 número de desportillamientos, que representan 543.98 metros de longitud. Las posibles causas que originan este tipo de deterioro son las mismas a las que producen el desportillamiento de las juntas longitudinales.

➤ **DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE**

8a. AGRIETAMIENTO TIPO MAPA

Este tipo de deterioro no se presentó en el tramo en estudio.

8b. ESCAMADURA

Este tipo de deterioro no se presentó en el tramo en estudio.

9. AGREGADO PULIDO

De acuerdo al levantamiento realizado se determinó que aproximadamente el 58% del pavimento del tramo en estudio presenta este tipo de falla. La causa principal por la que pudo haber surgido este tipo de deterioro es el tránsito, 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.

10. DESPRENDIMIENTOS

En la evaluación realizada para ambos carriles, se determinó que existen un total de 5216 losas afectadas, con un promedio de 2.7 desprendimientos por metro cuadrado.

15. BACHEO

El número de Bacheos son mayores en el carril de desaceleración presentando 742 baches, haciendo un total de 7200.61 metros cuadrados. En el caso de baches asfálticos, éste es causado posiblemente por baja capacidad estructural o la mala construcción del mismo. También por el reemplazo de nuevas losas de concreto hidráulico de espesor similar al del pavimento existente, que brindan insuficiente traspaso de cargas en las juntas de contracción. En el caso de baches con concreto de pequeñas dimensiones, inferiores a una losa, por la retracción de fraguado del concreto del bache, que lo despega del concreto antiguo.

El Escalonamiento de las Juntas Transversales y Grietas, no fue evaluado debido a que la metodología utilizada para el levantamiento de deterioros (levantamiento con cámara de video) no permitía identificarlos.

3.3. PRUEBAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO

El deterioro de los pavimentos de concreto construidos en nuestro país durante los últimos años es el punto de partida de este trabajo de graduación, que busca contribuir a la solución de un problema tan importante como lo es la infraestructura vial. Apegados al concepto de modernización es necesario proponer una metodología para evaluar la acción de diversos factores que inciden en la durabilidad de las estructuras, con el objeto de que los resultados que se desprendan de su aplicación se tomen en cuenta al formular las especificaciones de la rehabilitación de una carretera.

Durante los últimos años, la red vial del país se ha ido modernizando, como consecuencia de ello, se incrementa el auge de los pavimentos de concreto hidráulico.

La Carretera Panamericana desde La Cuchilla hasta el desvío a Ciudad Arce (Km 22-35) que conduce al departamento de Santa Ana, ha concluido su período de vida útil, debido a un incremento excesivo en los volúmenes de tránsito para el cual fueron diseñados, cargas excesivas por eje, malos drenajes, fugas de agua en tuberías, derrames de aceite y combustible por motores de vehículos en mal estado, inclemencias del tiempo, entre otros. Todos estos factores han provocado algunos daños de baja, media y alta severidad de los diferentes tipos de deterioros que se pueden presentar en los pavimentos de concreto hidráulico.

El principal objetivo del diseño de pavimentos de concreto hidráulico está orientado a garantizar que éste cumpla de manera satisfactoria el tiempo para el cual ha sido diseñado (vida útil); por lo que se hace necesario realizar diferentes estudios, entre los cuales están la resistencia a la compresión, abrasión, flexión, durabilidad e impermeabilidad.

En nuestro país las experiencias utilizando concreto hidráulico en carreteras y vías urbanas, se remonta específicamente en la Ciudad de San Salvador, donde en los años de 1921 a 1928, se utilizó como base para asfalto y en losas de concreto para varias calles destinadas al servicio de carreteras, posteriormente fue utilizada en redondeles e intervenciones de avenidas y calles del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), existiendo actualmente algunos proyectos de éstos en buen estado.

Para la rehabilitación de un pavimento de concreto hidráulico, una vez éste ha cumplido su vida útil, se hace necesario e indispensable realizar un análisis de la situación en la que se encuentran. Existen actualmente diversos métodos mecánicos para evaluar la resistencia del concreto dentro de los cuales tenemos:

- Pruebas No Destructivas.
- Pruebas Semi-Destructivas.
- Pruebas Destructivas.

a) PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

La característica principal de esta clase de pruebas, es que permite evaluar la estructura natural en diferentes oportunidades sin dañarla, obteniéndose una mayor cantidad de resultados. Entre las diferentes pruebas no destructivas que se realizan actualmente a los pavimentos hidráulicos tenemos la Prueba de Martillo de Rebote (ASTM C 805), Prueba de Pulso Ultrasónico (ASTM C 597) y Prueba de Micro Convermeter o Pachómetro.

b) PRUEBAS SEMI-DESTRUCTIVAS

Esta clase de pruebas son las que ocasionan daño local pudiéndose hacer nuevas pruebas en las inmediaciones del mismo. Entre estos ensayos que se

realizan se encuentran los siguientes: Prueba de la Resistencia a la Penetración o Prueba de Sondeo de Windsor (ASTM C 803).

c) PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Este tipo de pruebas se realiza a escala natural y con muestras con características similares a las de la estructura a analizar, a las muestras que se les efectúa el ensayo no son recuperables, ejemplo: Extracción de Núcleos (ASTM C 42, AASHTO T 24), Extracción de Vigas Aserradas (ASTM C 42, AASHTO T 24).

Para determinar la propuesta de reparación de pavimentos en nuestro tramo de estudio se requirió diferentes ensayos como: Extracciones de Núcleos, Resistencia a la Compresión y Resistencia a la Tensión Indirecta de Núcleos de Concreto Hidráulico (normados por ASTM Y AASHTO, anexo N° 3), Falling Weight Deflectometer (FWD), así mismo el Estudio de Tráfico correspondiente.

La importancia de conocer el origen de los daños es para determinar cuales son las técnicas de reparación más adecuadas a utilizar en la vía.

Para realizar las extracciones de núcleos se solicitó el permiso correspondiente al Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOPTVDU), Unidad de Planificación Vial (UPV), una vez aceptada nuestra solicitud, la empresa Consultora Técnica S.A. de C.V. (CONTECSA), nos facilitó el equipo (Extractor de Núcleos de gasolina) y personal técnico para realizar las extracciones el día 18 de Septiembre de 2002.

Debido a que el objetivo principal de nuestro trabajo de graduación es determinar la factibilidad de la aplicación de la técnica de cepillado en el tramo en estudio, es necesario realizar un análisis para determinar las condiciones

estructurales y mecánicas en que este tramo se encuentra actualmente. Por consiguiente se realizaron diferentes tipos de pruebas de laboratorio, las cuales se describen a continuación:

3.3.1. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS (ASTM C 42, AASHTO T 24)

La extracción de núcleos es un ensayo destructivo que requiere la extracción física de materiales, en este caso del pavimento, para obtener muestras de los mismos (Ver fig. 98).



Fig. 98. Extracción de Núcleo

La extracción de núcleos es una práctica de campo muy adecuada para conocer los espesores de las capas de pavimento; además es útil para obtener muestras de material a los cuales se les realizan pruebas de laboratorio para conocer su resistencia mecánica (compresión y flexión), así mismo permite visualizar problemas de las capas del pavimento, la adherencia entre las mismas, la erosión del apoyo, defectos en la losa del concreto o las condiciones de drenaje.

Como parte de la evaluación estructural se realizaron dos ensayos destructivos por cada kilómetro del tramo en estudio, uno ubicado en la Pista Izquierda, carril de desaceleración y el otro en la Pista Izquierda, carril de aceleración respectivamente.

Para realizar este tipo de pruebas, el concreto deberá de tener como mínimo 14 días de edad antes que el espécimen sea removido. Cuando en la extracción de los especímenes éstos presenten defectos anormales o hayan sufrido daños en el proceso de extracción, no deberán de ser utilizados en el ensayo de compresión, ya que sus resultados no serían confiables; otro cuidado que se debe de tomar en cuenta al momento de estar realizando las extracciones de núcleos es saber donde se encuentra ubicado el acero de refuerzo.

Al momento de realizar la extracción del núcleo deberá tenerse el cuidado que la broca de diamante esté perpendicular a la superficie de rodadura del concreto, para evitar que el núcleo extraído no sea apto para realizarle las diferentes pruebas destructivas.

3.3.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C 42)

Este método de prueba consiste en aplicar una carga axial a cilindros moldeados o corazones de concreto, y calcular la resistencia a la compresión mediante la medición de la división de la carga máxima obtenida en el espécimen entre el promedio del área real de la sección transversal del mismo.

Los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma transversal del mismo, del procedimiento del mezclado, de los métodos de muestreo, del moldeado, de la fabricación, edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.

Los resultados de este método de prueba, pueden ser utilizados como una base para el control de calidad del concreto, determinación de variaciones con especificaciones, control de evaluación de la efectividad de las mezclas y usos similares.

La máquina de prueba puede ser de cualquier tipo con capacidad suficiente y que pueda funcionar a la velocidad de aplicación de la carga de 84 a 210 Kgf/cm²/min (137 a 343 Kpa/seg) especificada.

La máquina debe estar equipada con dos bloques de acero para ser utilizado en la parte superior e inferior del espécimen, en esta última debe emplearse un bloque rígido donde descansa el espécimen.

Para la determinación de la longitud del taladrado de un núcleo, éste tendrá un diámetro de al menos 4" (102 mm) cuya medición se realiza de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 174.

El diámetro del núcleo para la determinación de la resistencia a la compresión deberá ser preferiblemente de al menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso usado en el concreto y puede ser de al menos el tamaño máximo nominal del agregado grueso del núcleo obtenido. La longitud del núcleo cuando se ha cabeceado, deberá ser tan próxima como sea posible a dos veces su diámetro. Un núcleo que tenga una altura máxima menor al 95% de su diámetro antes de cabeceado o altura menor que su diámetro después de cabeceado, no deberá ser ensayado.

Para el proceso de preparación final, los extremos del núcleo a ser ensayados a compresión estarán esencialmente lisos, perpendiculares al eje longitudinal y del mismo diámetro que el cuerpo del espécimen. Se deben cortar los extremos del espécimen hasta que las proyecciones, si hay alguna, no se extiendan más de 0.2 pulgadas (5 mm) por encima de las caras extremas, las cuales no se deberán apartar de la perpendicular al eje longitudinal por más de 5°, y el diámetro de los extremos no deberá ser mayor que 0.1 pulgadas (2.5 mm) del diámetro medio del espécimen.

Si el concreto de la estructura va a estar seco en las condiciones de servicio, los núcleos se deberán secar al aire (temperatura entre 15 y 27°C, humedad relativa menor del 60%) durante 7 días antes de la prueba, y se deberán probar secos. Si el concreto de la estructura va a estar más que superficialmente húmedo en las condiciones de servicio, los núcleos de concreto se deberán sumergir en agua por lo menos durante 40 horas antes de realizar el ensayo. Antes de efectuar el ensayo de compresión, se deben preparar las bases de los especímenes (cabeceo) con materiales apropiados, elaborados para asegurar una correcta distribución de esfuerzos a los cilindros o núcleos de concreto, de acuerdo a los procedimientos establecidos en la norma ASTM C 617.

Además se debe medir la longitud del espécimen cabeceado con una precisión de 0.1 pulgadas (2.5 mm), dicha longitud sirve para calcular la relación longitud-diámetro (L/D), posteriormente determinar el diámetro promedio con la lectura de dos mediciones tomadas en ángulo recto en la altura media del espécimen con una precisión de 0.01 pulgadas (0.25 mm) cuando sea posible.

Si la relación longitud-diámetro del espécimen excede de 2.10, deberá ser reducida su longitud para caer entre los límites de la relación de 1.94 a 2.10, y si la relación longitud-diámetro es menor que 1.94 el resultado de la resistencia debe corregirse por esbeltez de acuerdo con lo establecido en la siguiente tabla:

Relación altura/diámetro del espécimen (L/D)	Factor de corrección a la resistencia
1.75	0.98
1.5	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Tabla N° 14. Factores de corrección

Fuente: Norma ASTM C 42

Los factores de la tabla N° 14 son aplicables a concretos de peso ligero de 1600 a 1900 Kg/m³ y a concreto de peso normal, concretos en estado seco o húmedo en el momento del ensayo. Los valores que no se dan en la tabla pueden ser determinados por interpolación. Los factores de corrección son aplicables para concretos de resistencia nominal de 13.8 a 41.4 Mpa (140 a 425 Kg/cm²).

Finalmente se calcula la resistencia a la compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal determinada; el resultado de la prueba se expresa con una aproximación de 100 Kpa (1 Kgf/cm²). La máquina utilizada para ensayos de compresión de cilindros de concreto se muestra en la figura 99.



Fig. 99. Máquina utilizada para el ensayo de compresión de núcleos de concreto

3.3.3. MÉTODO ESTANDAR DE ENSAYO PARA LA RESISTENCIA A TENSIÓN INDIRECTA DE CILINDROS DE CONCRETO, PRUEBA BRASILEÑA (ASTM C 496)

Este método de prueba consiste en colocar un cilindro estándar o corazón de concreto con su eje en posición horizontal, entre las placas de la máquina de ensayo, y se aplica una carga compresiva diametral hasta observar una falla de separación por compresión a lo largo del diámetro vertical, como se muestra en la figura 100.



Fig. 100. Máquina utilizada para el ensayo de tensión indirecta

Para determinar la superficie de carga, la línea de contacto entre el espécimen y cada borde de carga deberá ser recto y libre de alguna proyección o depresión más alta o más profunda que 0.01 pulgadas (0.25 mm). Cuando la línea de contacto no es recta o contiene proyecciones o depresiones mayores de 0.01 pulgadas. Se debe pulir o cabecear el espécimen para producir una línea de carga reuniendo estos requerimientos.

El esfuerzo a la tensión indirecta se calcula por medio de la aplicación de la siguiente formula:

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

Donde:

T = Esfuerzo de tensión indirecta (Kgf/cm²).

P = Carga máxima aplicada (Kgf).

l = Longitud (cm).

d = Diámetro (cm).

3.3.4. ESTUDIO DEFLECTOMÉTRICO

Las deflexiones son una medida de la deformación elástica que experimenta un pavimento al paso de una carga, y éstas son función no solo del equipo y estado del pavimento sino también del método y equipo de medida.

Para efectos de realizar el estudio deflectométrico se utiliza el equipo Falling Weight Deflectometer (Deflectómetro de Impacto), Modelo FWD-8000 de la Cía Dynastest-USA.

Las mediciones se realizan cada 250 m, ejecutando en cada estación tres mediciones. Estas mediciones son corregidas por dos factores: la carga y la temperatura.

Como resultado del estudio deflectométrico se valora la capacidad soporte de la estructura del pavimento, mediante el Módulo de Reacción de Sub-rasante (K), por ser un pavimento de concreto hidráulico.

Las mediciones son grabadas en medio magnético para su posterior procesamiento sistematizado y alimentación de la base de datos.

Las variables son básicas para la valoración de la futura falta estructural y nivel de intervención a realizar en la vía.

Los equipos son los adoptados y homologados por el programa SHARP USA, en la evaluación de las pistas de prueba.

➤ DESCRIPCIÓN DEL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO

El Falling Weight Deflectometer (FWD) consiste en aplicar una carga dinámica (para el caso de nuestro tramo en estudio se aplicó 40 KN, equivalente al eje de referencia de 8.2 ton) en el pavimento causada por la caída de una masa sobre un plato circular (de diámetro 30 cm), cuya superficie de contacto se asemeja al de la impronta (superficie de contacto de la rueda con el pavimento) de la rueda de un camión. Las deflexiones producidas son medidas por medio de un grupo de geófonos en unidades de micrones (milésimas de milímetros) en siete puntos, cada uno separado de la carga a una distancia de 30 cm, teniendo en cuenta que el primer geófono se encuentra bajo el punto de aplicación de la carga, que corresponde a la deflexión central.

La operación del equipo está a cargo de técnicos en la toma de información y mecánica. En cada estación de medición se realizan tres mediciones de tal manera de asegurar la repetitividad de los resultados dentro de un rango de desviaciones aceptables considerándose el valor promedio en el procesamiento la información.

El sistema FWD 8000 está compuesto por tres partes esenciales:

❖ EL TRAILER

Contiene todo el equipo de medición, el sistema hidráulico que proporciona el elevamiento de la carga para luego dejarla caer y así aplicar la carga dinámica. La barra de sensores sostiene a los deflectómetros (en total 7), los cuales tienen una separación de 300 mm c/u uno respecto de otro y en general es la parte mecánica del equipo (ver fig. 101).

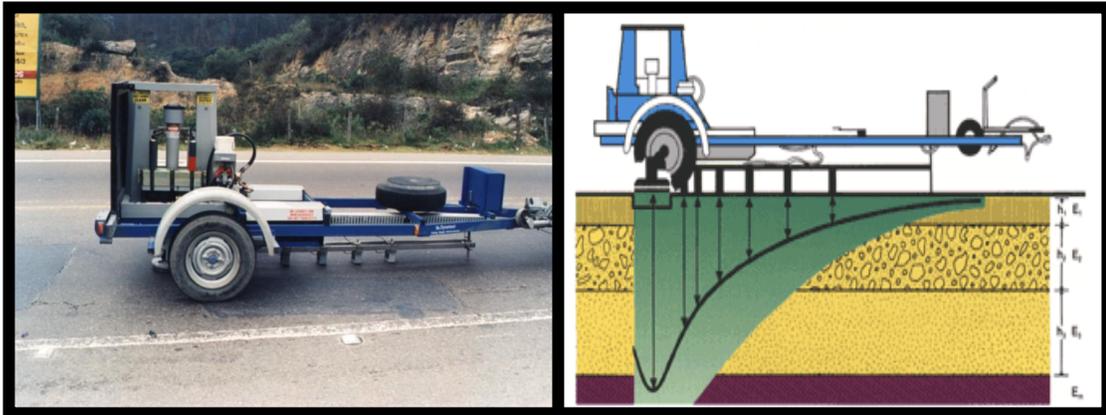
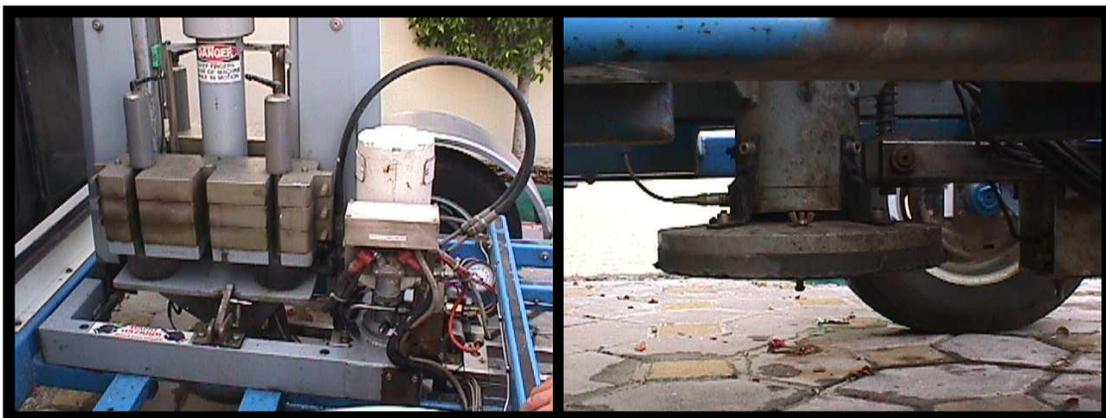


Fig. 101. Deflectómetro de impacto



❖ EL COMPUTADOR

Es el encargado de controlar todos los procesos realizados por el trailer tanto en la parte de control, así como la captura de los datos obtenidos por los deflectómetros y por el sensor de carga y almacenarlos para su posterior procesamiento en oficina.

❖ EL PROCESADOR INTERFASE

Es el puente entre el computador ubicado en la camioneta y el trailer. El Procesador Interfase, se encarga de transformar las señales eléctricas provenientes del trailer en señales digitales para que el computador las procese.

La magnitud de la carga es registrada en Kpa por otro sensor ubicado en el centro del plato de carga durante la aplicación de la carga al pavimento. En el reporte de mediciones se expresa la carga en KN.

La temperatura en el concreto asfáltico es medida a una profundidad de 5 cm por el método explicado en la norma ASTM D 4695-87. La medición de la distancia recorrida es llevada a cabo por un dispositivo (odómetro) el cual indica la abscisa a medir.

La calibración de los equipos y la exactitud de las mediciones y desviaciones permisibles están de acuerdo a la norma ASTM D 4694-87.

➤ **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO (SN_{ef})**

El número estructural efectivo (SN_{ef}) se estima por retrocálculo a partir de la curva completa de deflexión.

El cálculo se realiza mediante la metodología Rohde³. Este investigador propone que se puede asumir que la deflexión medida en la superficie del pavimento a una distancia imaginaria de 1.5 veces el espesor total (h_t) de la estructura del pavimento (desde el centro del plato de carga) se origina totalmente en la sub-rasante.

Al relacionar el valor de la deflexión producida a 1.5 veces el espesor total (bajo el plato de carga), se puede encontrar un “índice” asociado a la magnitud de la deformación que ocurre dentro de la estructura del pavimento que se define así⁴:

$$SIP = D_0 - D_{1.5 \times H_t}$$

Donde:

SIP = Índice Estructural del Pavimento.

D_0 = Deflexión Central bajo el plato de carga, debido a una carga de 40 KN (9000 lb).

$D_{1.5 \times H_t}$ = Deflexión medida en la superficie del pavimento bajo una carga de 40 KN (9000 lb) a una línea imaginaria de 1.5 veces el espesor total de la estructura del pavimento (h_t).

H_t = Espesor total del pavimento en pulgadas.

³ Technology and Management LTD. (TNM)

⁴ “Dertermining a pavement’s structural number from FWD testing”. Gustav T. Rohde

La determinación del Número Estructural Efectivo se obtiene mediante la siguiente relación⁵:

$$SN_{ef} = k_1 \times SIP^{k_2} \times H_p^{k_3}$$

Donde:

SN_{ef} = Número Estructural Efectivo.

SIP = Índice del pavimento, calculado con la expresión relacionada anteriormente.

H_p = Espesor total del pavimento en mm.

K_1, K_2 y K_3 = Coeficientes.

El cálculo del Número Estructural Efectivo se realiza por medio de un software especializado, de acuerdo con la metodología antes indicada. Los valores obtenidos de este programa son reportados a la base de datos asociados a cada tramo. Así también se ha investigado y calibrado el modelo a fin de obtener el aporte real de la estructura del pavimento en las condiciones existentes de humedad, material y compatibilidad.

➤ DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUB-RASANTE (K)

A partir de las deflexiones ejecutadas con el Deflectómetro de Impacto (FWD), se procede a calcular el Módulo de Reacción (K) del material de apoyo bajo la losa (sub-rasante y sub-base granular si existe).

Para obtener el Módulo de Reacción se utiliza la ecuación de Westergard⁶:

⁵ Paper No. 1374, Transport Research Board - 1992

⁶ Westergard, H.M. Stresses in Concrete Runways of airports

$$K = \left(\frac{p}{8 * d_o * l_k^2} \right) * \left[1 + \frac{1}{2\pi} \right] * \left[\ln \left(\frac{a}{2 * l_k} \right) + 0.5772156649 - 1.25 \right] * \left(\frac{a}{l_k} \right)^2$$

Donde:

d_o = Deflexión producida en el centro del plato de carga, en pulgadas.

p = Carga en libras.

a = Área de acción de carga.

l_k = Rigidez Relativa.

El Módulo de Reacción (K) calculado a partir de deflexiones de FWD es un valor dinámico, y para el diseño del refuerzo se requiere de un valor estático.

El valor de Módulo de Reacción (K) estático se obtiene de la siguiente manera:

$$K_{\text{estático}} = K_{\text{dinámico}} / 2$$

El valor de $K_{\text{estático}}$ es el utilizado en la base de datos asociada a cada tramo en análisis.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN
DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizaron 24 extracciones de núcleos de concreto hidráulico en el tramo en estudio, extrayendo dos núcleos en cada kilómetro de la pista izquierda, uno en carril de desaceleración y otro en el carril de aceleración. A continuación se representan los valores reales de espesores de cada losa en cada estacionamiento:

ESTACIONAMIENTO	NÚMERO DE SONDEO	ESPEORES (cm)
23+000	S = 24	e = 20.0
	S = 23	e = 20.0
24+000	S = 22	e = 20.5
	S = 21	e = 20.5
25+000	S = 20	e = 21.3
	S = 19	e = 21.3
26+000	S = 18	e = 23.5
	S = 17	e = 24.0
27+000	S = 16	e = 19.8
	S = 15	e = 19.7
28+000	S = 14	e = 20.4
	S = 13	e = 20.3
29+000	S = 12	e = 21.0
	S = 11	e = 21.0
30+000	S = 10	e = 20.5
	S = 9	e = 20.5
31+000	S = 8	e = 20.2
	S = 7	e = 20.1

ESTACIONAMIENTO	NÚMERO DE SONDEO	ESPEORES (cm)
32+000	S = 6	e = 21.0
	S = 5	e = 21.0
33+000	S = 4	e = 21.0
	S = 3	e = 21.0
34+000	S = 2	e = 21.3
	S = 1	e = 21.3

Tabla N° 15. Espesores reales de la estructura del pavimento del tramo en análisis

Nota: Base tipo granular a lo largo del tramo en estudio.

S = espesores promedios

Antes de iniciar los ensayos de Resistencia a la Compresión de Núcleos de Concreto Hidráulico (ASTM C 42) y de Resistencia a la Tensión Indirecta de Núcleos de Concreto (ASTM C 496) fue necesario verificar la relación L/D (longitud/diámetro) de cada núcleo, al igual que los extremos de los mismos (caras perfiladas perpendiculares al eje longitudinal y del mismo diámetro del núcleo), concluyendo que los doce núcleos seleccionados para el ensayo de compresión, cumplieron con las especificaciones establecidas en la norma ASTM C 174 (Ver anexo N° 4).

De los 24 núcleos extraídos del tramo La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce, se eligieron 12 de ellos para ensayos de compresión y 12 para ensayos de tensión indirecta.

➤ ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE NÚCLEOS

Una vez ensayados todos los núcleos se observó que el tipo de falla predominante fue la de Corte (CO), seguida de la falla de tipo columnar (Col), Cono y Partido (CS) y Cono y Corte (CC), no existiendo la falla tipo Cono (C) y NR (no se llegó a la ruptura final), las cuales se representan en la siguiente figura:

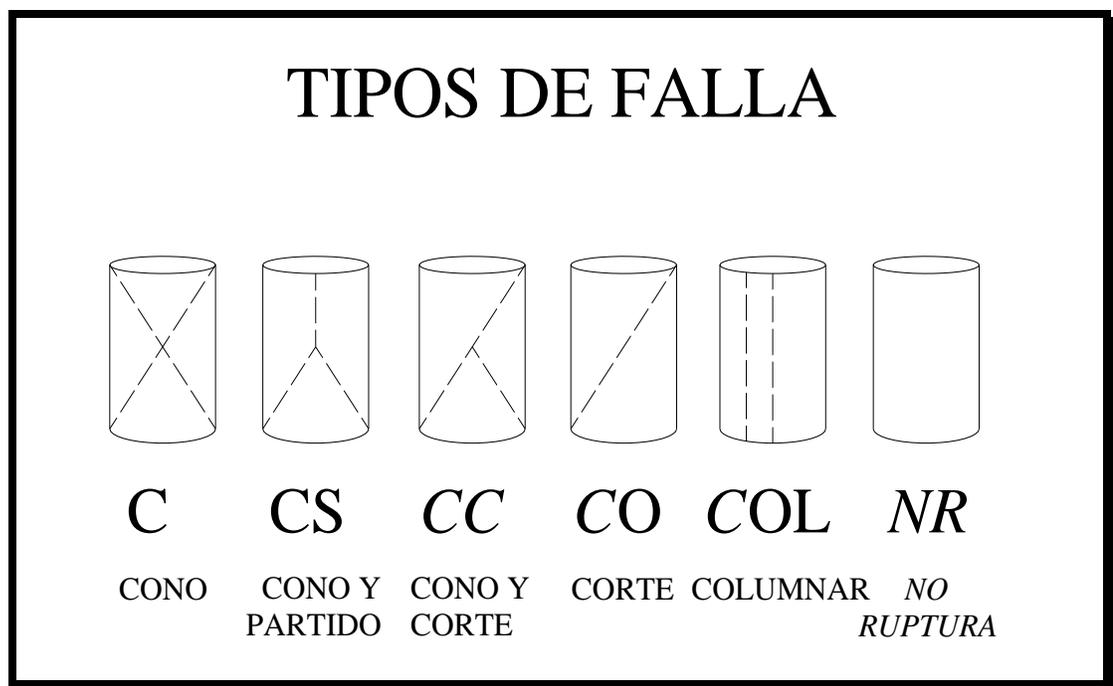


Fig. 102. Tipos de falla que ocurren cuando se realiza el ensayo de compresión de núcleos de concreto

La tabla N° 16 muestra el número de núcleos que fueron ensayados, dimensiones, pesos, volúmenes, pesos volumétricos, estacionamientos, carga, tipo de falla, esfuerzos, entre otros parámetros.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYOS REALIZADOS CON LA COLABORACIÓN DEL LABORATORIO DE CONSULTORA TÉCNICA S.A. DE C.V.
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C 42)
PROYECTO: CARRETERA PANAMERICANA CA:1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km. 22 - 35)

f_c (diseño) : 280 (Kg/cm²) M_r (diseño): 38.5 (Kg/cm²) Realizó: Tec. Nelson Barahona Fecha de ensayo: 23 - Sep - 2002

Núcleo N°	Estacionamiento	Año colado	Año ensayo	Peso (g)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	P. Volumétrico (Kg/m ³)	Carga		Tipo Falla	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Porcentaje de f_c
										(trf)	(Kg)			
1	34+000	1970 - 1971	2002	3.664	10.2	81.71	20.2	1650.6	2220	62.000	28.118	Co	344.1	122.9
3	33+000	1970 - 1971	2002	3.227	10.2	81.71	18.5	1511.7	2135	68.000	30.839	Co	377.4	134.8
5	32+000	1970 - 1971	2002	3.100	10.2	81.71	18.3	1495.3	2073	49.000	22.222	CC	272.0	97.1
7	31+000	1970 - 1971	2002	3.368	10.2	81.71	18.0	1470.8	2290	52.000	23.583	Col	288.6	103.1
9	30+000	1970 - 1971	2002	3.403	10.2	81.71	18.6	1519.9	2239	64.000	29.025	CS	365.2	128.9
12	29+000	1970 - 1971	2002	3.425	10.2	81.71	19.2	1568.9	2183	60.000	27.211	Col	333.0	118.9
13	28+000	1970 - 1971	2002	3.352	10.2	81.71	18.3	1495.3	2242	69.500	31.519	CS	385.7	137.8
16	27+000	1970 - 1971	2002	3.495	10.2	81.71	18.9	1544.4	2263	44.000	19.955	Co	244.2	87.2
17	26+000	1970 - 1971	2002	3.708	10.2	81.71	20.3	1658.8	2235	49.000	22.222	Co	272.0	97.1
19	25+000	1970 - 1971	2002	3.423	10.2	81.71	18.9	1544.4	2216	52.000	23.583	Co	288.6	103.1
21	24+000	1970 - 1971	2002	3.479	10.2	81.71	19.0	1552.5	2241	49.000	22.222	Co	272.0	97.1
24	23+000	1970 - 1971	2002	3.180	10.2	81.71	17.7	1446.3	2199	60.000	27.211	Col	333.0	118.9
											PROMEDIO	313.8	112.1	

Tabla N° 16. Cuadro resumen de núcleos de concreto hidráulico ensayados a la compresión

OBSERVACIONES

Tipos de Falla: C= Cono, CS= Cono y Partido, CC= Cono y Corte, Co= Corte, Col= Columnar

Después de obtener los valores de los esfuerzos de cada uno de los núcleos se procedió a su respectiva evaluación en las fórmulas de correlación entre el módulo de ruptura (M_r) y la resistencia a la compresión (f'_c), con el objeto de obtener el valor del módulo de ruptura de una manera indirecta. Las fórmulas utilizadas se muestran en la siguiente tabla⁷:

N°	AUTOR	ECUACIONES EN PSI
1	ACI Journal / Raphael, J. M.	$M_r = 2.3 \times f'_c{}^{2/3}$
2	ACI Code	$M_r = 7.5 \times f'_c{}^{1/2}$

Tabla N° 17. Fórmulas utilizadas para la obtención del módulo de ruptura del concreto

Una vez evaluados los valores en cada una de las fórmulas mencionadas anteriormente se obtuvieron los valores de módulo de ruptura:

NÚCLEO N°	$M_r = 2.3 \times f'_c{}^{2/3}$ (Kgf/cm ²)	$M_r = 7.5 \times f'_c{}^{1/2}$ (Kgf/cm ²)
1	112.9	139.1
3	120.1	145.7
5	96.5	123.7
7	100.4	127.4
9	115.4	141.4
12	110.5	136.9
13	121.9	147.3
16	89.9	117.2

⁷ www.pavement.com/techserv/fatq-strengthtest.html
Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (ACPA)

NÚCLEO N°	$Mr = 2.3 \times f'c^{2/3}$ (Kgf/cm ²)	$Mr = 7.5 \times f'c^{1/2}$ (Kgf/cm ²)
17	96.5	123.7
19	100.4	127.4
21	96.5	123.7
24	110.5	136.9

Tabla N° 18. Valores de módulo de ruptura obtenidos indirectamente

Como se puede observar en la tabla anterior los valores de módulo de ruptura encontrados no son coherentes, ya que el Mr de diseño era de 38.5 Kg/cm² y los valores obtenidos varían entre 89.9 Kg/cm² a 121.9 Kg/cm² para la fórmula $Mr = 2.3 \times f'c^{2/3}$ y entre 117.2 Kg/cm² a 147.3 Kg/cm² para $Mr = 7.5 \times f'c^{1/2}$.

➤ ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA

En la misma máquina que se utilizó para el ensayo de compresión, posteriormente se realizó el ensayo de Resistencia a la Tensión Indirecta de Núcleos de Concreto (ASTM C 496), con cada núcleo ensayado se generó una serie de datos los cuales están representados en la siguiente tabla:



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYOS REALIZADOS CON LA COLABORACIÓN DEL LABORATORIO DE CONSULTORA TÉCNICA S.A. DE C.V.
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA DE NÚCLEOS DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C 496)
PROYECTO: CARRETERA PANAMERICANA CA:1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km. 22 - 35)

f_c (diseño) : 280 (Kgf / cm²) Mr (diseño): 38.5 (Kgf / cm²) Realizó: Tec. Nelson Sarahona Fecha de ensayo: 23 - Sep - 2002

Núcleo N°	Estacionamiento	Año colado	Año ensayo	Peso (g)	Díámetro (pig)	Área (pig ²)	Longitud (pig)	Carga (lbf)	Tensión (Lbf / pig ²)	Tensión (KPa)
2	34+000	1970 - 1971	2002	3,664	4.0	12.67	8.0	1,700	34.0	234.6
4	33+000	1970 - 1971	2002	3,227	4.0	12.67	7.3	1,400	30.6	210.9
6	32+000	1970 - 1971	2002	3,100	4.0	12.67	7.2	1,400	30.9	213.2
8	31+000	1970 - 1971	2002	3,368	4.0	12.67	7.1	1,400	31.4	216.8
10	30+000	1970 - 1971	2002	3,403	4.0	12.67	7.3	1,600	34.8	239.8
11	29+000	1970 - 1971	2002	3,425	4.0	12.67	7.6	1,200	25.3	174.2
14	28+000	1970 - 1971	2002	3,352	4.0	12.67	7.2	1,400	30.9	213.2
15	27+000	1970 - 1971	2002	3,495	4.0	12.67	7.4	900	19.3	132.7
18	26+000	1970 - 1971	2002	3,708	4.0	12.67	8.0	1,400	27.9	192.2
20	25+000	1970 - 1971	2002	3,423	4.0	12.67	7.4	2,000	42.8	294.9
22	24+000	1970 - 1971	2002	3,479	4.0	12.67	7.5	1,500	31.9	220.0
23	23+000	1970 - 1971	2002	3,180	4.0	12.67	7.0	1,600	36.5	252.0
									31.4	216.2

Tabla N° 19. Cuadro resumen de núcleos de concreto hidráulico ensayados a la Tensión Indirecta

OBSERVACIONES

Tipos de Falla : C= Cono, CS= Cono y Partido, CC= Cono y Corte, Co= Corte, Col = Columnar

Cada uno de los valores obtenidos de tensión en la tabla N° 19, han sido evaluados en las fórmulas de correlación entre el módulo de ruptura y la tensión, con el propósito de obtener el valor de módulo de ruptura de forma indirecta. Las fórmulas que se utilizaron para obtener el Mr fueron las siguientes⁷:

N°	AUTOR	ECUACIONES EN PSI
1	Center For Transportation Research / Fowler D. W.	$Mr = Fst / 0.72$
2	Greer	$Mr = 21 + 1.254 \times Fst$
3	Greer	$Mr = 1.296 \times Fst$
4	Greer	$Mr = Fst + 150$
5	Hammit	$Mr = 1.02 \times Fst + 210.5$
6	Narrow & Ulbrig	$Mr = Fst + 250$

Tabla N° 20. Fórmulas utilizadas para la obtención del módulo de ruptura del concreto

Los valores de tensión obtenidos en el ensayo fueron evaluados en la fórmulas de correlación, teniendo como resultado los siguientes valores:

N°	$Mr = Fst / 0.72$	$Mr = 21 + 1.254 \times Fst$	$Mr = 1.296 \times Fst$
2	47.3	63.7	44.1
4	42.5	59.4	39.6
6	43.0	59.8	40.1
8	43.7	60.4	40.7
10	48.3	64.6	45.1
11	35.1	52.7	32.7
14	43.0	59.8	40.1
15	26.7	45.1	24.9
18	38.7	56.0	36.1
20	59.4	74.6	55.4
22	44.3	61.0	41.4
23	50.8	66.8	47.4

N°	$Mr = Fst + 150$	$Mr = 1.02 \times Fst + 210.5$	$Mr = Fst + 250$
2	184.0	245.2	284.0
4	180.6	241.7	280.6
6	180.9	242.0	280.9
8	181.4	242.6	281.4
10	184.8	246.0	284.8
11	175.3	236.3	275.3
14	180.9	242.0	280.9
15	169.3	230.1	269.3
18	177.9	238.9	277.9
20	192.8	254.1	292.8
22	181.9	243.1	281.9
23	186.5	247.8	286.5

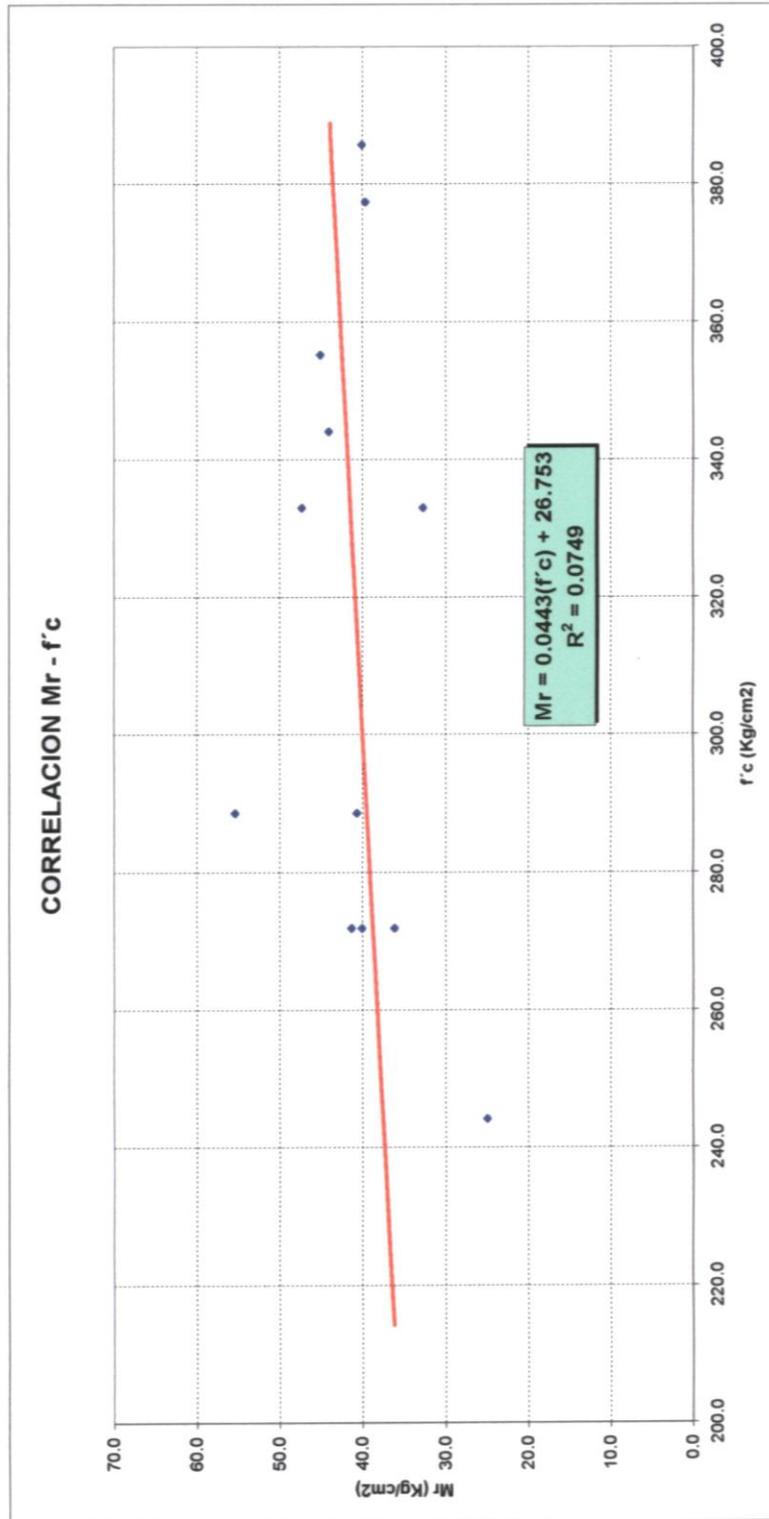
Tabla N° 21. Valores de módulo de ruptura obtenidos indirectamente

La tabla N° 21, refleja que los valores obtenidos indirectamente con las fórmulas correlacionales están por arriba del módulo de ruptura de diseño, los cuales no pueden ser considerados como parámetros.

Seguidamente se realizó una correlación simple (R) entre el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión, para determinar el grado de asociación o dependencia entre dos variables, obteniendo la gráfica que se muestra a continuación:



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 CORRELACIÓN DE $M_r - f_c$
 PROYECTO: CARRETERA PANAMERICANA CA:1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km. 22 - 35)



Gráfica N° 1. Correlación $M_r - f_c$, sin corregir

En la Grafica N° 1 se observa que los puntos ploteados generan un valor de $R^2= 0.0749$, equivalente a un valor de $R= 0.27$, no existiendo asociación entre las variables, ya que el valor de R debe estar comprendido entre 0.7 y 1.0 para que la correlación entre las variables sea óptimo. Por lo tanto, se realizaron diferentes correlaciones llegando a la conclusión que los puntos (11,12) y (19,20) provocaban que el valor de R se alejara del rango permitido, eliminando éstos se obtuvo un valor de $R^2= 0.323$, equivalente a un valor de $R= 0.57$. Este valor de R encontrado, no esta dentro del rango permitido, pero se considera aceptable, debido a que la cantidad de ensayos es limitada y al eliminar más valores con el objetivo de incrementar el valor de R, la gráfica no sería representativa.

A continuación se presentan los valores de módulo de ruptura ya corregidos, existiendo diferencias en los valores obtenidos en cada una de las fórmulas establecidas para la evaluación del mismo³:

N°	$Mr= Fst / 0.72$	$Mr= 21 + 1.254 \times Fst$	$Mr= 1.296 \times Fst$
2	47.3	63.7	44.1
4	42.5	59.4	39.6
6	43.0	59.8	40.1
8	43.7	60.4	40.7
10	48.3	64.6	45.1
14	43.0	59.8	40.1
15	26.7	45.1	24.9
18	38.7	56.0	36.1
22	44.3	61.0	41.4
23	50.8	66.8	47.4

N°	Mr= Fst + 150	Mr= 1.02 x Fst + 210.5	Mr= Fst + 250
2	184.0	245.2	284.0
4	180.6	241.7	280.6
6	180.9	242.0	280.9
8	181.4	242.6	281.4
10	184.8	246.0	284.8
14	180.9	242.0	280.9
15	169.3	230.1	269.3
18	177.9	238.9	277.9
22	181.9	243.1	281.9
23	186.5	247.8	286.5

Tabla N° 22. Valores corregidos de módulo de ruptura obtenidos indirectamente

No todos los valores de Mr obtenidos con las fórmulas de la tabla anterior, son congruentes en comparación con el Mr de diseño, por lo tanto se optó por utilizar únicamente los valores de Mr obtenidos con las fórmulas de $Mr = Fst/0.72$ y $Mr = 1.296 \times Fst$, ya que son los valores que más se aproximan a los de diseño. Los valores obtenidos con las fórmulas restantes no son congruentes en comparación con los resultados de los ensayos realizados a los especímenes extraídos del tramo en estudio, ocasionando un análisis alejado de la realidad.

Posteriormente de la evaluación de las diferentes fórmulas de correlación, se presentan los valores de módulo de ruptura, compresión y tensión indirecta ya corregidos, así mismo la gráfica de correlación ya corregida:



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYOS REALIZADOS CON LA COLABORACIÓN DEL LABORATORIO DE CONSULTORA TÉCNICA S.A. DE C.V.
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C 42)
PROYECTO: CARRETERA PANAMERICANA CA-1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km. 22 - 35)

Fecha de ensayo: 23 - Sep - 2002

Realizó: Tec. Nelson Barahona

Mr (diseño): 38.5 (Kgf / cm²)

Fc (diseño) : 280 (Kgf / cm²)

Núcleo N°	Estacionamiento	Año coiado	Año ensayo	Peso (g)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	P.Volumétrico (Kg / m ³)	Carga		Tipo Falla	Esfuerzo (Kgf / cm ²)	Porcentaje de f'c
										(lbf)	(Kgf)			
1	34+000	1970 - 1971	2002	3,664	10.2	81.71	20.2	1650.6	2220	62,000	28,118	Co	344.1	122.9
3	33+000	1970 - 1971	2002	3,227	10.2	81.71	18.5	1511.7	2135	68,000	30,839	Co	377.4	134.8
5	32+000	1970 - 1971	2002	3,100	10.2	81.71	18.3	1495.3	2073	49,000	22,222	CC	272.0	97.1
7	31+000	1970 - 1971	2002	3,368	10.2	81.71	18.0	1470.8	2290	52,000	23,583	Col	288.6	103.1
9	30+000	1970 - 1971	2002	3,403	10.2	81.71	18.6	1519.9	2239	64,000	29,025	CS	355.2	126.9
13	28+000	1970 - 1971	2002	3,352	10.2	81.71	18.3	1495.3	2242	69,500	31,519	CS	385.7	137.8
16	27+000	1970 - 1971	2002	3,495	10.2	81.71	18.9	1544.4	2263	44,000	19,955	Co	244.2	87.2
17	26+000	1970 - 1971	2002	3,708	10.2	81.71	20.3	1659.8	2235	49,000	22,222	Co	272.0	97.1
21	24+000	1970 - 1971	2002	3,479	10.2	81.71	19.0	1552.5	2241	49,000	22,222	Co	272.0	97.1
24	23+000	1970 - 1971	2002	3,180	10.2	81.71	17.7	1446.3	2199	60,000	27,211	Col	333.0	118.9
PROMEDIO												313.8	112.1	

Tabla N° 23. Cuadro resumen de núcleos de concreto hidráulico ensayados a la compresión, corregidos

OBSERVACIONES

Tipos de Falla : C= Cono, CS= Cono y Partido, CC= Cono y Corte, Co= Corte, Col = Columnar



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYOS REALIZADOS CON LA COLABORACIÓN DEL LABORATORIO DE CONSULTORA TÉCNICA S.A. DE C.V.
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA DE NÚCLEOS DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C 496)
PROYECTO: CARRETERA PANAMERICANA CA-1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km. 22 - 35)

f_c (diseño) : 280 (Kg/ cm²) Mr (diseño): 38.5 (Kg/ cm²) Realizó: Tec. Nelson Barahona Fecha de ensayo: 23 - Sep - 2002

Núcleo N°	Estacionamiento	Año colado	Año ensayo	Peso (g)	Dímetro (pig)	Área (pig ²)	Longitud (pig)	Carga (lbf)	Tensión (Lbf/ pig ²)	Tensión (KPa)
2	34+000	1970 - 1971	2002	3,664	4.0	12.57	8.0	1,700	34.0	234.6
4	33+000	1970 - 1971	2002	3,227	4.0	12.57	7.3	1,400	30.6	210.9
6	32+000	1970 - 1971	2002	3,100	4.0	12.57	7.2	1,400	30.9	213.2
8	31+000	1970 - 1971	2002	3,368	4.0	12.57	7.1	1,400	31.4	216.8
10	30+000	1970 - 1971	2002	3,403	4.0	12.57	7.3	1,600	34.8	239.8
14	28+000	1970 - 1971	2002	3,362	4.0	12.57	7.2	1,400	30.9	213.2
15	27+000	1970 - 1971	2002	3,495	4.0	12.57	7.4	900	19.3	132.7
18	26+000	1970 - 1971	2002	3,708	4.0	12.57	8.0	1,400	27.9	182.2
22	24+000	1970 - 1971	2002	3,479	4.0	12.57	7.5	1,500	31.9	220.0
23	23+000	1970 - 1971	2002	3,180	4.0	12.57	7.0	1,600	36.5	252.0
									31.4	216.2

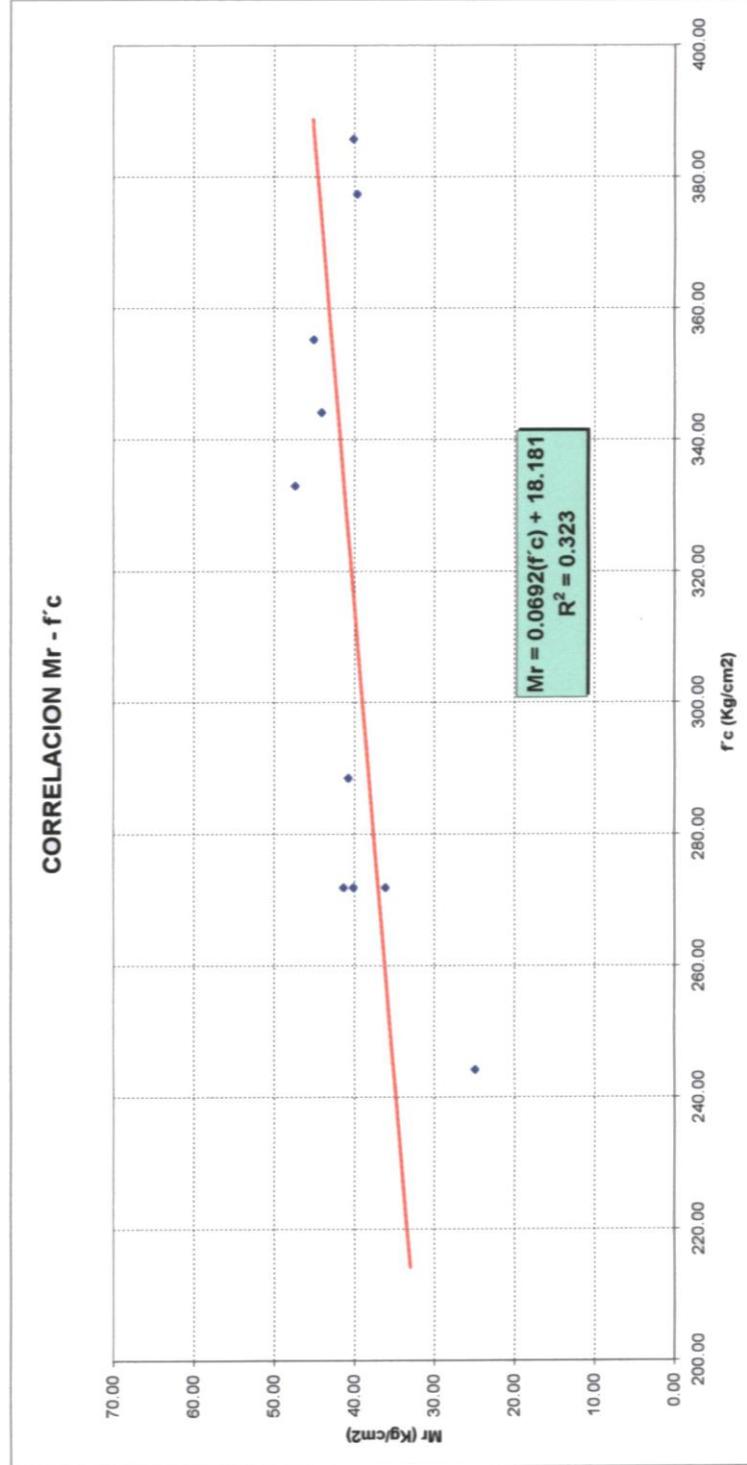
Tabla N° 24. Cuadro resumen de núcleos de concreto hidráulico ensayados a la Tensión Indirecta, corregidos

OBSERVACIONES

Tipos de Falla : C= Cono, CS= Cono y Partido, CC= Cono y Corte, Co= Corte, Col = Columnar



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 CORRELACIÓN $M_r - f_c$
 PROYECTO: CARRETERA PANAMERICANA CA:1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CUIDAD ARCE (Km. 22 - 35)



Gráfica N° 2. Correlación $M_r - f_c$, corregida

4.2. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE CEPILLADO EN EL TRAMO LA CUCHILLA-DESVÍO A CIUDAD ARCE

Para determinar la factibilidad de aplicación de la técnica de cepillado, la cual es una técnica de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto (RPC), es necesario realizar diferentes análisis, ya que el cepillado por si mismo no aumentará o restaurará la capacidad estructural del pavimento.

En la mayoría de los casos la Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Hidráulico es eficaz y económica cuando el pavimento se encuentra en una condición razonablemente buena, con sólo un leve nivel de deterioro. En estos casos la RPC disminuye el nivel y ritmo de deterioro, repara sólo aquellas áreas específicas que están causando los problemas y disminuye la cantidad de áreas a ser reparadas más tarde; en la figura 103 se muestra donde se ubica la RPC en la secuencia general de rehabilitación de los pavimentos de concreto. Este procedimiento preventivo, restaura el pavimento a una condición cercana o mejor a la original y reduce la necesidad de reparaciones mayores y más costosas.

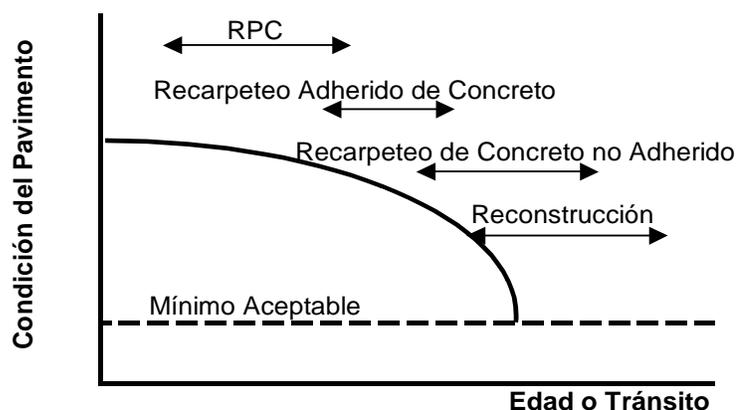


Fig. 103. La RPC debería ser la primera respuesta al deterioro de los pavimentos de concreto.

Para determinar si el pavimento en estudio (Tramo La Cuchilla- desvío a Ciudad Arce) se encuentra en este punto, se realizó el levantamiento de deterioros para determinar los diferentes tipos de deterioro y nivel de severidad que presenta el pavimento actualmente, con el propósito de utilizar el concepto de “Ventana de Oportunidad”. Así mismo se realizaron los ensayos de laboratorio necesarios para el estudio de las propiedades mecánicas del pavimento y el estudio de tráfico correspondiente (ver anexo N° 2).

➤ VENTANAS DE OPORTUNIDAD

Este concepto describe el rango de tiempo dentro del cual las técnicas de RPC pueden ser aplicadas de modo tal que las reparaciones sean realizadas eficaz y económicamente. El concepto emplea valores “gatillo” y valores “límite” para definir la ventana de oportunidad.

Los valores “gatillo” definen el punto en que un cierto deterioro o combinación de ellos hacen viable y apropiada la aplicación de la RPC, en otras palabras los valores gatillo abren la ventana. Los valores “límite” definen el punto en que el nivel de deterioro del pavimento ya no hace efectiva ni aconsejable la RPC,

estos valores entonces cierran la ventana. Entre estos valores gatillo y límite se abre la ventana de oportunidad en que la RPC es eficaz y económica.

Valores Gatillo y Valores Límite

Estos valores pueden basarse en la condición estructural y/o funcional del pavimento. Los valores en base a la condición estructural definen la ventana de oportunidad usando criterios de falla o de comportamiento. Los valores gatillo y límite de condición funcional se apoyan en la serviciabilidad del camino.

Las formas de deterioro que definen los valores gatillo y límite estructurales son el agrietamiento, juntas deterioradas, roturas de esquina, escalonamiento, durabilidad y las fallas en pavimentos JPCP. Adicionalmente cada forma de deterioro es examinada según su cantidad y severidad. El criterio de desempeño empleado para determinar valores estructurales gatillo y límite, son el nivel de daño del sello de juntas, transferencia de cargas y resistencia al patinaje. Los valores gatillo y límite estructurales son útiles para orientar a la elección de las técnicas de RPC más apropiadas.

Los indicadores de calidad de la rodadura empleados para definir los valores gatillo y límite funcionales son el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), la Serviciabilidad (PSR) y el Perfil Longitudinal (Perfilógrafo California). Los valores gatillo y límite funcionales son útiles porque ellos indican el momento en que la sección del pavimento ha llegado a una condición inaceptable por la combinación de fallas, aún cuando no se haya alcanzado ningún valor de tensiones gatillo ni límite. Los valores gatillo y límite de condición funcional pueden ser empleados también para comparar diferentes tipos de pavimento o alternativas de rehabilitación.

La tabla N° 25 muestra los valores gatillo y límite razonables para Pavimentos de Concreto Simple con Juntas (JPCP) respectivamente, dichos valores son propuestos por la metodología “Guía para la Restauración y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto” de la American Concrete Paviment Association (ACPA).

En la tabla N° 26 se presentan los valores obtenidos en el proyecto en estudio, éstos deberán ser comparados con los valores indicados en la tabla N° 25.

Tabla N° 25. Valores Gatillo y Límite para Pavimentos de concreto Simple con Juntas

Volumen de Tránsito	Pavimentos de Concreto simple con Juntas (Longitud de Losas < 6m*)		
	Alto (TPDA > 10000)	Medio (3000 < TPDA < 10000)	Bajo (TPDA < 3000)
Valores Gatillo/Límite**			
Indices Estructurales			
Agrietamiento por Fatiga de Baja a Alta Severidad (% de las losas)	1.5 / 5.0	2.0 / 10.0	2.5 / 15.0
Juntas Deterioradas (% de juntas)	1.5 / 15.0	2.0 / 17.5	2.5 / 20.0
Grietas de Esquina (% de juntas)	1.0 / 8.0	1.5 / 10.0	2.0 / 12.0
Escalonamiento medio (mm)	2.0 / 12.0	2.0 / 15.0	2.0 / 18.0
Deterioros de Durabilidad (severidad)		Media - Alta	
Sello de Juntas Dañado (% de juntas)		> 25 / ---	
Transferencia de Cargas (%)		< 50 / ---	
Resistencia al Patinaje		Nivel Local Mínimo aceptable	
Indices Funcionales			
IRI (m/km)	1.0 / 2.5	1.2 / 3.0	1.4 / 3.5
PSR	3.8 / 3.0	3.6 / 2.5	3.4 / 2.0
Perfílogo de California	12 / 60	15 / 80	18 / 100

* Longitud de losa supuesta = 4.5m.

** Los valores deben ser ajustados para las condiciones locales. El porcentaje reparado puede ser mucho más alto de lo aquí indicado si el pavimento es restaurado varias veces.

*** Los valores aquí indicados son los sugeridos según criterios de serviciabilidad y durabilidad norteamericanos.

Tabla N° 26. Valores Gatillo y Límite para Pavimentos de concreto Simple con Juntas obtenidos en el tramo en estudio

Volumen de Tránsito	Pavimentos de Concreto simple con Juntas (Longitud de Losas < 6m ³)		
	Alto (TPDA > 10000)	Medio (3000 < TPDA < 10000)	Bajo (TPDA < 3000)
Valores Gatillo/Límite**			
Indices Estructurales			
Agrietamiento por Fatiga de Baja a Alta Severidad (% de las losas)	20.88		
Juntas Deterioradas (% de juntas)	25.82		
Grietas de Esquina (% de juntas)	23.93		
Escalonamiento medio (mm)	50		
Deterioros de Durabilidad (severidad)			
Sello de Juntas Dañado (% de juntas)			
Transferencia de Cargas (%)			
Resistencia al Patinaje	Nivel Local Mínimo aceptable		
Indices Funcionales			
IRI (m/km)	2.7		
PSR			
Perfilógrafo de California			

NOTA: Los escalonamientos no fueron medidos en todo el tramo, debido a la metodología utilizada para realizar el levantamiento de deterioros (utilizando cámara de video), pero fueron medidos varios escalonamientos con cinta métrica, obteniendo un valor promedio de 0.5 cm.

El tramo en estudio presenta un TPDA $> 10,000$, evaluando los valores obtenidos del levantamiento de deterioros en la tabla N° 26, es notorio que éstos sobrepasan los valores límites estipulados para el volumen de tránsito analizado.

Es importante entender que estos valores límite se aproximan al máximo práctico de cantidad de RPC a efectuar en cada oportunidad. Por lo cual, el pavimento analizado pasa su ventana de oportunidad de RPC y es necesario optar por otros procedimientos que pueden convertirse en mejores alternativas, como por ejemplo un recarpeteo de concreto o la reconstrucción, tal como lo observamos anteriormente en la figura 103.

Cabe mencionar que el diseño del pavimento en estudio, no es el causante de los deterioros presentados en el mismo, ya que los resultados obtenidos muestran que el pavimento existente mantiene las especificaciones para las cuales fue diseñado.

Se considera que con los valores obtenidos en el levantamiento de deterioros y análisis de laboratorio, la alternativa específica del cepillado sería factible desde el punto de vista técnico y económico si está acompañada de inserción de dovelas en las juntas transversales y lógicamente todos los trabajos previos al cepillado como son reparaciones a espesor parcial, completo, nivelación de losas, sellos de fisuras, etc.

Con la realización de estos trabajos se estima un comportamiento satisfactorio de la carretera para el tráfico presente y proyectado para un período de 15 a 20 años. Es importante mencionar que para garantizar un comportamiento estructural y funcional aceptable, la inserción de dovelas es clave, ya que el tipo de base existente es erosionable (no cementada) y que a la fecha (30 años

después de su construcción) presenta en muchas losas fenómenos de bombeo de finos los cuales podrían incrementarse aceleradamente con la humedad y el tráfico proyectado.

Por tanto, se propone en esta alternativa operaciones de resello de juntas transversales cada 8 años, con la finalidad de evitar o minimizar el ingreso de humedad y partículas incompresibles a las capas subyacentes del pavimento.

4.3. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Debido a la variación que existe en los valores obtenidos del módulo de elasticidad (E_c) en los diferentes estacionamientos del tramo en estudio, generados con la utilización del FWD (ver anexo N° 4), se realizó una correlación simple (R) entre el módulo de elasticidad del concreto y el estacionamiento, donde se obtuvo el valor del módulo de elasticidad (E_c -Estacionamiento), para determinar el grado de asociación o dependencia entre las variables (ver gráfica N° 3). Los valores utilizados para la obtención de la gráfica de correlación son los que se muestran en la siguiente tabla:

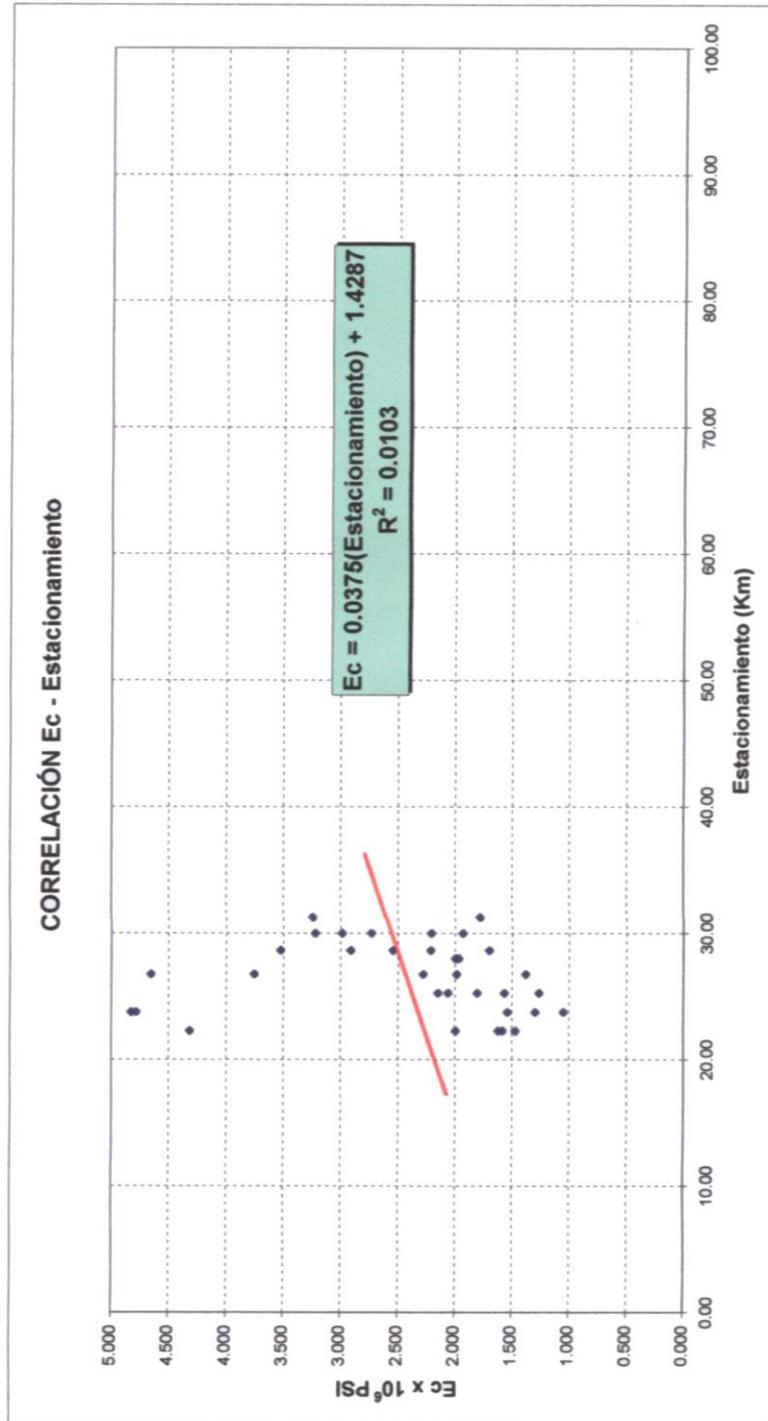
ESTACIONAMIENTO, EST. (Km)	MÓDULO DE ELASTICIDAD, E_c (Millones de PSI)
22.26	1.997
22.26	1.585
22.26	4.317
22.26	1.620
22.26	1.473
23.76	4.787
23.76	1.544
23.76	1.051

ESTACIONAMIENTO (Km)	MÓDULO DE ELASTICIDAD, E_c (Millones de PSI)
23.76	4.828
23.76	1.298
25.26	1.568
25.26	1.266
25.26	2.151
25.26	2.061
25.26	1.806
26.76	1.987
26.76	4.656
26.76	3.757
26.76	2.279
26.76	1.385
28.01	1.968
28.01	2.000
28.63	2.914
28.63	3.524
28.63	2.215
28.63	1.700
28.63	2.546
30.01	3.222
30.01	2.208
30.01	1.931
30.01	2.990
30.01	2.733
31.26	1.783
31.26	3.245

Tabla N° 27. Valores de módulo de elasticidad con su respectivo estacionamiento



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CORRELACIÓN Ec - ESTACIONAMIENTO
PROYECTO: CARRETERA PANAMERICANA CA-1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km 22 - 35)



Gráfica N° 3. Correlación Ec - Estacionamiento

En la gráfica N° 3, se observa que los puntos ploteados generan un valor de $R^2 = 0.0103$, equivalente a un valor de $R = 0.10$, no existiendo asociación entre las variables, ya que el valor de R debe estar comprendido entre 0.7 y 1.0 para que la correlación entre dos variables sea óptimo. Por lo que se realizaron 3 correlaciones eliminando diferentes puntos, donde se observó que el valor de R encontrado en cada correlación se aproximaba al rango permitido, como se observa en las gráficas N° 4, 5 y 6.

A continuación se muestra un resumen de los valores que se utilizaron para realizar las diferentes correlaciones; así mismo, el promedio y mediana de cada correlación, que son valores que sirven de comparación para determinar la asociación entre las variables:

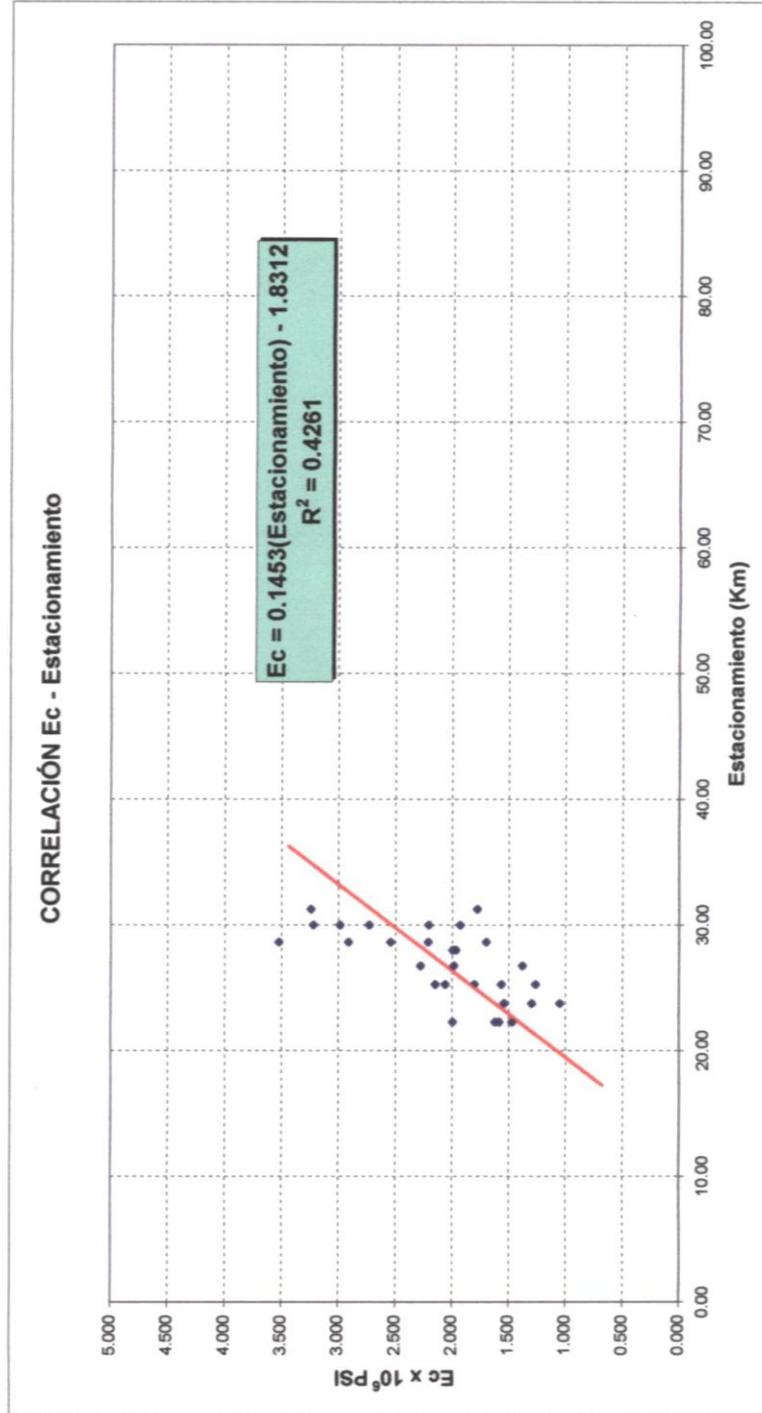
ESTACIONAMIENTO (Km)	MÓDULO DE ELASTICIDAD, E_c (Millones de PSI)			
	Correlación original	Correlación 1	Correlación 2	Correlación 3
22.26	1.997	1.997	1.997	1.997
22.26	1.585	1.585	1.585	1.585
22.26	4.317	-	-	-
22.26	1.620	1.620	1.620	1.620
22.26	1.473	1.473	1.473	1.473
23.76	4.787	-	-	-
23.76	1.544	1.544	1.544	1.544
23.76	1.051	1.051	1.051	-
23.76	4.828	-	-	-
23.76	1.298	1.298	1.298	1.298
25.26	1.568	1.568	1.568	1.568
25.26	1.266	1.266	-	-
25.26	2.151	2.151	2.151	2.151

ESTACIONAMIENTO (Km)	MÓDULO DE ELASTICIDAD, E _c (Millones de PSI)			
	Correlación original	Correlación 1	Correlación 2	Correlación 3
25.26	2.061	2.061	2.061	2.061
25.26	1.806	1.806	1.806	1.806
26.76	1.987	1.987	1.987	1.987
26.76	4.656	-	-	-
26.76	3.757	-	-	-
26.76	2.279	2.279	2.279	2.279
26.76	1.385	1.385	-	-
28.01	1.968	1.968	1.968	1.968
28.01	2.000	2.000	2.000	2.000
28.63	2.914	2.914	2.914	2.914
28.63	3.524	3.524	-	-
28.63	2.215	2.215	2.215	2.215
28.63	1.700	1.700	1.700	
28.63	2.546	2.546	2.546	2.546
30.01	3.222	3.222	3.222	3.222
30.01	2.208	2.208	2.208	2.208
30.01	1.931	1.931	1.931	1.931
30.01	2.990	2.990	2.990	2.990
30.01	2.733	2.733	2.733	2.733
31.26	1.783	1.783	1.783	-
31.26	3.245	3.245	3.245	3.245
PROMEDIO	2.423	2.071	2.096	2.145
MEDIANA	2.031	1.987	1.994	2.000
VALOR DE R	0.10	0.65	0.69	0.79

Tabla N° 28. resumen de valores utilizados para realizar las diferentes correlaciones



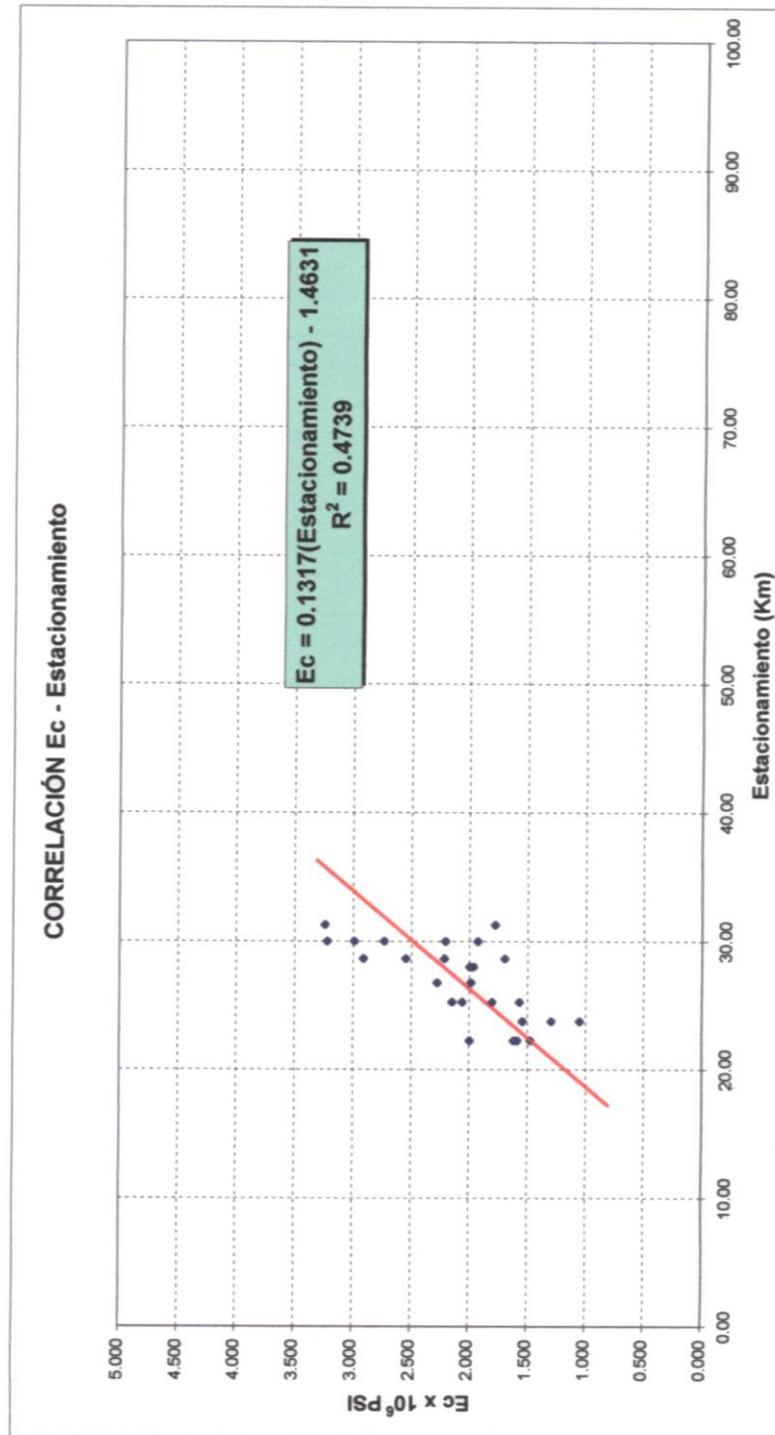
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CORRELACIÓN Ec - ESTACIONAMIENTO
PROYECTO: CARRETERA PANAMERICA CA-1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km 22 - 36)



Gráfica N° 4. Correlación Ec - Estacionamiento (Corrección N° 1)



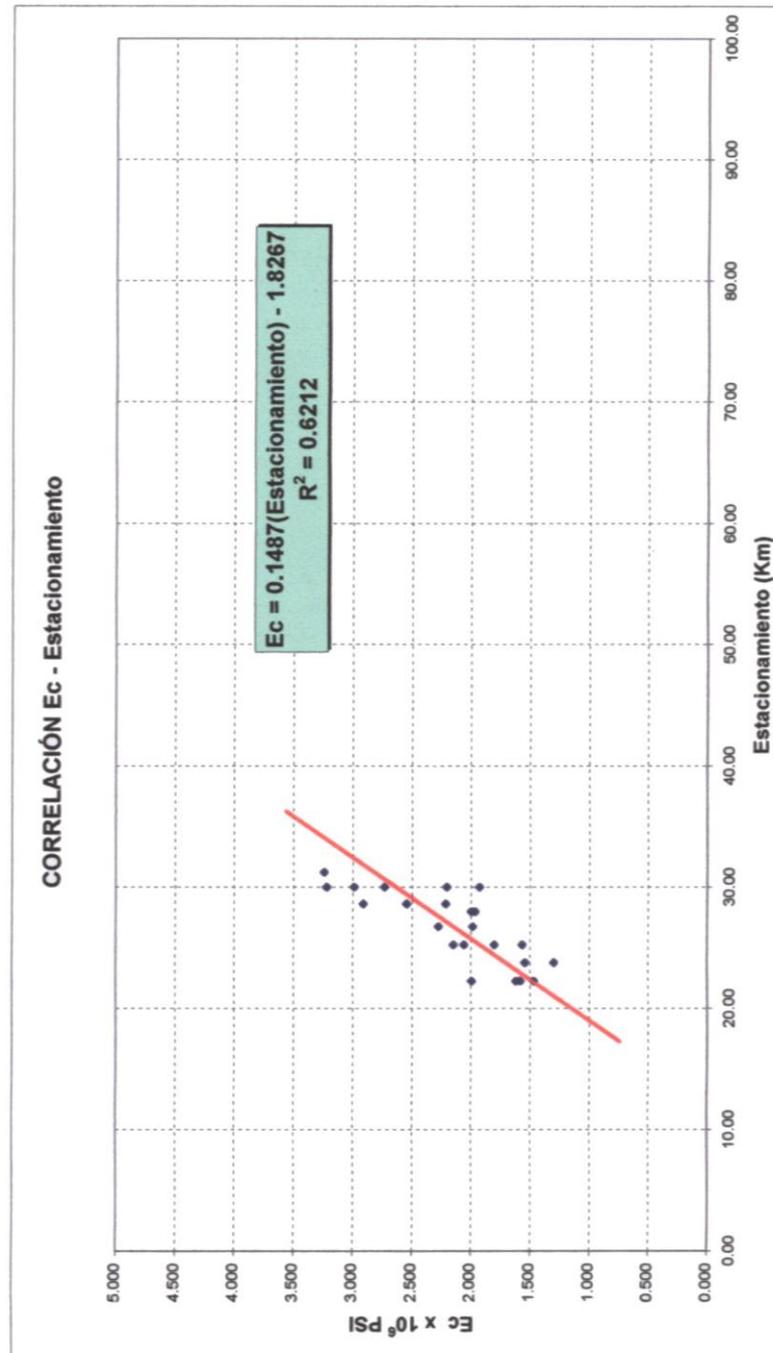
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CORRELACIÓN Ec - ESTACIONAMIENTO
PROYECTO: CARRETERA PANAMERICA CA:1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km 22 - 35)



Gráfica N° 5. Correlación Ec - Estacionamiento (Corrección N° 2)



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 CORRELACIÓN Ec - ESTACIONAMIENTO
 PROYECTO: CARRETERA PANAMERICA CA-1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km 22 - 36)



Gráfica N° 6. Correlación Ec - Estacionamiento (Corrección N° 3)

En la tabla N° 28 se observa que al mejorar el valor de “R” se obliga a que la mediana y el promedio se aproximen cada vez más, disminuyéndose la dispersión, aproximándose a los valores reales de las condiciones del concreto original.

Después de haber realizado diferentes correlaciones, se observa que el valor de R, la mediana y el promedio incrementan a medida la dispersión disminuye; así mismo, se observa que la mediana y el promedio incrementan a medida la dispersión disminuye, por lo que se considera la correlación N° 3 aceptable, debido que el valor de R es igual a 0.79.

La correlación mencionada genera valores más confiables, llegándose a determinar que el E_c del tramo en estudio puede alcanzar el rango estipulado para un concreto con un módulo de ruptura de 38.5 Kg/cm^2 ($2.8 < E_c < 3.4$)⁷ si se continúa evaluando más correlaciones, pero las gráficas ya no serían representativas.

Es importante mencionar que las dispersiones generadas en las diferentes correlaciones pueden ser debidas a las condiciones que ha estado expuesto el concreto, a su edad (más de 30 años desde su construcción), a la manera indirecta de obtener los valores de E_c , entre otros factores.

⁷ Datos obtenidos de acuerdo a experiencia adquirida en el ISCYC

4.4. ALTERNATIVA DE SOBRECAPA NO ADHERIDA

Dentro de las alternativas de sobrecapas, la opción no adherida es la que aplica según las condiciones existentes del proyecto, ya que la consideración de una capa adherida al concreto existente exige una condición relativamente buena del pavimento.

En la opción de la capa no adherida se considera al concreto existente como una base de calidad y no como parte de la capa de rodadura como se considera en la opción adherida, bajo este esquema y en el caso particular del proyecto, se han realizado los cálculos de una capa no adherida utilizando los parámetros de diseño estipulados en la guía para el diseño de estructuras AASHTO/93.

Los datos que sirvieron para realizar este análisis fueron los resultados del FWD proporcionados por TECHNOLOGY AND MANAGEMENT LTD. (TNM), ver anexo N° 4, así como también los datos de tráfico del proyecto (anexo N° 2), y los resultados de resistencia a compresión y tensión indirecta del concreto existentes tablas N° 23 y N° 24 respectivamente.

Es importante mencionar que se observa una fluctuación importante en los valores de módulo de elasticidad del concreto existente (según datos del FWD) y de módulo de reacción de la sub-rasante, así como también en los valores de resistencia y espesores determinados a partir de la extracción de núcleos, por lo que los datos definitivos para la realización de cálculos fue tomado de acuerdo al criterio ingenieril fundamentado en el universo de datos obtenidos y revisados.

A continuación se anexa resumen de resultados utilizando el Software PAS 5.01 fundamentado en AASHTO/93.

Como se puede observar en la figura 104, el resultado obtenido de ESAL's es considerablemente mayor (ESAL's= 57,340,091) ya que se tiene un alto volumen de tráfico diario, así como también la tasa de crecimiento vehicular y de tráfico pesado. Se consideró en el análisis una vida de diseño de 20 años y cargas por ejes actuales que se manejan en el país y en el área Centroamericana.

El resultado de espesor de concreto no adherido es de 7.61 pulgadas (19.33 cm) con un módulo de ruptura de 45 kg/cm^2 a 28 días, deberá colocarse 1½ pulgada (3.81 cm) de concreto asfáltico en caliente sobre el concreto existente (como una capa nivelante), previo a la colocación de la nueva capa de concreto, con el objetivo de garantizar un excelente comportamiento de la nueva estructura.

Es importante mencionar que el espesor obtenido de 7.61 pulgadas (19.33 cm) incluye colocación de hombros de concreto (para lograr la condición de confinamiento lateral estipulada en los cálculos) y también colocación de dovelas de 1 pulgada (2.54 cm) de diámetro en las juntas transversales, con el propósito de obtener la transferencia de carga considerada en el diseño.

Con estas acciones, se justifica implícitamente la bonificación del coeficiente de drenaje considerado en los cálculos, ya que se cuenta con una condición de confinamiento lateral (al colocar hombros de concreto), colocación de dovelas, una base no erosionable de concreto y un aceptable sistema de drenaje existente de la carretera.

CAPÍTULO V
APLICACIÓN DE LA
TÉCNICA DE CEPILLADO

5.1. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE CEPILLADO

En el mes de enero de 2003, la empresa PAVIMENTOS DE CONCRETO DE C.V. realizó un tramo experimental de 150 m de longitud, con el propósito de aplicar las técnicas de reparación para pavimentos de concreto hidráulico, exactamente a la altura del Km 25, el cual de acuerdo al levantamiento de deterioros realizados (información que se encuentra disponible en el ISCYC y en la Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil), es uno de los tramos mayormente deteriorados en la Pista Izquierda del tramo La Cuchilla-desvío a Ciudad Arce, de la carretera que conduce al Departamento de Santa Ana.

Como primer paso se retiró el concreto asfáltico que existía sobre el concreto hidráulico, con el objetivo de identificar los diferentes daños que presentaba el pavimento y posteriormente realizar las reparaciones previas a la aplicación de la técnica de cepillado. Fue necesario realizar reparaciones de espesor parcial y completo, tal como se muestra en las figura 104; además se ejecutaron colados adicionales para corregir el escalonamiento de losas; antes de su colocación, se utilizaron aditivos para que existiera adherencia entre concreto viejo y nuevo.



Fig. 104. Reparaciones de espesor parcial y espesor completo

Finalizados los trabajos previos a la aplicación de la técnica de cepillado, se procedió a la utilización de la máquina cepilladora para eliminar los defectos constructivos que existían mejorándose así el confort y la serviciabilidad del pavimento (ver fig. 105).



Fig. 105. Máquina cepilladora utilizada para eliminar defectos constructivos

En la figura 106, se muestra la diferencia entre la superficie del pavimento que ya fue mejorada mediante la técnica de cepillado y la que se encuentra en las condiciones originales; este punto de intersección debe ajustarse para evitar una ondulación o depresión en el pavimento. Finalmente se colocó el sello a las juntas para evitar que la humedad o materiales incompresibles causen nuevos daños al tramo reparado.



Fig. 106. Diferencia entre la superficie del pavimento sin cepillado y cepillado

Para realizar la rehabilitación del tramo completo, es necesario hacer un levantamiento con escantillón de 3 m de longitud para obtener el índice de perfil (5 mm máximo)⁸, como se muestra en la figura 107.

⁸ Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano

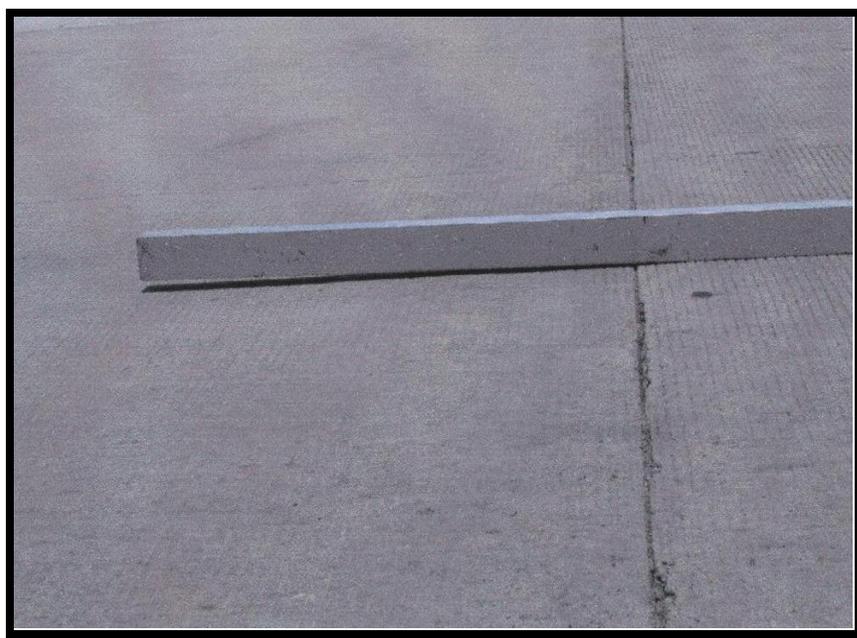
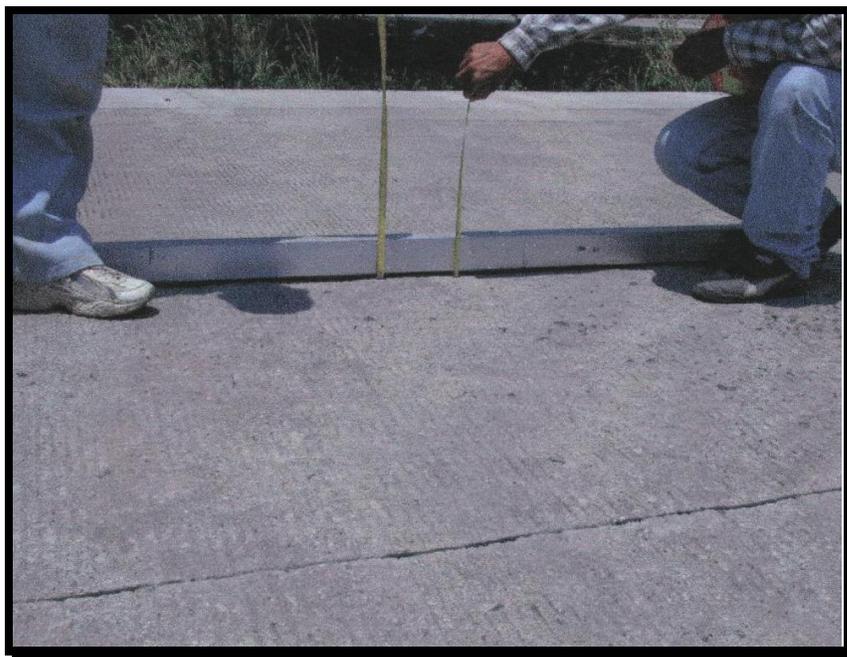


Fig. 107. Levantamiento con escantillón

La metodología que se debe de utilizar para una aplicación adecuada de la técnica de cepillado, se describe a continuación:

1. Inspeccionar el área, con el objetivo de poder determinar la longitud apropiada a reparar utilizando la técnica de cepillado.
2. Colocar un nivel de referencia, es decir, el nivel de inicio necesario para la disminución del índice de perfil, esto se logra cortando en la parte superior de la losa de pavimento de concreto hidráulico con la máquina cepilladora que durante el presente estudio se encuentra en el país, la cual es propiedad de la empresa PAVIMENTOS DE CONCRETO S.A. DE C.V., que consta de un cabezal de 94 cm de largo, que contiene discos de diamante (número en base a la calidad del pavimento que se tenga), de 5 mm de ancho cada uno, con una separación máxima uno respecto del otro variable (depende de la calidad del pavimento que se tenga), para marcar las depresiones u ondulaciones, los escalonamientos, entre otros y poder así determinar el nivel de referencia.
3. Regulación y nivelación del cabezal, durante esta actividad se determina un valor de corte de la losa de pavimento a partir del nivel de referencia obtenido, posteriormente se procede a la aplicación de la técnica de cepillado. Cuando los valores de las depresiones u ondulaciones varían, es necesario ajustar el cabezal de la máquina de acuerdo a las condiciones que se presenten en el tramo a reparar.
4. La aplicación se realiza en pequeños tramos de longitud, variando de acuerdo al tipo de pavimento que se tenga y el ancho del cabezal, haciéndose necesario nivelar la máquina en cada pasada.

5. Es indispensable la utilización de agua para el enfriamiento y limpieza de los discos de diamante a medida se aplica la técnica.
6. Finalizado el proceso de aplicación, se procede a la toma de mediciones con escantillón con el objetivo de verificar el nuevo índice de perfil del pavimento, el cual debe cumplir con las especificaciones del proyecto.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- En la actualidad es importante el estudio de técnicas de rehabilitación para pavimentos de concreto hidráulico, debido al auge que esta adquieren el país este tipo de estructura.

- El material bibliográfico relacionado con el tema en estudio es limitado debido a la poca aplicación de la técnica de cepillado en nuestro país, por lo que los resultados obtenidos serán de gran valor en la metodología aplicada en este trabajo de graduación.

- Los resultados del levantamiento de deterioros demuestran que la condición del pavimento en estudio presentan un grado de severidad alta en términos generales, ya que estos valores fueron analizados mediante el concepto de “Ventana de Oportunidad” (Valores Gatillo y Límite), sobrepasando los valores establecidos en la Guía de Restauración de Pavimentos de Concreto del Instituto de Cemento y de Hormigón de Chile (ICH), para un volumen de tránsito > 10,000 (TPDA= 20,761).

- La utilización de técnicas de reparación para pavimentos asfálticos en pavimentos de concreto hidráulico no es adecuada, ya que rápidamente se degradan aumentando el daño al mismo.

- Los diferentes ensayos de laboratorio realizados (Resistencia a la Compresión de Núcleos de Concreto Hidráulico, Resistencia a la Tensión Indirecta de Núcleos de Concreto Hidráulico, determinación del Módulo de Ruptura de una manera indirecta), demuestran que el diseño del pavimento en estudio, no es el causante de los deterioros presentados en el mismo, ya que los resultados obtenidos muestran que el pavimento existente cumple con las especificaciones para las cuales fue diseñado.

- Se considera con los valores obtenidos en el levantamientos de deterioros y análisis de laboratorio, que la alternativa específica de la técnica de cepillado sería factible desde el punto de vista técnico y económico si está acompañada de inserción de dovelas en las juntas transversales y lógicamente todos los trabajos al cepillado como son reparaciones a espesor parcial, completo, nivelación de losas, sellos de fisuras, etc. Con la realización de estos trabajos se estima un comportamiento satisfactorio de la carretera para el tráfico presente y proyectado para un período de 15 a 20 años. Es importante mencionar que para garantizar un comportamiento estructural y funcional aceptable, la inserción de dovelas es clave, ya que el tipo de base existente es erosionable (no cementada) y que a la fecha (31 años después de su construcción) presenta en muchas losas fenómenos de bombeo de finos los cuales podrían incrementarse aceleradamente con la humedad y el tráfico proyectado.

- Para pavimentos de concreto hidráulico es necesario utilizar técnicas de reparación adecuadas a este tipo de pavimentos, ya que el uso de estas contribuye a prolongar la vida útil del pavimento proporcionando reparaciones que le devuelven al pavimento una condición similar a la original.
- Una de las alternativa de reparación favorables para la rehabilitación del tramo en estudio es la aplicación de la capa no adherida, la cual cumple con las condiciones existentes del proyecto, ya que la consideración de una capa adherida al concreto existente exige una condición relativamente buena del pavimento.
- En la opción de la capa no adherida se considera al concreto existente como una base de calidad y no como parte de la capa de rodadura como se considera en la opción adherida, bajo este esquema y en el caso particular del proyecto, se han realizado los cálculos de una capa no adherida utilizando los parámetros de diseño estipulados en la guía para el diseño de estructuras AASHTO/93 (PAS 5.01).
- Para poder implementar el método de la capa no adherida, deberá colocarse 1½ pulgada (3.81 cm) de concreto asfáltico en caliente sobre el concreto existente (como una capa nivelante) previo a la colocación de la nueva capa de concreto, con el objeto de garantizar un excelente comportamiento de la nueva estructura.

- La técnica de cepillado prolonga la vida útil de los pavimentos de concreto hidráulico, proporcionando a éstos una superficie lisa, nivelada y suave al tránsito, removiendo los defectos de la superficie que se desarrollan a través de los años como consecuencia de un mal mantenimiento, fatiga del concreto, el clima, entre otros factores, pero probablemente la causa más común para la restauración de superficies es el tipo de deterioro denominado escalonamiento.

- Es importante mencionar que se observa una fluctuación importante en los valores de módulo de elasticidad del concreto existente (según datos del FWD) y de módulo de reacción de la sub-rasante, así como también en los valores de resistencia y espesores determinados a partir de la extracción de núcleos, por lo que los datos definitivos para la realización de cálculos fueron tomados de acuerdo al criterio ingenieril fundamentado en el universo de datos obtenidos y revisados.

6.2. RECOMEDACIONES

- Para brindar un eficiente servicio al constante tránsito de vehículos, tiene que proveerse del mantenimiento adecuado a las superficies de las vías. Esto pone en primer plano el mantenimiento preventivo.

- Es importante mencionar que para realizar un Levantamiento de Deterioros, el equipo de evaluación de campo debe de conocer la metodología a desarrollar, debido a que el levantamiento es la base que sustenta las condiciones reales del pavimento, brindándonos como resultado datos cuantitativos del mismo, los cuales son utilizados de forma confiable.

- Proponer un metodología que esté orientado a la rehabilitación y mantenimiento de pavimentos de concreto hidráulico, con técnicas específicas de reparación para cada tipo de pavimento.

- Realizar los ensayos establecidos según el tipo de daño que presente la estructura del pavimento, cumpliendo con las normas y especificaciones que rigen dichos ensayos; con el propósito de obtener resultados viables y precisos que servirán para la elaboración de la propuestas de reparación aplicando las técnicas descritas anteriormente.

- Para determinar la factibilidad de aplicación de la técnica de cepillado, la cual es una de muchas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto, es recomendable y necesario realizar diferentes análisis, ya que la técnica por si misma no aumenta o restaura la capacidad estructural del pavimento.

- Cuando el pavimento pasa su ventana de oportunidad de RPC, es necesario optar por otros procedimientos, por ejemplo un recarpeteo de concreto o la reconstrucción, que pueden convertirse en mejores alternativas para el mejoramiento de la estructura del pavimento.

- Se recomienda realizar operaciones de resello de juntas transversales cada 8 años, para el proyecto en estudio, con la finalidad de evitar o minimizar el ingreso de humedad y partículas incompresibles a las capas subyacentes del pavimento, evitando así fenómenos de bombeo de finos los cuales podrían incrementarse aceleradamente con la humedad y el tráfico proyectado.

- De considerarse la alternativa de capa no adherida, deberá realizarse todo un proyecto que incluya detalles de juntas, dovelas, barras de amarre, especificaciones particulares de cada proceso, logística, trabajos previos a la aplicación de la técnica, control de calidad, etc.

- Cuando se realicen correlaciones entre el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión de núcleos de concreto hidráulico, es necesario contar con la mayor cantidad de especímenes para determinar el grado de asociación entre las dos variables antes mencionadas con una mayor exactitud.

En base a la investigación realizada y a las conclusiones obtenidas, se cree conveniente que es necesario orientar investigaciones enfocadas a las siguientes temáticas:

- Es aconsejable que en trabajos futuros de graduación se evalúen otras técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto, con el objetivo primordial de compararlas con la técnica de cepillado y de esta manera establecer la diferencia de costos entre éstas.
- Para trabajos futuros de investigación sería prudente que se evaluara la capa estructural del pavimento, 5 años después de haber aplicado la técnica de cepillado, para determinar si esta técnica no ha disminuido la capacidad estructural o caso contrario la mejora.
- Estudio de la calidad de los agregados para concreto en las canteras más importantes de El Salvador.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

➤ LIBROS INTERNACIONALES

- ❖ Curso sobre inspección, auscultación y gestión de firmes, Ministerio de Asuntos Exteriores, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (**CEDEX**), España.
- ❖ Catálogo de deterioros en firme, Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones, Ministerio de Obras Públicas (**MOPU**), España.
- ❖ Tecnología del Concreto, Tomo I y II, Adam M. Neville, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (1997).
- ❖ Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1, 2, 3 y 4, Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Ingeniería UNAM, Editorial Limusa Noriega Editores.
- ❖ Manual del Concreto, Instructivo para el Concreto, Secretaria de Recursos Hidráulicos, México, 1967-1970.
- ❖ Boletín de la Empresa Restauraciones Viales Chile Limitada (RV CHILE), Jennifer Leah Mosher, Gerente General, Junio 2001. Santiago Chile.
- ❖ Pavimentos de Concreto, Instituto Mexicano del Cemento/Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (IMYC/ACPA).
- ❖ Cipriano A. Londoño Naranjo, Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto, Primera Edición, Editorial Piloto, ICPC, Colombia 2000.

- ❖ Curso de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico, Ing. Enrique Pahlhaus Parkman.
- ❖ Diseño y construcción de juntas en pavimentos de concreto para carreteras, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC).
- ❖ “The Concrete Pavement Restoration Guide”, American Concrete Pavement Association, traducido y adaptado por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH), 1997.
- ❖ “Guidelines for Partial-Depth Spall Repair”, American Concrete Pavement Association, traducido y adaptado por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH), 1998.
- ❖ “Guidelines for Full-Depth Spall Repair”, American Concrete Pavement Association, traducido y adaptado por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH), 1995.
- ❖ “Diamond Grinding and Concrete Pavement Restoration”, American Concrete Pavement Association, traducido y adaptado por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH), 2000.

➤ **LIBROS NACIONALES**

- ❖ Ing, Edgar Alfredo Gavidia Paredes, Tecnología del Concreto, Técnica Electiva, Febrero 2000.
- ❖ Ing. Edgar Alfredo Gavidia Paredes, Diseño y Construcción de Pavimentos de Concreto, Técnica Electiva, Febrero 2001.
- ❖ Ing. Ricardo Alberto López Parada, Utilización del Concreto Hidráulico para Carreteras en El Salvador, Trabajo de Graduación, Universidad José Simeón Cañas (UCA), Abril 1994.
- ❖ Ing. Rodrigo Ernesto Lazo Flores, Técnicas para la reparación de Pavimentos de Concreto Hidráulico y dos ejemplos prácticos en vías ubicadas en el AMSS Construidas durante las décadas de los 40's a los 70's, Trabajo de Graduación, Universidad Politécnica de El Salvador (UPES), Diciembre 2001.
- ❖ Ing. Carlos Rubén Catalán Oliva, Metodología para la Evaluación de Pavimentos de Concreto Hidráulicos, Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador (UES), Marzo 2002.
- ❖ Ing. José Tulio Pineda Martínez, Propuesta de Manual para la Asignatura Laboratorio de Pavimentos en la Escuela de Ingeniería Civil, Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador (UES), Marzo 1997.
- ❖ Ing. José Luis Urrutia Sosa, Consideraciones para la aplicación de Especificaciones Técnicas en la Construcción de Bases, Pavimentos Flexibles y Pavimentos Rígidos en carreteras, Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador (UES), Marzo 1985.

➤ REVISTAS Y ESTUDIOS

- ❖ Cincuenta Años Dejando Huellas Imborrables en El Salvador, Edición Conmemorativa de los cincuenta años de Cemento en El Salvador, S.A.,1999, Edición y Diseño EDICAVE.
- ❖ Primera Experiencia en El Salvador Carretera La Cuchilla-Km 35, CA-1, Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC). Revista, Año uno, Número tres, 1996.
- ❖ Ing. Roberto Douglas Lemus, Diagnóstico de las condiciones actuales de 2,300 metros del tramo de carretera La Cuchilla-Km 35+000, Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), San Salvador 1995.
- ❖ Seminario sobre “Pavimentos Rígidos”, San Salvador, Febrero 1990, CESICC.
- ❖ Notas Técnicas, Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), Primera Edición, Medellín, Colombia,1998.

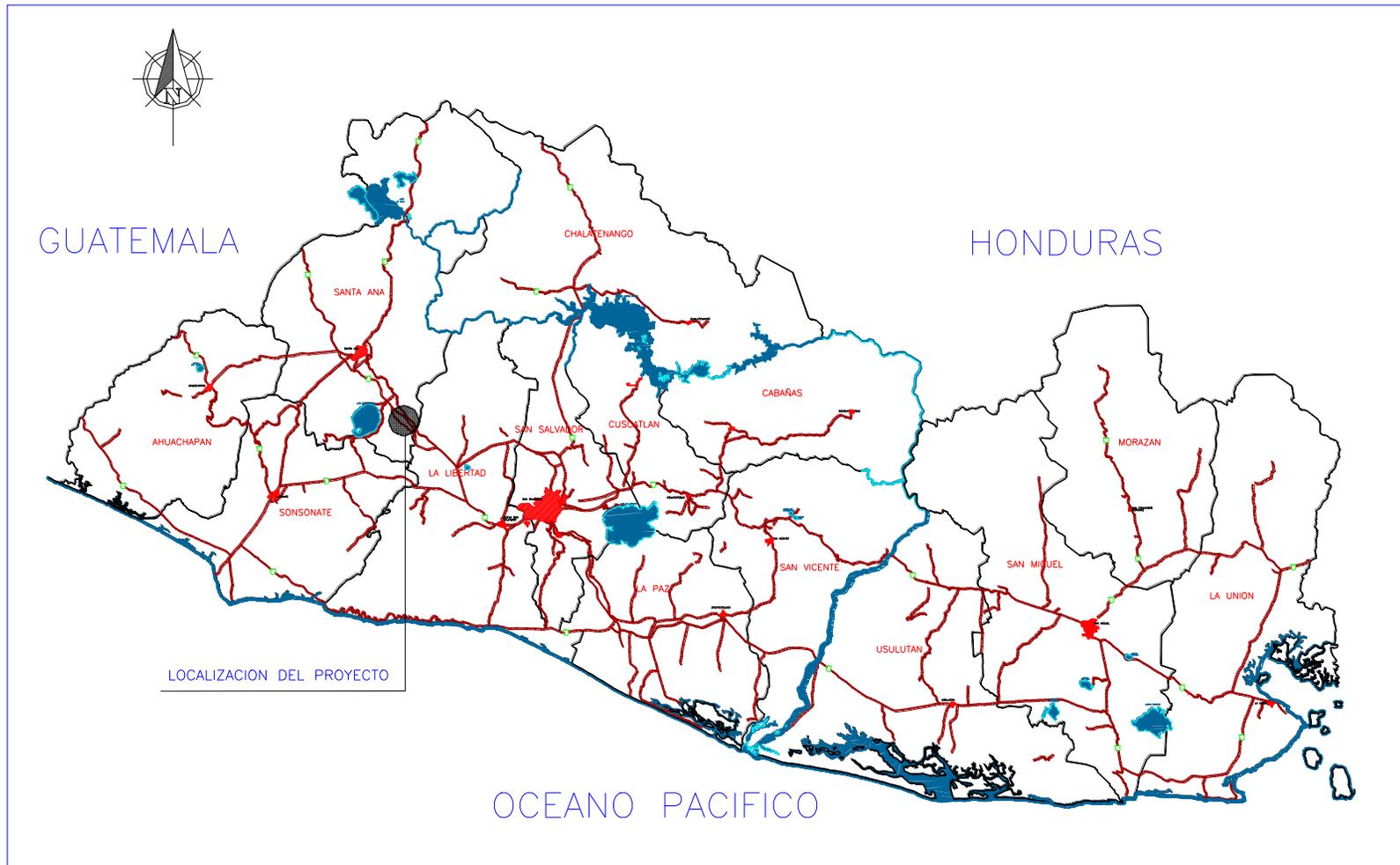
➤ MANUALES

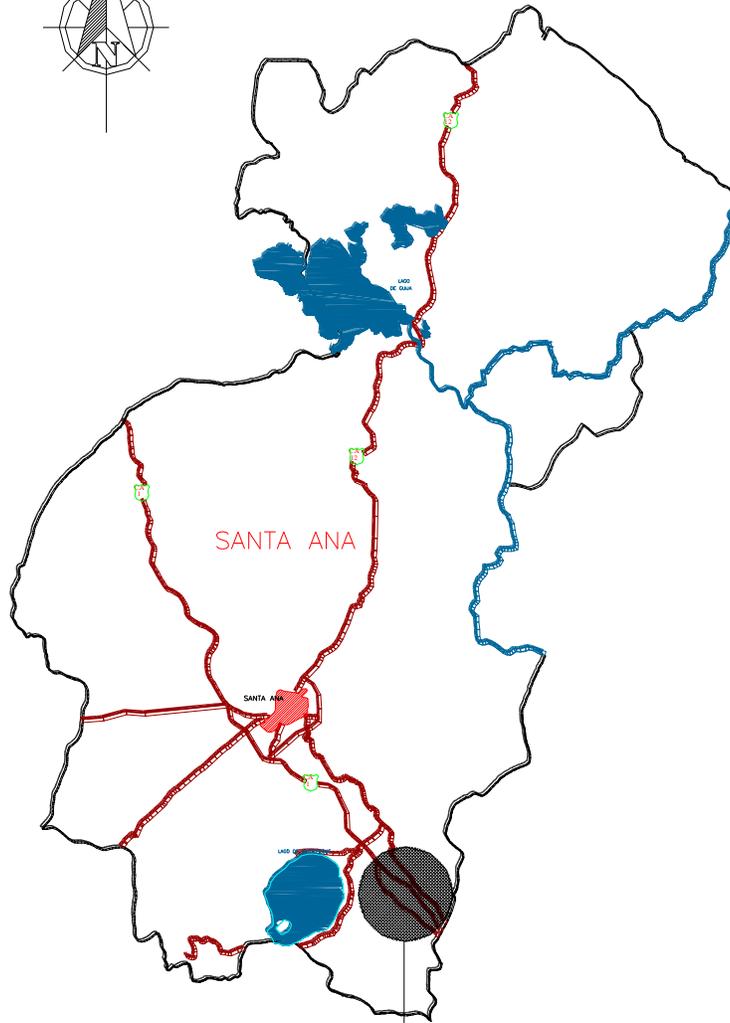
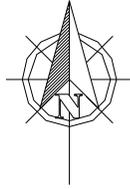
- ❖ Manual para la Identificación de Deterioros, SIECA.

ANEXOS

ANEXO 1

UBICACIÓN DEL TRAMO DE CARRETERA LA CUCHILLA – DESVÍO A CIUDAD ARCE (KM 22 – 35) QUE CONDUCE AL DEPARTAMENTO DE SANTA ANA





SANTA ANA

SANTA ANA

LAGO DE...

LOCALIZACION DEL PROYECTO

ANEXO 2

HISTORIA DEL TRÁNSITO DE LAS CARRETERAS EN EL SALVADOR

VIALIDAD	AÑO	T.P.D.A.	% LIVIANOS			% P E S A D O S											
			% D	% DE	% DE	% C A R G A											
			PAS	CARGA	PASJ	C2	C3	T2S	C2R2	T2S	T3S1	T3S2	C3R	ESP.	TOTAL		
	1995	7548	21	45	3	81	5							14			31
	1996	8379	24	54	3	72	5							23			19
	1997	7970	28	43	3	77	7							16			26
DEPARTAMENTO DE SANTA ANA	1998	7801	33	41	3	74	6							20			23
CARRETERAS ESPECIALES	1999	8135	31	42	3	76	6							18			23
AUTO. SAN SALVADOR-SANTA ANA TRAMO L.D. LA LIBERTAD-EL PORTEZUELO																	
(AMBAS CALZADAS)																	
i) L.D. L a Libertad - El Congo	1999	5400	26	44	7	79	5							16			23
	1991	5272	29	35	7	79	5							16			29
	1992	5936	32	35	7	72	8							20			26
	1993	5974	34	41	4	76	5							18	1		21
	1994	6507	31	41	4	76	6							18			24
	1995	6938	32	41	4	74	7							19			23
	1996	7368	34	43	4	75	5							20			19
	1997	7661	30	45	4	75	4							20	1		21
	1998	7949	32	45	4	75	5							19		1	19
	1999	8324	32	43	4	76	4							20			22
	2000	9765	28	49	2	84	3							13			21
ii) El Congo - Desvío Santa Ana	1991	4455	30	35	6	73	8							19			29
	1992	6038	34	34	7	71	7							22			25
	1993	6115	31	39	5	74	5							21			25
	1994	6702	32	41	6	71	5							24			21
	1995	7197	32	41	5	71	5							24			22
	1996	7692	32	41	5	71	5							24			22
	1997	8367	29	43	5	68	9							23			23
	1998	8525	22	48	11	85	5							10			19
	1999	9234.9	29	43	5	68	6							26			23
	2000	9927	29	43	5	68	6							26			23

VIALIDAD	AÑO	T.P.D.A.	% LIVIANOS		% P E S A D O S											
			% D	% DE	% DE	% C A R G A										
			PAS	CARGA	PASJ	C2	C3	T2S	C2R2	T2S	T3S1	T3S2	C3R	ESP.	TOTAL	
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD	1991	9624	27	38	8	77	8					16			27	
CARRETERAS ESPECIALES	1992	10452	27	37	9	79	7					15			27	
AUTOPISTA SAN SALVADOR-SANTA ANA	1993	10972	26	42	7	77	7					16			25	
TRAMO SANTA TECLA - LA CUCHILLA (AMBAS CALZADAS)	1994	11760	28	42	6	76	7					18			25	
	1995	12489	26	42	7	77	7					16			26	
	1996	13358	29	45	7	73	7					20			19	
	1997	13604	28	42	7	75	8					17			23	
	1998	13956	30	42	7	74	8					18			21	
	1999	14398	30	41	8	71	9					19		1	22	
i) Santa Tecla- La Cuchilla	1991	14592	30	37	8	74	9					17			25	
	1992	15827	31	36	13	74	9					17			20	
	1993	17563	31	38	11	74	8					18			20	
	1994	19392	28	41	7	75	7					18			24	
	1995	20362	31	39	10	73	8					19			20	
	1996	21889	33	39	11	73	8					19			17	
	1997	22457	32	42	9	71	8					21			17	
	1998	23012	32	42	10	71	9					19		1	16	
	1999	23713	34	39	12	64	11					23		1	15	
	2000	30387	34	39	12	65	9					26		1	15	

VIALIDAD	AÑO	T.P.D.A.	% LIVIANOS		% P E S A D O S											
			% D	% DE	% DE	% C A R G A										
			PAS	CARGA	PASJ	C2	C3	T2S	C2R2	T2S	T3S1	T3S2	C3R	ESP.	TOTAL	
ii) La Cuchilla - Sitio del Niño	1991	8201	27	39	7	74	9					17			27	
	1992	11851	27	39	7	74	9					17			27	
	1993	11998	28	40	8	73	8					19			24	
	1994	12481	28	41	7	71	9					20			24	
	1995	13036	27	42	6	74	9					17			25	
	1996	13590	30	44	6	71	9					20			20	
	1997	13995	27	42	7	73	8					19			24	
	1998	14564	28	42	7	72	10					18			23	
	1999	15026	28	41	8	70	10					19		1	23	
	2000	23165	29	44	7	66	9					25			21	
iii) Sitio del Niño - Km. 35+000	1991	6078	24	37	9	82	5					13			30	
	1992	7970	24	38	10	81	6					13			28	
	1993	8113	22	43	7	79	6					15			28	
	1994	8448	24	41	7	79	6					15			28	
	1995	9010	25	41	7	79	7					14			27	
	1996	9573	29	42	7	76	5					19			22	
	1997	9995	25	41	7	80	7					13			27	
	1998	10445	27	41	7	76	8					16			26	
	1999	10716	26	42	7	75	8					17			26	
	2000	19756	27	45	5	74	6					20			24	
iv) Km. 35+000 - L.D. Santa Ana	1992	6160	25	36	7	85	3					12			32	
	1993	6215	23	45	3	83	4					13			29	
	1994	6717	30	44	4	77	5					18			22	

Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Transporte Vivienda y Desarrollo Urbano (MOPTVDU).



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 VOLUMENES DE TRANSITO AJUSTADOS POR TIPO DE VEHÍCULO
 PROYECTO: CARRETERA PANAMERICANA CA - 1, TRAMO LA CUCHILLA - DESVÍO A CIUDAD ARCE (Km. 22 - 35)

TRAMO: LA CUCHILLA - DESVÍO SITIO DEL NIÑO

ELEMENTO	LIVIANOS			PESADOS						TOTAL		
	PASAJEROS	CARGA	PICK-UP	MICROBUS	AUTOBUS	C ₂	C ₃	T ₂ -S ₁	T ₂ -S ₂		T ₂ -S ₃	T ₃ -S ₂
TPDS	7,640	7,959	1,430	1,220	1,430	2,256	450	3	6	17	1,256	143
TPDA	7,827	8,154	1,249	1,249	1,465	2,311	460	3	6	18	1,287	146
%	34.1	35.6	5.4	5.4	6.4	10.1	2.0	0.0	0.0	0.1	5.6	0.6
												100.0%

TRAMO: DESVÍO SITIO DEL NIÑO - DESVÍO A CIUDAD ARCE

ELEMENTO	LIVIANOS			PESADOS						TOTAL		
	PASAJEROS	CARGA	PICK-UP	MICROBUS	AUTOBUS	C ₂	C ₃	T ₂ -S ₁	T ₂ -S ₂		T ₂ -S ₃	T ₃ -S ₂
TPDS	6,429	6,541	672	672	1,057	1,855	276	1	4	0	1,248	68
TPDA	6,586	6,701	688	688	1,082	1,900	282	1	4	0	1,279	90
%	35.4	36.0	3.7	3.7	5.8	10.2	1.5	0.0	0.0	0.0	6.9	0.4
												100.0%

OBSERVACIONES

- TPDS = TRANSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL
- TPDA = TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL
- C2 = CAMION DE 2 EJES
- C3 = CAMION DE 3 EJES
- T₂-S₁ = CABEZAL DE 2 EJES, RASTRA DE 1 EJE
- T₂-S₂ = CABEZAL DE 2 EJES, RASTRA DE 2 EJES
- T₂-S₃ = CABEZAL DE 2 EJES, RASTRA DE 3 EJES
- T₃-S₂ = CABEZAL DE 3 EJES, RASTRA DE 2 EJES
- T₃-S₃ = CABEZAL DE 3 EJES, RASTRA DE 3 EJES

FUENTE: TECHNOLOGY AND MANAGEMENT LTD. (TNM)

ANEXO 3



Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 42; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This method has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers obtaining, preparing, and testing (1) cores drilled from concrete for length or compressive or splitting tensile strength determinations and (2) beams sawed from concrete for flexural strength determinations.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 39 Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens²
- C 78 Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)²
- C 116 Test Method for Compressive Strength of Concrete Using Portions of Beams Broken in Flexure²
- C 174 Test Method for Measuring Length of Drilled Concrete Cores²
- C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²
- C 496 Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens²
- C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²

3. Apparatus

3.1 *Core Drill*, for obtaining cylindrical core specimens. For specimens to be removed by drilling downward perpendicular to a horizontal surface, a shot drill may be satisfactory; for specimens taken by drilling in other directions or when the test specimen diameter is to be accurately determined for more precise calculation of compressive strength, a diamond drill shall be used.

3.2 *Saw*, for cutting beam specimens to size for flexural strength tests. The saw shall have a diamond or silicon-carbide cutting edge and shall be capable of cutting specimens which conform to the prescribed dimensions, without excessive heating or shock.

4. Sampling

4.1 General:

4.1.1 Samples of hardened concrete for use in the preparation of strength test specimens shall not be taken until the concrete has become hard enough to permit sample removal without disturbing the bond between the mortar and the coarse aggregate. In general, the concrete shall be 14 days old before the specimens are removed. When preparing strength test specimens from samples of hardened concrete, samples that show abnormal defects or samples that have been damaged in the process of removal shall not be used.

4.1.2 Specimens containing embedded reinforcement shall not be used for determining splitting tensile strength and specimens for determining flexural strength shall not be used if reinforcement is embedded in the tensile portion of the specimen.

NOTE 1—Cores for determining compressive strength that contain embedded reinforcement can yield either higher or lower values than cores without embedded steel and should be avoided if possible or trimmed to eliminate the reinforcement provided an L/D of 1.00 or greater can be attained.

4.2 *Core Drilling*—A core specimen taken perpendicular to a horizontal surface shall be located, when possible, so that its axis is perpendicular to the bed of the concrete as originally placed and not near formed joints or obvious edges of a unit of deposit. A specimen taken perpendicular to a vertical surface, or perpendicular to a surface with a batter, shall be taken from near the middle of a unit of deposit when possible and not near formed joints or obvious edges of a unit of deposit.

4.3 *Slab Removal*—Remove a slab sufficiently large to secure the desired test specimens without the inclusion of any concrete which has been cracked, spalled, undercut, or otherwise damaged.

DRILLED CORES

5. Length of Drilled Core Specimens

5.1 *Minimum Diameter*—A core specimen for the determination of length shall have a diameter of at least 4 in. (102 mm).

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.03.01 on Methods of Testing Concrete for Strength.

Current edition approved Dec. 31, 1987. Published February 1988. Originally published as C 42 - 21 T. Last previous edition C 42 - 84a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

5.2 Procedure for Length Determination—Measure the lengths of cores in accordance with the provisions of Method C 174.

6. Compressive Strength

6.1 Test Specimens—The diameter of core specimens for the determination of compressive strength should preferably be at least three times the nominal maximum size of the coarse aggregate used in the concrete, and must be at least twice the maximum nominal size of the coarse aggregate in the core sample. The length of the specimen, when capped, should be as nearly as practicable twice its diameter. A core having a maximum height of less than 95 % of its diameter before capping or a height less than its diameter after capping shall not be tested.

6.2 End Preparation—The ends of core specimens to be tested in compression shall be essentially smooth, perpendicular to the longitudinal axis, and of the same diameter as the body of the specimen. If necessary, saw or tool the ends of the specimens until the following requirements are met:

6.2.1 Projections, if any, shall not extend more than 0.2 in. (5 mm) above the end surfaces,

6.2.2 The end surfaces shall not depart from perpendicularity to the longitudinal axis by more than 5°, and

6.2.3 The diameters of the ends shall not depart more than 0.1 in. (2.5 mm) from the mean diameter of the specimen.

6.3 Moisture Conditioning—Submerge the test specimens in lime-saturated water at 73.4 ± 3.0°F (23.0 ± 1.7°C) for at least 40 h immediately prior to making the compression test. Test the specimens promptly after removal from water storage. During the period between removal from water storage and testing, keep the specimens moist by covering with a wet blanket of burlap or other suitable absorbent fabric.

6.3.1 When the specifying authority for the project so directs, cores shall be tested in a moisture condition other than achieved by conditioning according to 6.3. Length-diameter correction factors shown in 6.7 are applicable to both dry and soaked concrete. Direction for consideration of testing in a moisture condition other than that achieved by soaking at least 40 h may be found in ACI 301, chapter 17, and ACI 318, chapter 4.

6.4 Capping—Before making the compression test, cap the ends of the specimens in conformance with the procedure prescribed in the applicable section of Practice C 617. The capped surfaces of the specimens shall conform to the planeness requirements of Method C 192.

6.5 Measurement—Prior to testing, measure the length of the capped specimen to the nearest 0.1 in. (2.5 mm) and use this length to compute the length-to-diameter ratio. Determine the average diameter by averaging two measurements taken at right angles to each other about the midheight of the specimen. Measure core diameters to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) whenever possible, but at least to the nearest 0.1 in.

NOTE 2—Most shot-drilled cores will not be smooth enough to justify measuring of diameters closer than the nearest 0.1 in. (2.5 mm).

6.6 Testing—Test the specimens in accordance with the applicable provisions of Test Method C 39.

6.7 Calculations—Calculate the compressive strength of each specimen using the computed cross-sectional area based on the average diameter of the specimen.

6.7.1 If the ratio of length to diameter of the specimen exceeds 2.10 it shall be reduced in length to fall within the ratio limits of 1.94 to 2.10. Specimens within these ratios require no correction.

6.7.2 If the ratio of length to diameter of the specimen is less than 1.94 apply correction factors shown in the following table:

Ratio of Length of Cylinder to Diameter <i>l/d</i>	Strength Correction Factor ⁴
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

⁴ These correction factors apply to lightweight concrete weighing between 100 and 120 lb/ft³ (1600 and 1920 kg/m³) and to normal weight concrete. They are applicable to concrete dry or soaked at the time of loading. Values not given in the table shall be determined by interpolation. The correction factors are applicable for nominal concrete strengths from 2000 to 6000 psi (13.8 to 41.4 MPa). (Correction factors depend on various conditions such as strength and elastic moduli. Average values are given in the table.)

6.8 Report—Report the results as required by Test Method C 39 with the addition of the following information:

6.8.1 Length of test specimen before and after capping,

6.8.2 Compressive strength to the nearest 10 psi (69 kPa) when the diameter is measured to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) and to the nearest 50 psi (345 kPa) when the diameter is measured to the nearest 0.1 in. (2.5 mm), after correction for length-diameter ratio when required,

6.8.3 Direction of application of the load on the specimen with respect to the horizontal plane of the concrete as placed,

6.8.4 The moisture condition at the time of testing, and

6.8.5 Nominal maximum size of concrete aggregate.

7. Splitting Tensile Strength

7.1 Test Specimens—The specimens shall conform to the dimensional requirements in 6.1, 6.2.1, and 6.2.2. Ends are not to be capped.

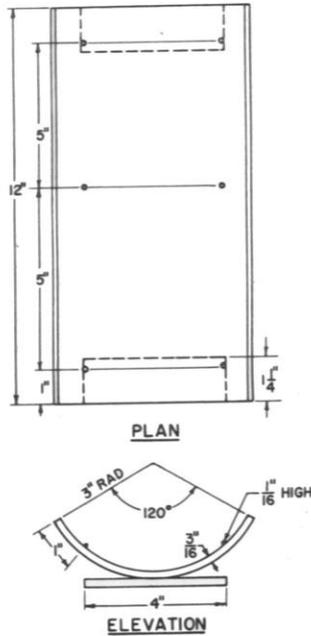
7.2 Moisture Conditioning—Prior to testing condition the specimens as described in 6.3.

7.3 Bearing Surfaces—The line of contact between the specimen and each bearing strip shall be straight and free of any projections or depressions higher or deeper than 0.01 in. (0.25 mm). When the line of contact is not straight or contains projections or depressions having heights or depths greater than 0.01 in., grind or cap the specimen so as to produce bearing lines meeting these requirements. Do not use specimens with projections or depressions greater than 0.1 in. (2.5 mm). When capping is employed the caps shall be as thin as practicable and shall be formed of high-strength gypsum plaster.

NOTE 3—Fig. 1 illustrates a device suitable for applying caps to 6-in. (150-mm) diameter specimens.

7.4 Testing—Test the specimens in accordance with the applicable provisions of Test Method C 496.

7.5 Calculation and Report—Calculate the splitting tensile strength and report the results as required in Test Method C 496. When grinding or capping of the bearing surfaces is required, measure the diameter between the



		Metric Equivalents						
in.	1/16	3/16	1	1 1/4	3	4	5	12
mm.	1.6	4.8	25	32	76	102	127	305

FIG. 1 Suitable Capping Device for Splitting Tensile Strength Test

finished surfaces. Indicate that the specimen was a core and state its moisture condition at the time of testing.

SAWED BEAMS

8. Flexural Strength

8.1 Test Specimens—A beam specimen for the determi-

nation of flexural strength shall in general have a cross section of 6 by 6 in. (150 by 150 mm) (Note 4). The specimen shall be at least 21 in. (530 mm) in length, but when two tests for flexural strength are to be made in one beam specimen, it shall be at least 33 in. (840 mm) in length. Perform the sawing operation so that the concrete will not be weakened by shock or by heating. The sawed surfaces shall be smooth, plane, parallel, and free from steps, ridges, and grooves. Take care in handling sawed beam specimens to avoid chipping or cracking.

NOTE 4—In many cases, particularly with prisms cut from pavement slabs, the width will be governed by the size of the coarse aggregate and the depth by the thickness of the slab.

8.2 Moisture Conditioning—Submerge the test specimens in lime-saturated water at 73.4 ± 3°F (23 ± 1.7°C) for at least 40 h immediately prior to the flexure test. Test the specimens promptly after removal from water storage. During the period between removal from water storage and testing, keep the specimens moist by covering with a wet blanket of burlap or other suitable absorbent fabric.

8.2.1 When the specifying authority for the project so directs, beams shall be tested in a moisture condition other than that achieved by conditioning in accordance with 8.2. Relatively small amounts of drying of the surface of flexural specimens induce tensile stresses in the extreme fibers that will markedly reduce the indicated flexural strength.

8.3 Testing—Test the specimens in accordance with the applicable provisions of Test Method C 78.

NOTE 5—The compressive strengths of portions of beams broken in flexure may be determined by testing such portions as modified cubes in accordance with Test Method C 116.

NOTE 6—Sawing may greatly reduce the indicated flexural strength; beams shall, therefore, be tested with a molded surface in tension whenever possible. The location of the tension face with respect to the position of the concrete as placed and the position of the sawed surfaces should be reported.

8.4 Report—Report the results in accordance with the applicable provisions of Test Method C 78 and the requirements of this test method, including the moisture condition at the time of testing. Identify orientation of the specimen's finished, sawed, and tension faces with respect to their positions in the test apparatus.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Test Method for Measuring Length of Drilled Concrete Cores¹

This standard is issued under the fixed designation C 174; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the length of a core drilled from a concrete structure.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Significance and Use

2.1 This test method is used to determine the compliance of concrete construction with design specifications. It is especially important in determining the thickness of pavements and other slab construction.

3. Apparatus

3.1 The apparatus shall consist of a caliper device that will measure the length of axial elements of the core. While the details of the mechanical design are not prescribed, the apparatus shall conform to the requirements of 3.2 to 3.6.²

3.2 The apparatus shall be so designed that the specimen will be held with its axis in a vertical position by three symmetrically placed supports bearing against the lower end. These supports shall be short posts or studs of hardened steel, and the ends that bear against the surface of the specimen shall be rounded to a radius of not less than $\frac{1}{4}$ in. (6.4 mm) and not more than $\frac{1}{2}$ in. (12.7 mm).

3.3 The apparatus shall provide for the accommodation of specimens of different nominal lengths over a range of at least 4 to 10 in. (100 to 250 mm).

3.4 The caliper device shall be so designed that it will be possible to make a length measurement at the center of the upper end of the specimen, and at eight additional points spaced at equal intervals along the circumference of a circle

whose center point coincides with that of the end area of the specimen and whose radius is not less than one half nor more than three fourths of the radius of the specimen.

3.5 The measuring rod or other device that makes contact with the end surface of the specimen for measurement shall be rounded to a radius of $\frac{1}{8}$ in. (3.2 mm). The scale on which the length readings are made shall be marked with clear, definite, accurately spaced graduations. The spacing of the graduations shall be 0.10 in. (2.5 mm) or a decimal part thereof.

3.6 The apparatus shall be stable and sufficiently rigid to maintain its shape and alignment without a distortion or deflection of more than 0.01 in. (0.25 mm) during all normal measuring operations.

4. Test Specimens

4.1 Cores used as specimens for length measurement shall be in every way representative of the concrete in the structure from which they are removed. The specimen shall be drilled with the axis normal to the surface of the structure, and the ends shall be free from all conditions not typical of the surfaces of the structure. Cores that show abnormal defects or that have been damaged appreciably in the drilling operation shall not be used. If a core drilled from a pavement or structure placed on dense-graded base course aggregates includes particles of the aggregate bonded to the bottom surface of the concrete, the bonded particles shall be removed by wedging or by chisel and hammer applied so as to expose the lower surface of the concrete. If the concrete is placed on an open-graded aggregate base course, the mortar in the concrete may penetrate into the base and surround some particles. Use sufficient force with a wedge or chisel and hammer to remove bonded particles but not such force as to fracture particles substantially surrounded by mortar. If during the removal of bonded aggregate the concrete is broken so that the instructions of 5.4 cannot be followed, the core shall not be used for length measurement.

5. Procedure

5.1 Before any measurements of the core length are made, calibrate the apparatus with suitable gages so that errors caused by mechanical imperfections in the apparatus are known. When these errors exceed 0.01 in. (0.25 mm), apply suitable corrections to the core length measurements.

5.2 Place the specimen in the measuring apparatus with the smooth end of the core, that is, the end that represents the upper surface of a pavement slab or a formed surface in the case of other structures, placed down so as to bear against the three hardened-steel supports. So place the specimen on the supports that the central measuring position of the

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.03.12 on Miscellaneous Tests for Hardened Concrete.

Current edition approved March 9, 1987. Published April 1987. Originally issued as C 174 - 42 T. Last previous edition C 174 - 82. The current revision to this standard includes changes to 4.1, 5.4, and the addition of Section 7, Precision and Bias.

² For further information relating to the development of this test method and apparatus, reference should be made to the "Project Report on a Study of Methods of Measurement of the Length of Cores Drilled from Concrete Structures," prepared by L. W. Teller for Subcommittee VII on Methods and Apparatus for Testing Concrete, of Committee C-9, see *Proceedings*, Am. Soc. Testing Mats., ASTEA, Vol 42, 1942.

measuring apparatus is directly over the midpoint of the upper end of the specimen.

5.3 Make nine measurements of the length on each specimen, one at the central position and one each at eight additional positions spaced at equal intervals along the circumference of the circle of measurement. Read each of these nine measurements directly to tenths of an inch and either directly or by estimation to five-hundredths of an inch.

5.4 If, in the course of the measuring operation, it is discovered that at one or more of the measuring points the surface of the specimen is not representative of the general plane of the core end because of a small projection or depression, the specimen shall be rotated slightly about its axis and a complete set of nine measurements made with the

specimen in the new position. With cores from pavements placed over open-graded aggregate bases the foregoing provisions frequently cannot be met because of the great number of projections or voids on the bottom surface.

6. Report

6.1 The individual observations shall be recorded to the nearest 0.05 in. (1.3 mm), and the average of the nine measurements expressed to the nearest 0.1 in. (2.5 mm) shall be reported as the length of the concrete core.

7. Precision and Bias

7.1 No statement is made about either the precision or the bias of this test method, since data for preparation of such statements are not known to have been obtained.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation C 496; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens, such as molded cylinders and drilled cores.

NOTE 1—For methods of molding cylindrical concrete specimens, see Practice C 192 and Practice C 31. For methods of obtaining drilled cores see Method C 42.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 31 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²
- C 39 Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens²
- C 42 Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²
- C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²

3. Significance and Use

3.1 This test method measures the splitting tensile strength of concrete by the application of a diametral compressive force on a cylindrical concrete specimen placed with its axis horizontal between the platens of a testing machine.

3.2 Splitting tensile strength is simpler to determine than direct tensile strength.

3.3 Splitting tensile strength is used to evaluate the shear resistance provided by concrete in reinforced lightweight aggregate concrete members.

4. Apparatus

4.1 *Testing Machine*—The testing machine shall conform to the requirements of Test Method C 39 and may be of any

type of sufficient capacity that will provide the rate of loading prescribed in 6.5.

4.2 *Supplementary Bearing Bar or Plate*—If the diameter or the largest dimension of the upper bearing face or the lower bearing block is less than the length of the cylinder to be tested, a supplementary bearing bar or plate of machined steel shall be used. The surfaces of the bar or plate shall be machined to within ± 0.001 in. (0.025 mm) of planeness, as measured on any line of contact of the bearing area. It shall have a width of at least 2 in. (51 mm), and a thickness not less than the distance from the edge of the spherical or rectangular bearing block to the end of the cylinder. The bar or plate shall be used in such manner that the load will be applied over the entire length of the specimen.

4.3 *Bearing Strips*—Two bearing strips of nominal $\frac{1}{8}$ in. (3.2 mm) thick plywood, free of imperfections, approximately 1 in. (25 mm) wide, and of a length equal to, or slightly longer than, that of the specimen shall be provided for each specimen. The bearing strips shall be placed between the specimen and both the upper and lower bearing blocks of the testing machine or between the specimen and supplemental bars or plates, if used (see 4.2). Bearing strips shall not be reused.

5. Test Specimens

5.1 The test specimens shall conform to the size, molding, and curing requirements set forth in either Practice C 31 (field specimens) or Practice C 192 (laboratory specimens). Drilled cores shall conform to the size and curing requirements set forth in Method C 42. Moist-cured specimens, during the period between their removal from the curing environment and testing, shall be kept moist by a wet burlap or blanket covering, and shall be tested in a moist condition as soon as practicable.

5.2 The following curing procedure shall be used for evaluations of light-weight concrete: specimens tested at 28 days shall be in an air-dry condition after 7 days moist curing followed by 21 days drying at $73 \pm 3^\circ\text{F}$ ($23.0 \pm 1.7^\circ\text{C}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity.

6. Procedure

6.1 *Marking*—Draw diametral lines on each end of the specimen using a suitable device that will ensure that they are in the same axial plane (see Figs. 1, 2 and Note 2), or as an alternative, use the aligning jig shown in Fig. 3 (Note 3).

NOTE 2—Figures 1 and 2 show a suitable device for drawing diametral lines on each end of the specimen in the same axial plane. The device consists of three parts as follows:

(1) A length of 4-in. (100-mm) steel channel, the flanges of which have been machined flat,

(2) A section of a tee bar, *B*, that is grooved to fit smoothly over the flanges of the channel and that includes a rectangular notch for

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.03.01 on Methods of Testing Concrete for Strength.

Current edition approved Feb. 9, 1990. Published April 1990. Originally published as C 496 - 62. Last previous edition C 496 - 86¹.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

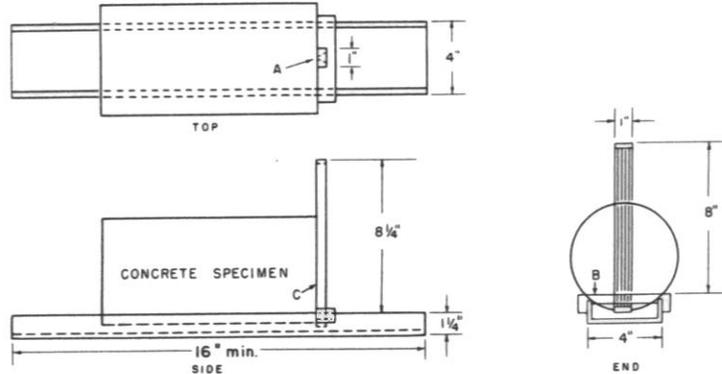
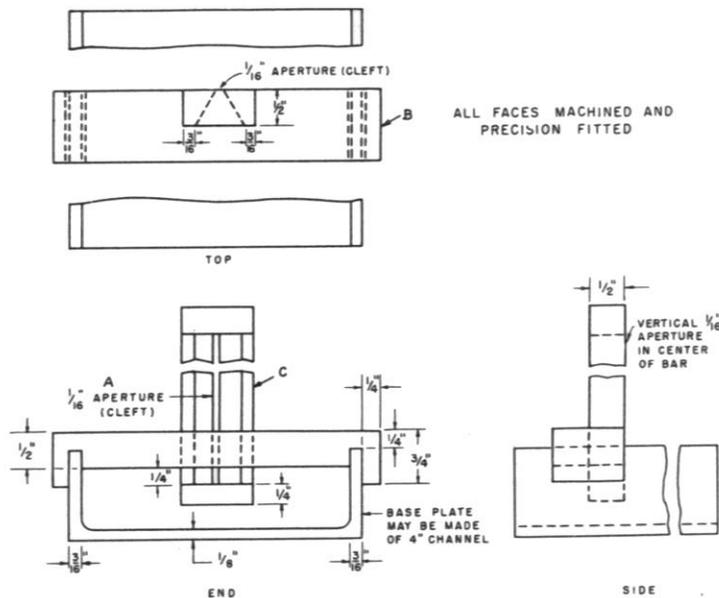


FIG. 1 General Views of a Suitable Apparatus for Marking End Diameters Used for Alignment of Specimen in Testing Machine



Metric Equivalents—Figs. 1, 2 and 4

in.	1/16	1/8	3/16	1/4	1/2	3/4	1	1 1/4	2	2 1/2	4	7 1/2	8	8 1/4	15	16
mm	1.6	3.2	4.8	6.4	13	19	25	32	50	65	100	190	200	205	375	400

FIG. 2 Detailed Plans for a Suitable Apparatus for Marking End Diameters Used for Aligning the Specimen

positioning the vertical member of the tee bar assembly, and
 (3) A vertical bar, C, containing a longitudinal aperture (clef), A, for guiding a pencil.

The tee bar assembly is not fastened to the channel and is positioned at either end of the channel without disturbing the position of the specimen when marking the diametral lines.

NOTE 3—Figure 4 is a detailed drawing of the aligning jig shown in Fig. 3 for achieving the same purpose as marking the diametral lines. The device consists of:

(1) A base for holding the lower bearing strip and cylinder,

(2) A supplementary bearing bar conforming to the requirements in Section 3 as to critical dimensions and planeness, and

(3) Two uprights to serve for positioning the test cylinder, bearing strips, and supplementary bearing bar.

6.2 *Measurements*—Determine the diameter of the test specimen to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) by averaging three diameters measured near the ends and the middle of the specimen and lying in the plane containing the lines marked on the two ends. Determine the length of the

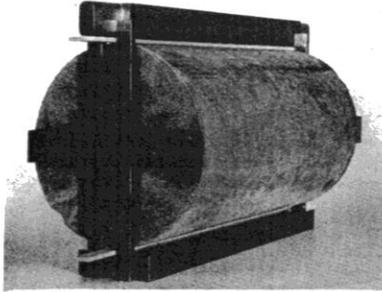


FIG. 3 Jig for Aligning Concrete Cylinder and Bearing Strips

specimen to the nearest 0.1 in. (2.5 mm) by averaging at least two length measurements taken in the plane containing the lines marked on the two ends.

6.3 *Positioning Using Marked Diametral Lines*—Center one of the plywood strips along the center of the lower bearing block. Place the specimen on the plywood strip and align so that the lines marked on the ends of the specimen are vertical and centered over the plywood strip. Place a second plywood strip lengthwise on the cylinder, centered on the lines marked on the ends of the cylinder. Position the assembly to ensure the following conditions:

6.3.1 The projection of the plane of the two lines marked on the ends of the specimen intersects the center of the upper bearing plate, and

6.3.2 The supplementary bearing bar or plate, when used, and the center of the specimen are directly beneath the center of thrust of the spherical bearing block (see Fig. 5).

6.4 *Positioning by Use of Aligning Jig*—Position the bearing strips, test cylinder, and supplementary bearing bar by means of the aligning jig as illustrated in Fig. 3 and center the jig so that the supplementary bearing bar and the center of the specimen are directly beneath the center of thrust of the spherical bearing block.

6.5 *Rate of Loading*—Apply the load continuously and without shock, at a constant rate within the range 100 to 200 psi/min (689 to 1380 kPa/min) splitting tensile stress until failure of the specimen (Note 4). Record the maximum applied load indicated by the testing machine at failure. Note the type of failure and the appearance of the concrete.

NOTE 4—The relationship between splitting tensile stress and applied load is shown in Section 7. The required loading range in splitting tensile stress corresponds to applied total load in the range of 11 300 to 22 600 lbf (50 to 100 kN)/min for 6 by 12-in. (152 by 305-mm) cylinders.

7. Calculation

7.1 Calculate the splitting tensile strength of the specimen as follows:

$$T = 2P/\pi ld$$

where

T = splitting tensile strength, psi (kPa),

P = maximum applied load indicated by the testing machine, lbf (kN),

l = length, in. (m), and

d = diameter, in. (m).

8. Report

8.1 Report the following information:

8.1.1 Identification number,

8.1.2 Diameter and length, in. (m),

8.1.3 Maximum load, lbf (kN),

8.1.4 Splitting tensile strength calculated to the nearest 5 psi (35 kPa),

8.1.5 Estimated proportion of coarse aggregate fractured during test,

8.1.6 Age of specimen,

8.1.7 Curing history,

8.1.8 Defects in specimen,

8.1.9 Type of fracture, and

8.1.10 Type of specimen.

9. Precision and Bias

9.1 The precision and bias of this test method has not yet been determined, but data are being collected and precision and bias statements will be included when formulated.

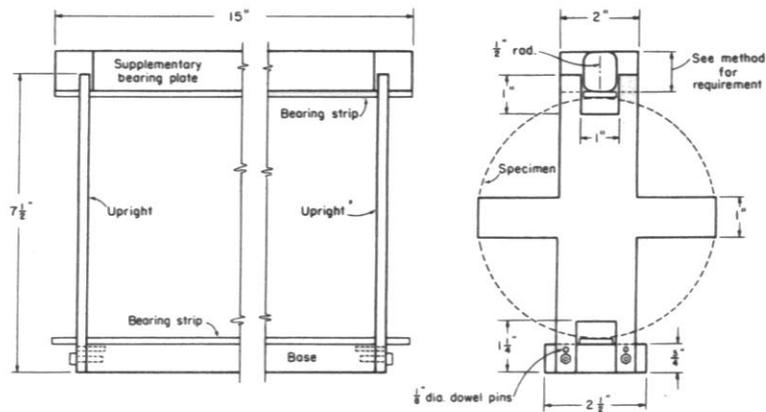


FIG. 4 Detailed Plans for a Suitable Aligning Jig

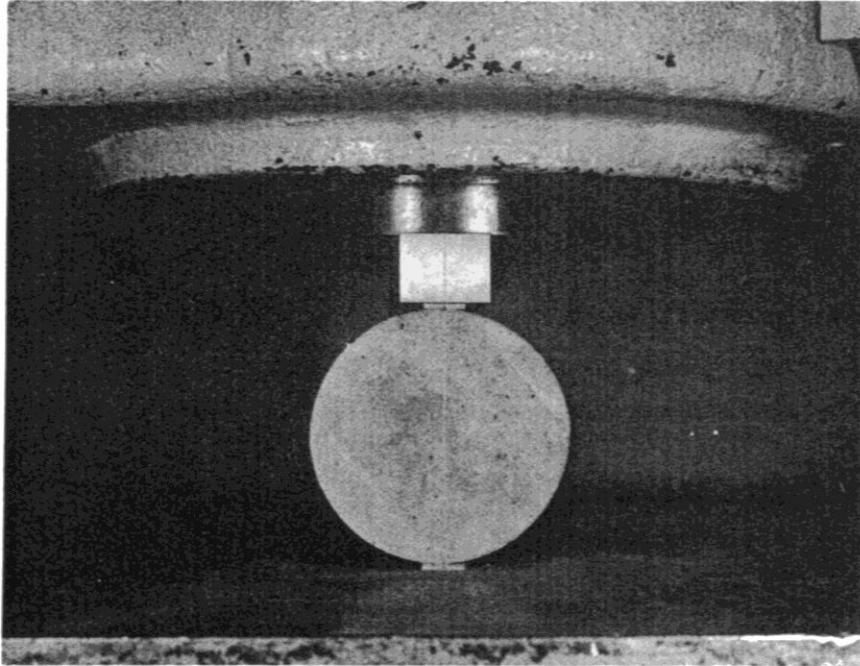


FIG. 5 Specimen Positioned in a Testing Machine for Determination of Splitting Tensile Strength

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

ANEXO 4

10-18-2002

State: El Salvador
 Agency: Quezaltepeque La Cuchill
 Company: TNM
 Contractor: Location: km 22.76
 Engineer:

===== RIGID PAVEMENT DEFLECTION INFORMATION AND BACKCALCULATION =====

Existing PCC Slab Thickness, inches 8.00
 PCC Concrete Poisson's Ratio .15
 Radius of Load Plate, inches 6.0

BACKCALCULATION OF keff AND Ec:

LOAD (lbs)	d0 (mils)	d12 (mils)	d24 (mils)	d36 (mils)	AREA (in)	l (in)	k (pci)	Dynamic keff (pci)	Static keff (pci)	Slab Ec (ksi)
1) 12408	7.60	6.42	4.57	3.54	26.15	22.70	382	191	191	2,323
2) 12132	10.12	8.11	5.59	4.21	24.74	20.26	349	175	175	1,348
3) 12318	10.39	9.45	6.69	5.12	27.60	25.90	215	107	107	2,212
4) 0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	0	0	0	0
5) 0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	0	0	0	0
Average:							22.95	158	158	1,961

10-18-2002

State: El Salvador
 Agency:
 Company: TNM
 Contractor:
 Engineer:

Job Number: Quezaltepeque La Cuchill
 Location: km 24.01

=====
 RIGID PAVEMENT DEFLECTION INFORMATION AND BACKCALCULATION
 =====

Existing PCC Slab Thickness, inches 8.00
 PCC Concrete Poisson's Ratio .15
 Radius of Load Plate, inches 6.0

BACKCALCULATION OF keff AND Ec:

	LOAD (lbs)	d0 (mils)	d12 (mils)	d24 (mils)	d36 (mils)	AREA (in)	l (in)	k (pci)	kef (pci)	Slab Ec (ksi)
1)	12249	10.0	9.45	7.52	6.46	30.24	34.89	124	62	4,196
2)	12280	9.49	8.78	5.91	4.02	27.12	24.74	256	128	2,199
3)	12249	12.83	10.67	7.60	5.79	25.80	22.04	237	118	1,278
4)	12449	6.85	5.91	4.17	3.07	26.35	23.09	411	206	2,679
5)	12244	13.35	14.06	11.22	8.50	32.54	50.67	44	22	6,684
							Average:	31.09	107	3,407

10-18-2002

State: El Salvador
 Agency: Quezaltepeque La Cuchill
 Company: TNM
 Contractor: Location: km 28.63
 Engineer:

==== RIGID PAVEMENT DEFLECTION INFORMATION AND BACKCALCULATION =====

Existing PCC Slab Thickness, inches 8.00
 PCC Concrete Poisson's Ratio .15
 Radius of Load Plate, inches 6.0

BACKCALCULATION OF keff AND Ec:

	LOAD (lbs)	d0 (mils)	d12 (mils)	d24 (mils)	d36 (mils)	AREA (in)	l (in)	Dynamic k (pci)	Static keff (pci)	Slab Ec (ksi)
1)	12303	11.02	10.28	8.03	6.73	29.60	32.18	132	66	3,245
2)	12233	16.34	15.08	11.57	9.33	29.0	29.98	102	51	1,884
3)	12285	10.12	9.65	7.17	5.79	29.38	31.32	151	76	3,341
4)	12285	9.76	9.09	7.24	6.06	29.80	32.98	142	71	3,848
5)	12413	11.46	10.43	8.07	6.69	28.87	29.57	151	76	2,650
							Average:	31.21	68	2,994

10-18-2002

State: El Salvador
 Agency: DV Ciudad Arce Quezaltep
 Company: TNM
 Contractor:
 Engineer:
 Location: km 28.01

=====
 RIGID PAVEMENT DEFLECTION INFORMATION AND BACKCALCULATION
 =====

Existing PCC Slab Thickness, inches 8.00
 PCC Concrete Poisson's Ratio .15
 Radius of Load Plate, inches 6.0

BACKCALCULATION OF keff AND Ec:

	LOAD	d0	d12	d24	d36	AREA	l	k	keff	Slab Ec
	(lbs)	(mils)	(mils)	(mils)	(mils)	(in)	(in)	(pci)	(pci)	(ksi)
1)	12323	11.02	8.70	7.20	6.38	26.79	24.01	235	117	1,786
2)	12174	14.57	12.91	9.33	7.20	27.28	25.13	160	80	1,466
3)	12343	13.66	13.23	7.68	5.35	26.72	23.86	192	96	1,425
4)	12100	21.46	12.28	8.74	7.01	19.71	14.55	308	154	316
5)	12228	10.87	10.31	7.95	6.50	29.75	32.75	129	64	3,389
							Average:	24.06	102	1,676

10-18-2002

State: El Salvador
 Agency: TNM
 Company: TNM
 Contractor:
 Engineer:

Job Number: Dv Ciudad Arce Quezaltep
 Location: km 29.26

=====
 RIGID PAVEMENT DEFLECTION INFORMATION AND BACKCALCULATION
 =====

Existing PCC Slab Thickness, inches 8.00
 PCC Concrete Poisson's Ratio .15
 Radius of Load Plate, inches 6.0

BACKCALCULATION OF keff AND Ec:

	LOAD (lbs)	d0 (mils)	d12 (mils)	d24 (mils)	d36 (mils)	AREA (in)	l (in)	k (pci)	Dynamic Static kef (pci)	Slab Ec (ksi)
1)	12276	11.30	10.39	7.44	5.63	27.92	26.75	185	92	2,166
2)	12327	7.68	7.09	5.43	3.62	28.39	28.06	248	124	3,530
3)	12269	10.43	8.94	5.55	4.92	25.50	21.51	305	153	1,498
4)	12343	10.51	9.45	5.87	4.41	26.01	22.43	281	141	1,631
5)	12253	14.17	14.76	10.31	8.15	30.68	37.06	77	39	3,349
							Average:	27.16	110	2,435

10-18-2002

State: El Salvador
 Agency: TNM
 Company: TNM
 Contractor:
 Engineer:
 Job Number: Dv Ciudad Arce Quezaltep
 Location: km 30.51

===== RIGID PAVEMENT DEFLECTION INFORMATION AND BACKCALCULATION =====

Existing PCC Slab Thickness, inches 8.00
 PCC Concrete Poisson's Ratio .15
 Radius of Load Plate, inches 6.0

BACKCALCULATION OF keff AND Ec:

LOAD (lbs)	d0 (mils)	d12 (mils)	d24 (mils)	d36 (mils)	AREA (in)	l (in)	k (pci)	keff (pci)	Slab Ec (ksi)
1) 12201	10.0	9.09	7.05	5.87	28.89	29.62	170	85	2,996
2) 12285	10.12	8.74	6.26	4.88	26.68	23.78	259	130	1,901
3) 12132	19.53	18.74	15.55	13.54	31.23	40.19	47	24	2,834
4) 12323	10.16	9.92	6.38	5.24	28.35	27.93	189	95	2,642
5) 12264	11.18	10.35	8.23	7.01	29.70	32.58	127	63	3,271
Average:							30.82	79	2,729

10-18-2002

State: El Salvador
 Agency:
 Company: TNM
 Contractor:
 Engineer:

Job Number: Dv Ciudad Arce Quezaltep
 Location: km 31.76

===== RIGID PAVEMENT DEFLECTION INFORMATION AND BACKCALCULATION =====

Existing PCC Slab Thickness, inches 8.00
 PCC Concrete Poisson's Ratio .15
 Radius of Load Plate, inches 6.0

BACKCALCULATION OF keff AND Ec:

	LOAD (lbs)	d0 (mils)	d12 (mils)	d24 (mils)	d36 (mils)	AREA (in)	l (in)	k (pci)	Dynamic Static kef (pci)	Slab Ec (ksi)
1)	12312	5.75	5.20	3.66	2.76	27.37	25.34	404	202	3,821
2)	12366	14.06	15.04	13.39	12.72	35.69	200.0	10	10	10,000
3)	12267	15.59	15.79	12.80	10.67	32.11	46.63	45	22	4,849
4)	12249	10.08	8.15	5.87	4.65	25.46	21.44	318	159	1,536
5)	12260	11.10	10.87	8.74	7.28	31.14	39.61	87	43	4,895
							Average:	66.60	87	5,020

10-18-2002

State: El Salvador
 Agency: TNM
 Company: TNM
 Contractor:
 Engineer:

Job Number: Dv Ciudad Arce Quezaltep
 Location: km 33.01

===== RIGID PAVEMENT DEFLECTION INFORMATION AND BACKCALCULATION =====

Existing PCC Slab Thickness, inches 8.00
 PCC Concrete Poisson's Ratio .15
 Radius of Load Plate, inches 6.0

BACKCALCULATION OF keff AND Ec:

LOAD (lbs)	d0 (mils)	d12 (mils)	d24 (mils)	d36 (mils)	AREA (in)	l (in)	k (pci)	keff (pci)	Slab Ec (ksi)
1) 12195	16.93	16.18	13.15	11.42	30.84	37.89	62	31	2,918
2) 12222	12.24	10.94	8.27	6.73	28.13	27.32	163	81	2,079
3) 12355	11.06	10.0	7.83	6.54	28.89	29.63	155	78	2,745
4) 12260	9.37	9.06	6.46	5.08	29.13	30.43	173	86	3,395
5) 12303	9.65	6.73	5.12	3.86	23.14	18.03	464	232	1,124
Average:							28.66	102	2,452