

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



**MODELO DE GESTIÓN DE CONSERVACIÓN VIAL: AV. NIÑOS HÉROES ENTRE
AVENIDAS OCAMPO Y CARRANZA**

POR:

JUAN NICOLÁS SANABRIA VILLALBA

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

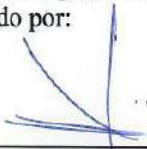
MAESTRO EN VÍAS TERRESTRES

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

AGOSTO DE 2024



Modelo de gestión de conservación vial: Av. Niños Héroes entre Avenidas Ocampo y Carranza. Tesis presentada por Juan Nicolás Sanabria Villalba como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres, ha sido aprobado y aceptado por:



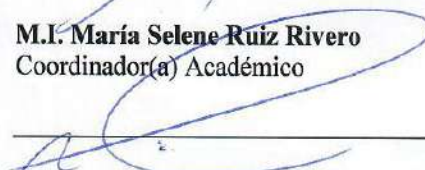
M.I. Fabián Vinicio Hernández Martínez
Director de la Facultad de Ingeniería



Dr. Fernando Martínez Reyes
Secretario de Investigación y Posgrado



M.I. María Selene Ruiz Rivero
Coordinador(a) Académico



M.I. Sergio Adrián Domínguez Mendoza
Director(a) de Tesis

Junio 2024

Fecha

COMITÉ
M.I. Sergio Adrián Domínguez Mendoza
Dr. Gilberto Wenglas Lara
Dr. José Castañeda Ávila
M. I. José Antonio Portillo Ocegüera

30 de agosto de 2024.

ING. JUAN NICÓLAS SANABRIA VILLALBA
Presente. -

En atención a su solicitud relativa al trabajo de Tesis para obtener el grado de Maestro en Vías Terrestres, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por el director **M.I. Sergio Adrián Domínguez Mendoza** para que lo desarrolle como Tesis, con el título **"MODELO DE GESTIÓN DE CONSERVACIÓN VIAL: AV. NIÑOS HÉROES ENTRE AVENIDAS OCAMPO Y CARRANZA"**.

Índice de Contenido

RESUMEN

ABSTRACT

1 GENERALIDADES

- 1.1 Introducción
- 1.2 Planteamiento del problema
- 1.3 Objetivos
 - 1.3.1 Objetivo General
 - 1.3.2 Objetivo Específicos
- 1.4 Justificación

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

- 2.1 Pavimentos
 - 2.1.1 Generalidades de los pavimentos
 - 2.1.2 Características de un pavimento
 - 2.1.3 Estructura de un pavimento



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

- 2.1.4 Tipos de pavimentos
- 2.1.5 Deterioro de pavimentos
- 2.1.6 Conservación de pavimentos
- 2.2 Sistema de gestión de pavimentos
 - 2.2.1 Infraestructura vial
 - 2.2.2 Reseña histórica de los sistemas de gestión de pavimentos.
 - 2.2.3 Gestión de pavimentos
- 2.3 Modelo de gestión de pavimentos
 - 2.3.1 Tipos de modelos de gestión de pavimentos
 - 2.3.2 ¿Cómo funcionan? y ¿cuál es su dinámica?
- 2.4 Gestión de pavimentos urbanos
 - 2.4.1 Componentes de un sistema de gestión de pavimentos urbanos
 - 2.4.2 En la práctica para sistemas de gestión de pavimentos urbanos
- 2.5 Diagnóstico del pavimento
 - 2.5.1 Pavimentos flexibles
 - 2.5.2 Pavimentos rígidos
- 2.6 Auscultación
 - 2.6.1 Auscultación superficial
 - 2.6.2 ¿Cómo funcionan? y ¿cuál es su dinámica?
- 2.7 Gestión de pavimentos urbanos
 - 2.7.1 Componentes de un sistema de gestión de pavimentos urbanos
 - 2.7.2 En la práctica para sistemas de gestión de pavimentos urbanos

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

2.7.3 Auscultación estructural

2.8 Evaluación de pavimentos

2.8.1 Evaluación superficial de pavimentos

2.8.2 Evaluación estructural de pavimentos

2.9 Índices internacionales y métodos de evaluación de pavimentos

2.9.1 Índice de serviciabilidad presente (PSI)

2.9.2 Índice de condición del pavimento (PCI)

2.9.3 Metodología PASER

2.9.4 Metodología VIZIR

2.10 Mantenimientos

2.10.1 Mantenimiento rutinario

2.10.2 Mantenimiento preventivo

2.10.3 Mantenimiento periódico

2.10.4 Mantenimiento de emergencia

2.10.5 Trabajos de reconstrucción

2.10.6 Responsabilidad por la gestión de pavimento (Mantenimiento)

2.10.7 Falencias de la conservación actual

2.11 Técnicas de conservación

3 ENTORNO (MARCO FÍSICO)

3.1 Localización

3.1.1 Macrolocalización

3.1.2 Microlocalización

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

- 3.2 Vías de comunicación
- 3.3 Fisiografía
- 3.4 Climatología del área del proyecto
 - 3.4.1 Temperaturas en Chihuahua Capital
- 3.5 Topografía y Relieve
- 3.6 Edafología
- 3.7 Geología
- 3.8 Hidrografía
- 3.9 Hidrología
- 3.10 Análisis de inundación en la zona del proyecto
- 3.11 Uso del suelo y vegetación
 - 3.11.1 Zonificación
- 3.12 Índice de accidentes viales
- 4 METODOLOGÍA**
 - 4.1 Visita preliminar para identificación de la zona
 - 4.2 Vuelo en dron
 - 4.3 Visitas para identificación de deterioros
 - 4.4 Clasificación del pavimento encontrados en la vialidad de estudio
 - 4.4.1 Aplicación del método PCI (ASTM D6433-03) para pavimentos flexibles
 - 4.4.2 Aplicación del método PASER para pavimentos rígidos
 - 4.5 Identificación de deterioros
 - 4.5.1 Identificación de deterioros Pavimentos Flexibles

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

- 4.5.2 Identificación de deterioros Pavimentos Rígidos
- 4.6 Dictamen técnico del pavimento
 - 4.6.1 Problemática general
- 4.7 Propuestas de intervención
- 5 RESULTADOS**
- 6 CONCLUSIONES**
- 7 RECOMENDACIONES**
- 8 REFLEXIÓN**
- 9 REFERENCIAS**
- 10 ANEXOS**
 - 10.1 Normativa Mexicana para mantenimiento rutinario
 - 10.2 Normativa Mexicana para mantenimiento periódico
 - 10.3 Normativa mexicana para trabajos de reconstrucción
 - 10.4 Figuras para cálculo de valor deducido según la normativa ASTM D6433-03
 - 10.5 Anexos de cálculos realizados para el levantamiento de daños
 - 10.5.1 Cálculo levantamiento de daños – pavimentos flexibles
 - 10.5.2 Cálculo levantamiento de daños – pavimentos rígidos
 - 10.6 Técnicas de conservación
 - 10.6.1 Limpieza de superficie de rodadura y acotamiento
 - 10.6.2 Sellado de fisuras aisladas en carpeta asfáltica
 - 10.6.3 Bacheo superficial aislado
 - 10.6.4 Bacheo profundo aislado
 - 10.6.5 Sellado de grietas y juntas en losas de concreto hidráulico

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

- 10.6.6 Señalamiento – Reposición de marcas en pavimentos
- 10.6.7 Señalamiento – Reposición de marcas en guarniciones
- 10.6.8 Renivelaciones locales en pavimentos asfálticos
- 10.6.9 Capas de rodadura de un riego (Riego de sello)
- 10.6.10 Capas de rodadura granulometría abierta
- 10.6.11 Capas de rodadura de mortero asfáltico
- 10.6.12 Carpeta asfáltica de granulometría densa
- 10.6.13 Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfálticos
- 10.6.14 Recorte de carpetas asfálticas
- 10.6.15 Recuperación en caliente de carpetas asfálticas
- 10.6.16 Recuperación en frío con emulsión asfáltica
- 10.6.17 Fresado de la superficie de rodadura en pavimento rígido
- 10.6.18 Reposición total o parcial losas de concreto hidráulico
- 10.6.19 Reparación de desconcharuras en losas de concreto hidráulico
- 10.6.20 Estabilización de losas de concreto hidráulico
- 10.6.21 Estabilización con revestimientos de Cloruro de Calcio
- 10.6.22 Capas de rodadura de granulometría discontinua Tipo SMA
- 10.6.23 Capas de rodadura de granulometría Discontinua Tipo CASAA
- 10.6.24 Recuperación en frío de pavimentos asfálticos
- 10.6.25 Demolición de losas de concreto hidráulico
- 10.6.26 Recorte de pavimentos
- 10.6.27 Construcción de subbases o bases hidráulicas
- 10.6.28 Construcción de subbases o bases estabilizadas

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125.
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

- 10.6.29 Construcción de subbases y bases de concreto compactado con rodillo
- 10.6.30 Construcción de carpetas y capas ultradelgadas
- 10.7 Característica de los materiales
 - 10.7.1 Materiales para pavimentos flexibles
 - 10.7.2 Materiales estructurales inferiores a capa de rodadura
 - 10.7.3 Materiales para pavimentos rígidos o concreto hidráulico
- 10.8 En general la vías urbanas

ATENTAMENTE
"naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

**M.I. FABIÁN VINICIO HERNÁNDEZ
MARTÍNEZ**

**FACULTAD DE
INGENIERÍA
U.A.CH.**



DIRECCIÓN

**SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO**

DR. FERNANDO MARTÍNEZ REYES

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx



Agradecimientos

A mis abuelos que sin lugar a dudas fueron quienes sembraron en mi padre la motivación de ser mejor cada día, a mis padres que no descansaron y me apoyaron en cada momento difícil de este arduo camino, a mi hermana Juanita que ha sido el motor principal de nuestra familia, a mi tío Luis Alberto que estuvo acompañándome en cada proceso de mi vida para convertirme en un profesional de la ingeniería. No puedo dejar por fuera de este agradecimiento a mi colega, compañera de maestría, y pareja Mariana Ruiz por ser ese apoyo incondicional desde el primer momento en el que se tomó la decisión de salir Colombia para venir a crecer profesionalmente a la Universidad Autónoma de Chihuahua a realizar esta maestría.

Mil gracias a todos mis compañeros de maestría que me apoyaron siendo foráneo y me brindaron una cálida estancia en Chihuahua. A la maestra Maria Lourdes “Luly” Flores quien siempre realizó un oportuno acompañamiento académico en todo este viaje que fue la maestría.

Quiero cerrar este pequeño agradecimiento con un reconocimiento muy especial a cada uno de los docentes de la maestría quienes ayudaron y fueron guiando mi formación en todo este camino. Muchas gracias a ustedes que hicieron de este viaje un aprendizaje que quedará para siempre en mi vida.

RESUMEN

La identificación de daños superficiales en la estructura del pavimento de cualquier vía es fundamental para mantener un corredor en óptimas condiciones. Es por eso que por medio de esta investigación en una de las vías más importantes del centro de la ciudad de Chihuahua se realiza un levantamiento de daños, para posteriormente desarrollar un modelo de gestión de pavimentos en la vialidad que pueda ser replicado en cualquier otra vía de cualquier otra ciudad.

Palabras clave: Pavimentos, diagnóstico, fallas, vía.

ABSTRACT

The identification of surface damage in the pavement structure of any road is essential to maintain a corridor in optimal conditions, that is why by the means of this research in one of the most important roads in the center of the city of Chihuahua a damage survey is performed, to subsequently develop a pavement management model in the road that can be replicated in any other road in any other city.

Key words: Pavements, diagnosis, failures, road

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xii
1 GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivo Específicos	3
1.4 Justificación.....	4
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1 Pavimentos	6
2.1.1 Generalidades de los pavimentos	6
2.1.2 Características de un pavimento.....	7
2.1.3 Estructura de un pavimento.....	8
2.1.4 Tipos de pavimentos.....	10
2.1.5 Deterioro de pavimentos	14
2.1.6 Conservación de pavimentos	15
2.2 Sistema de gestión de pavimentos.....	16
2.2.1 Infraestructura vial	16
2.2.2 Reseña histórica de los sistemas de gestión de pavimentos.....	18
2.2.3 Gestión de pavimentos	24
2.3 Modelo de gestión de pavimentos	25
2.3.1 Tipos de modelos de gestión de pavimentos.....	25

2.3.2	¿Cómo funcionan? y ¿cuál es su dinámica?	26
2.4	Gestión de pavimentos urbanos	26
2.4.1	Componentes de un sistema de gestión de pavimentos urbanos	27
2.4.2	En la práctica para sistemas de gestión de pavimentos urbanos	27
2.5	Diagnóstico del pavimento	30
2.5.1	Pavimentos flexibles	30
2.5.2	Pavimentos rígidos	44
2.6	Auscultación	62
2.6.1	Auscultación superficial	62
2.6.2	¿Cómo funcionan? y ¿cuál es su dinámica?	63
2.7	Gestión de pavimentos urbanos	64
2.7.1	Componentes de un sistema de gestión de pavimentos urbanos	64
2.7.2	En la práctica para sistemas de gestión de pavimentos urbanos	65
2.7.3	Auscultación estructural	76
2.8	Evaluación de pavimentos	78
2.8.1	Evaluación superficial de pavimentos	79
2.8.2	Evaluación estructural de pavimentos	81
2.9	Índices internacionales y métodos de evaluación de pavimentos	82
2.9.1	Índice de serviciabilidad presente (PSI)	82
2.9.2	Índice de condición del pavimento (PCI)	84
2.9.3	Metodología PASER	86
2.9.4	Metodología VIZIR	91
2.10	Mantenimientos	96
2.10.1	Mantenimiento rutinario	97
2.10.2	Mantenimiento preventivo	97
2.10.3	Mantenimiento periódico	98

2.10.4	Mantenimiento de emergencia	98
2.10.5	Trabajos de reconstrucción	99
2.10.6	Responsabilidad por la gestión de pavimento (Mantenimiento).....	100
2.10.7	Falencias de la conservación actual	101
2.11	Técnicas de conservación	102
3	ENTORNO (MARCO FÍSICO)	103
3.1	Localización	103
3.1.1	Macrolocalización	103
3.1.2	Microlocalización	105
3.2	Vías de comunicación.....	106
3.3	Fisiografía	108
3.4	Climatología del área del proyecto	108
3.4.1	Temperaturas en Chihuahua Capital	109
3.5	Topografía y Relieve	110
3.6	Edafología	113
3.7	Geología.....	116
3.8	Hidrografía	120
3.9	Hidrología	122
3.10	Análisis de inundación en la zona del proyecto	124
3.11	Uso del suelo y vegetación	125
3.11.1	Zonificación	127
3.12	Índice de accidentes viales	131
4	METODOLOGÍA	133
4.1	Visita preliminar para identificación de la zona	134
4.2	Vuelo en dron	136
4.3	Visitas para identificación de deterioros	137

4.4	Clasificación del pavimento encontrados en la vialidad de estudio	138
4.4.1	Aplicación del método PCI (ASTM D6433-03) para pavimentos flexibles ..	138
4.4.2	Aplicación del método PASER para pavimentos rígidos	146
4.5	Identificación de deterioros	152
4.5.1	Identificación de deterioros Pavimentos Flexibles	153
4.5.2	Identificación de deterioros Pavimentos Rígidos	154
4.6	Dictamen técnico del pavimento	156
4.6.1	Problemática general	157
4.7	Propuestas de intervención	157
5	RESULTADOS.....	161
6	CONCLUSIONES.....	173
7	RECOMENDACIONES.....	177
8	REFLEXIÓN	180
9	REFERENCIAS	181
10	ANEXOS	191
10.1	Normativa Mexicana para mantenimiento rutinario	191
10.2	Normativa Mexicana para mantenimiento periódico	192
10.3	Normativa mexicana para trabajos de reconstrucción.....	194
10.4	Figuras para cálculo de valor deducido según la normativa ASTM D6433-03 ..	196
10.5	Anexos de cálculos realizados para el levantamiento de daños	205
10.5.1	Cálculo levantamiento de daños – pavimentos flexibles	205
10.5.2	Cálculo levantamiento de daños – pavimentos rígidos	210
10.6	Técnicas de conservación	218
10.6.1	Limpieza de superficie de rodadura y acotamiento	218
10.6.2	Sellado de fisuras aisladas en carpeta asfáltica	218
10.6.3	Bacheo superficial aislado	220

10.6.4	Bacheo profundo aislado	221
10.6.5	Sellado de grietas y juntas en losas de concreto hidráulico	222
10.6.6	Señalamiento – Reposición de marcas en pavimentos	223
10.6.7	Señalamiento – Reposición de marcas en guarniciones	224
10.6.8	Renivelaciones locales en pavimentos asfálticos	225
10.6.9	Capas de rodadura de un riego (Riego de sello)	225
10.6.10	Capas de rodadura granulometría abierta	228
10.6.11	Capas de rodadura de mortero asfáltico	229
10.6.12	Carpeta asfáltica de granulometría densa	232
10.6.13	Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfálticos	235
10.6.14	Recorte de carpetas asfálticas	236
10.6.15	Recuperación en caliente de carpetas asfálticas	236
10.6.16	Recuperación en frío con emulsión asfáltica	238
10.6.17	Fresado de la superficie de rodadura en pavimento rígido	239
10.6.18	Reposición total o parcial losas de concreto hidráulico	240
10.6.19	Reparación de desconcharuras en losas de concreto hidráulico	241
10.6.20	Estabilización de losas de concreto hidráulico	244
10.6.21	Estabilización con revestimientos de Cloruro de Calcio	245
10.6.22	Capas de rodadura de granulometría discontinua Tipo SMA	246
10.6.23	Capas de rodadura de granulometría Discontinua Tipo CASAA	249
10.6.24	Recuperación en frío de pavimentos asfálticos	250
10.6.25	Demolición de losas de concreto hidráulico	251
10.6.26	Recorte de pavimentos	254
10.6.27	Construcción de subbases o bases hidráulicas	254
10.6.28	Construcción de subbases o bases estabilizadas	255
10.6.29	Construcción de subbases y bases de concreto compactado con rodillo ...	257

10.6.30	Construcción de carpetas y capas ultradelgadas	259
10.7	Característica de los materiales	261
10.7.1	Materiales para pavimentos flexibles	262
10.7.2	Materiales estructurales inferiores a capa de rodadura	290
10.7.3	Materiales para pavimentos rígidos o concreto hidráulico	311
10.8	En general la vías urbanas	327

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Carga y esfuerzos sobre una estructura de pavimento (García, 2016).....	7
Figura 2.	Vista en corte de una estructura de pavimento (Hidalgo Andrade, 2007).	8
Figura 3.	Estructura de pavimento flexible (Saucedo Vidal, 2012).	10
Figura 4.	Estructura de pavimento rígido (Saucedo Vidal, 2012).	11
Figura 5.	Pavimentos de concreto simple con juntas (Sanchez Sandoval, 2018).	12
Figura 6.	Pavimento de concreto reforzado con juntas (Sanchez Sandoval, 2018).....	12
Figura 7.	Pavimento de concreto con refuerzo continuo (Sanchez Sandoval, 2018).	13
Figura 8.	Pavimento de concreto con refuerzo estructural (Sanchez Sandoval, 2018).	13
Figura 9.	Pavimentos articulados (Sánchez Castillo, 2003).	14
Figura 10.	Etapas de un deterioro en vías según su condición (Sanabria, 2022).	15
Figura 11.	Sección de una vía urbana (Ovance, 2018).	17
Figura 12.	Sección de vía rural (Solminitac T., Echaveguren N., & Chamoro, 2018).	17
Figura 13.	Camino Real Persa (Wikipedia, 2017).....	18
Figura 14.	Estructura de camino romano (Adam, 1996).	19
Figura 15.	Vía Apia, sección tipo (Ashwoth,1979) citado por (Solminitac T., Echaveguren N., & Chamoro, 2018).	20
Figura 16.	La red de carreteras del Imperio Romano, ilustradas al modo de un mapa de metro moderno (Mohorte, 2020).	21
Figura 17.	Perfil de camino Mc Adam (Sanchez Sandoval, 2018).....	22
Figura 18.	Desprendimiento de agregado (INVIAS, 2013).	31
Figura 19.	Pulimento de agregado (INVIAS, 2013).	32
Figura 20.	Exudación (INVIAS, 2013).	33
Figura 21.	Ondulación (INVIAS, 2013).	34
Figura 22.	Protuberancias o abultamiento (INVIAS, 2013).	35
Figura 23.	Hundimiento o asentamiento transversal /longitudinal (INVIAS, 2013).	35
Figura 24.	Roderos o ahuellamientos (IMT, 2016).	36
Figura 25.	Desplazamiento longitudinal o crestas longitudinales (Perez, 2022).	37
Figura 26.	Bache (INVIAS, 2013).	38
Figura 27.	Deterioro en parche (INVIAS, 2013).....	39
Figura 28.	Deterioro en parche (Perez, 2022).	39
Figura 29.	Grietas por reflexión (INVIAS, 2013).	40
Figura 30.	Agrietamiento parabólico o grieta en media luna (INVIAS, 2013).	41
Figura 31.	Grietas o fisuras de borde (INVIAS, 2013).	41

Figura 32. Piel de cocodrilo (INVIAS, 2013)	42
Figura 33. Grieta longitudinal (Perez, 2022).	43
Figura 34. Grietas transversales (INVIAS, 2013).	43
Figura 35. Agrietamiento tipo mapa – grietas de bloque (Perez, 2022).	44
Figura 36. Grieta de esquina (INVIAS, 2013).	45
Figura 37. Grieta longitudinal (INVIAS, 2013).	46
Figura 38. Grieta Longitudinal (INVIAS, 2013).	47
Figura 39. Alabeo en losas de concreto hidráulico (Civil, 2011).	47
Figura 40. Grietas en bloque (Sanabria, 2023)	48
Figura 41. Grietas en pozos (Toxement, 2012).	49
Figura 42. Grietas de durabilidad (Grietas D).	50
Figura 43. Separación de juntas longitudinales (INVIAS, 2013)	51
Figura 44. Separación de juntas longitudinales (INVIAS, 2013)	51
Figura 45. Deterioro de sello o daños en el sello (INVIAS, 2013)	52
Figura 46. Desportillamiento de juntas (INVIAS, 2013).	53
Figura 47. Descascaramiento (INVIAS, 2013).	54
Figura 48. Desintegración (INVIAS, 2013).	55
Figura 49. Bache en Pavimento Rígido (Pacheco, 2021).	55
Figura 50. Pulimento (INVIAS, 2013)	56
Figura 51. Vista en perfil escalonamiento (DIRCAIBEA, 2002).	57
Figura 52. Escalonamiento (DIRCAIBEA, 2002).	57
Figura 53. Levantamiento localizado (INVIAS, 2013).	58
Figura 54. Parches en pavimentos rígidos (INVIAS, 2013).	58
Figura 55. Fisuración por retracción (INVIAS, 2013)	59
Figura 56. Fisuras ligeras de aparición temprana. (INVIAS, 2013)	60
Figura 57. Perfilografo tipo California (SSI, 1962)	69
Figura 58. Mu Meter para determinación de coeficiente de fricción (IMT, 2020).	70
Figura 59. Escala de Macrotexturas (IMT, 2020).	71
Figura 60. Criterios para coeficiente de fricción (IMT, 2020).	71
Figura 61. Equipo SCRIM (Euroconsult, 2012).	72
Figura 62. Equipo GripTester (Griptester, 2014).	72
Figura 63. Péndulo de fricción inglés (PT107, 2002).	73
Figura 64. Escala original del Banco Mundial para el IRI (N-CSV-CAR-1-03-004/16, 2016).....	74
Figura 65. Intervalos IRI (N-CSV-CAR-1-03-004/16, 2016).....	74
Figura 66. Grafico típico del avance del deterioro con respecto al IRI (PT108, 1998).	75
Figura 67. Nivel y estatal (IMT, 2020).	75
Figura 68. Equipo Dipstick para medir IRI (IMT, 2020).	75
Figura 69. Concepto de deflexión (Garnica, 2022)	76
Figura 70. Viga Benkleman (Rovem Partner, s.f).	77
Figura 71. Deflectómetro de impacto (Interempresa, 2018).	78
Figura 72. Representación gráfica del PSI (Carmany, 1948).	83
Figura 73. Clasificación del índice de condición del pavimento (PCI) (Sanabria, 2023).	85
Figura 74. Hoja de registro de datos para unidad de muestra (ASTM D6433-03, 1993).	86
Figura 75. Condición del pavimento por metodología PASER (PASER Manual, 2002).	87
Figura 76. Mapa de macrolocalización – México y sus estados.	103
Figura 77. Macrolocalización del Estado de Chihuahua.	104
Figura 78. Mapa de microlocalización de la zona de estudio.	105
Figura 79. Zonificación de la microlocalización (IMPLAN CUU, 2020).	106

Figura 80. Mapa de vías de comunicación de Chihuahua (INEGI, 2010).	107
Figura 81. Climatología de Chihuahua (Weatherpark, 2022).	108
Figura 82. Tiempo de lluvias en Chihuahua (Weatherpark, 2022).	109
Figura 83. Temperaturas en Chihuahua Capital (Weatherpark, 2022)	109
Figura 84. Topografía Chihuahua - zona de estudio.	111
Figura 85. Relieve Chihuahua - zona de estudio.	112
Figura 86. Mapa de edafología - zona urbana Chihuahua.	114
Figura 87. Mapa de Edafología - Chihuahua - zona de estudio	115
Figura 88. Mapa Geología Municipio de Chihuahua.....	117
Figura 89. Mapa Geología - zona Urbana Chihuahua.....	118
Figura 90. Mapa Geología - zona de estudio.	119
Figura 91. Mapa de Hidrografía – Municipio de Chihuahua – zona de estudio.....	120
Figura 92. Mapa de Hidrografía - zona urbana Chihuahua – zona de estudio.	121
Figura 93. Mapa de Regiones Hidrológicas de Chihuahua (Para Todo México, 2013).	122
Figura 94. Mapa de hidrología - Subcuencas del Municipio de Chihuahua – Microcuenca Chuviscar – Detalle de zona de estudio.	123
Figura 95. Mapa de zonas de inundación.....	124
Figura 96. Mapa de Uso del Suelo y Vegetación - Municipio de Chihuahua – zona de estudio.	126
Figura 97. Zonificación del proyecto - área de mancha urbana – zona centro Chihuahua (SIGMUN, 2020).	127
Figura 98. Zonificación del proyecto - Manzanas y zonas comerciales – zona centro Chihuahua (SIGMUN, 2020).	127
Figura 99. Análisis sociodemográfico de la zona de estudio - área de influencia con radio de 500 metros – zona centro Chihuahua (OVIE Chihuahua, 2020).	128
Figura 100. Análisis sociodemográfico de la zona de estudio - área de influencia con radio de 20 metros – zona centro Chihuahua (OVIE Chihuahua, 2020).	129
Figura 101. Análisis económico de la zona de estudio (OVIE Chihuahua, 2020).	130
Figura 102. Accidentes viales 2021 Av. Niños Héroes (zona de estudio).	131
Figura 103. Mapa de Accidentes Viales 2021 zona urbana Chihuahua – zona de estudio. ...	132
Figura 104. Registro de aplicación SW Maps - Avenida Niños Héroes entre Ocampo y Carranza.....	135
Figura 105. Ortofoto de la zona de estudio (Gómez, 2023)	136
Figura 106. Captura de daños superficiales de la vía de estudio.	137
Figura 107. Unidades de muestreo para metodología PCI.....	140
Figura 108. Valores deducidos totales con ingreso q (nivel) para corrección de valor deducido (ASTM D6433-03, 1993).....	144
Figura 109. Cálculo completo de PCI (Sanabria, 2023).	145
Figura 110. Identificación de pavimentos rígidos en la zona de estudio.	147
Figura 111. Ejemplo de levantamiento de la información de fallas de pavimento en la zona de estudio.	153
Figura 112. Evidencia de daños superficiales en pavimentos flexibles.	153
Figura 113. Muestra áreas con concreto hidráulico.	154
Figura 114. Evidencia de daños superficiales en pavimentos rígidos.	155
Figura 115. Evidencia del estado de deterioro de uno de los carriles de bus urbano.....	156
Figura 116. Av, Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos – Av. Carranza – antes de fresado – Julio 11 del 2023 (Sanabria, 2023).	164

Figura 117. Av, Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos – durante el fresado – Julio 11 del 2023 (Sanabria, 2023).	164
Figura 118. Av, Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos – Proceso de barrido – Julio 11 del 2023(Sanabria, 2023).	164
Figura 119. Av, Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos – Proceso de barrido – Julio 11 del 2023 (Sanabria, 2023).	165
Figura 120. Av, Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos – Superficie regularizada – Agosto 23 del 2023 (Sanabria, 2023).	165
Figura 121. Evidencia de fallas en capas inferiores a la capa tratada (Sanabria, 2023).	166
Figura 122. Falla en concreto hidráulico – ejemplo 1 (Sanabria, 2023)	168
Figura 123. Porcentaje de área afectada del tramo de estudio.	172
Figura 124. Equipo para sellado de fisuras (Crafco, 2023).	219
Figura 125. Equipo para relleno de grietas y fisuras (Crafco, 2023).	220
Figura 126. Compactador manual de bacheo (Gobierno Matamoros, 2022).	221
Figura 127. Bacheo profundo aislado (Campa, 2017).	222
Figura 128. Sellado de grietas y juntas en losas de concreto hidráulico (Toxement, 2018).	223
Figura 129. Equipo autopropulsado para pintura en pavimentos (Crafco, 2023).	224
Figura 130. Reposición de marcas en guarniciones (Campa, 2017).	224
Figura 131. Equipo autopropulsado para marcas de guarniciones (MAPSES , 2018).	225
Figura 132. Riesgo de sello sincronizado (Portal Comercial Ergon Asfalto, 2012).	226
Figura 133. Rodillos neumáticos con ruedas (AMMANN, 2023).	226
Figura 134. Diferentes tipos de riego de sello (CMIC Veracruz, s.f).	227
Figura 135. Aplicación del material asfáltico (N-CSV-CAR-3-02-002/22, 2022).	228
Figura 136. Equipo para aplicación de rodadura de mortero asfáltico (Campa, 2017).	230
Figura 137. Partes de uno de los aplicativos del Slurry seal (PITRA, 2016).	231
Figura 138. Aplicación de capa de rodadura con mortero asfáltico (slurry seals) (PW)	231
Figura 139. Aplicación de mezcla densa en caliente (Porras, 2019).	235
Figura 140. Equipo de fresado (OMNIA, 2022).	236
Figura 141. Equipo de recuperación en caliente de carpetas asfálticas (Campa, 2017).	237
Figura 142. Equipo para recuperación en frío con emulsión asfáltica (Mercado , Bracho, & Avendaño, 2008).	238
Figura 143. Procedimiento in-situ reciclado en frío (ATEB, 2017).	239
Figura 144. Equipo para fresado de pavimentos rígidos (Interempresas.net, 2019).	240
Figura 145. Intervención de losas de concreto hidráulico (Miranda, 2010).	241
Figura 146. Dimensiones de área a reparar (N-CSV-CAR-3-02-011/03, 2003).	242
Figura 147. Reparación de desconcharuras en losas de concreto hidráulico (Almany, 2015).	243
Figura 148. Placa para evitar el contacto entre el resane y losa adyacente (N-CSV-CAR-3-02-011/03, 2003).	244
Figura 149. Equipo para estabilización de losas de concreto hidráulico (Engineered solutions, s.f).	245
Figura 150 Estabilización de losas de concreto hidráulico (Murotecmx, 2020).	245
Figura 151. SMA vs Mezcla convencional (Pía, 2019).	246
Figura 152. Aplicación de SMA en España (Costa, y otros, 2014).	248
Figura 153. Tendido de carpeta asfáltica superficial altamente adherida. (Pérez, 2022)	250
Figura 154. Tren de aplicación de un asfalto espumado (interempresas.net, 2017).	251
Figura 155. Delimitación normal de demoliciones a L/3 (N-CSV-CAR-4-02-002/03, 2003).	252

Figura 156. Extensión del área por demoler hasta la junta longitudinal (N-CSV-CAR-4-02-002/03, 2003).	252
Figura 157. Extensión del área por demoler en losas con refuerzo continuo (N-CSV-CAR-4-02-002/03, 2003).	253
Figura 158. Corte para facilitar la demolición del concreto (N-CSV-CAR-4-02-002/03, 2003).	253
Figura 159. Demolición de losas (El Heraldo de Juárez, 2022).	254
Figura 160. Recuperadores de camino Modelo CAT RM800 (CAT.MX, 2023).	254
Figura 161. Aplicación de bases y subbases (Promsa, 2021).	255
Figura 162. Compactador pata de cabra (Yepes, 2019).	258
Figura 163. Posición de las juntas transversales de contracción.	259
Figura 164. Normas y manuales para revestimientos (N-CMT-4-01/02, 2002).	263
Figura 165. Regiones geográficas para asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C. (N-CMT-4-05-001/22, 2022).	273
Figura 166. Simbología de la ecuación de temperatura máxima calculada (N-CMT-4-05-004/18, 2018).	281
Figura 167. Simbología de la ecuación de temperatura mínima calculada (N-CMT-4-05-004/18, 2018).	281
Figura 168. Geomalla de fibra de vidrio (PAVCO, 2021).	289
Figura 169. Referencia de normas y manuales de Materiales para subbases (N-CMT-4-02-001/21, 2021).	291
Figura 170. Curva granulométrica para subbases (N-CMT-4-02-001/21, 2021).	294
Figura 171. Referencia de normas y manuales de materiales para bases (N-CMT-4-02-002/22, 2022).	296
Figura 172. Curva granulométrica para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico (N-CMT-4-02-002/22, 2022).	297
Figura 173. Curva de granulometría para bases de pavimento con mezcla asfáltica de granulometría densa (N-CMT-4-02-002/22, 2022).	299
Figura 174. Curva de granulometría para bases de pavimento con tratamiento asfáltico superficial (N-CMT-4-02-002/22, 2022).	300
Figura 175. Normas y manuales para bases estabilizadas (N-CMT-4-02-002/22, 2022).	303
Figura 176. Curva granulométrica para bases negras (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	305
Figura 177. Curva granulométrica para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	309
Figura 178. Curva granulométrica para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia agregando cemento Pórtland (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	310

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índice de serviciabilidad (PSI) (AASHTO, 1993).....	84
Tabla 2. Tabla para análisis de la metodología PASER (PASER Manual, 2002).	89
Tabla 3. Formato de inspección PASER	90
Tabla 4. Calificación y condición del pavimento de la metodología VIZIR (INVIAS, 2008).	91
Tabla 5. Fallas dentro de la metodología VIZIR (Cerón, 2006).....	92
Tabla 6. Nivel de gravedad del deterioro Tipo A (INVIAS, 2008).....	94
Tabla 7. Nivel de gravedad deterioros tipo B – Parte I (INVIAS, 2008).....	94
Tabla 8. Nivel de gravedad deterioros tipo B – Parte II (INVIAS, 2008).....	95
Tabla 9. Formato para Inspección de Metodología VIZIR (Sanabria, 2023) (INVIAS, 2008).....	96
Tabla 10. Formato desarrollado para evaluación PCI Pavimentos flexibles (ASTM D6433-03, 1993) (Sanabria, 2023).	139
Tabla 11. Ejemplo del cálculo de PCI.....	141
Tabla 12. Valores deducidos PCI de mayor a menor	141
Tabla 13. Tabla de valores deducidos para proyección de valor por corrección del valor deducido.	142
Tabla 14. Valores deducidos con el lleno de casillas vacías según la ASTM D6433-03.	142
Tabla 15. Valor "m" estimado por valor deducido menor.....	143
Tabla 16. Formato para evaluación de pavimentos rígidos.	146
Tabla 17. Ejemplo del levantamiento de información para pavimentos rígidos	148
Tabla 18. Formato método PASER adaptado y organizado.	149
Tabla 19. Resumen de todas las fallas de pavimento rígido presentes en la vía.	150
Tabla 20. Identificación de falla 1 y su respectiva calificación por unidad de muestra	150
Tabla 21. Promedio de tipo de falla 1 para el tramo completo	151
Tabla 22. Porcentaje de área afectada del tramo de falla tpo 1.....	151
Tabla 23. Promedio de clasificación y área afectada del tramo	152
Tabla 24. Condición del pavimento flexible por tramos estudiados (Sanabria, 2023).	163
Tabla 25. Resultados entregados por la unidad encargada de mantenimiento de la malla vial en Chihuahua	166
Tabla 26. Porcentajes de área afectada por tramo (Sanabria, 2023).	167
Tabla 27. Comparativa de mediciones para concreto hidráulico.	169
Tabla 28. Comparativa de mediciones para pavimentos flexibles.	170
Tabla 29. Áreas de afectación por cada tipo de pavimento.	171
Tabla 30. Cálculo Método PCI 0+020-0+120	205
Tabla 31. Cálculo Método PCI 0+140-0+280.	206
Tabla 32. Cálculo Método PCI 0+300-0+420	207
Tabla 33. Cálculo Método PCI 0+420-0+600.	208

Tabla 34. Cálculo Método PCI 0+600-0+720.	209
Tabla 35. Método PASER 0+000 a 0+020.	210
Tabla 36. Método PASER 0+060 - 0+120.	211
Tabla 37. Método PASER 0+120 - 0+140.	212
Tabla 38. Método PASER 0+140 - 0+280.	213
Tabla 39. Método PASER 0+280 - 0+300.	214
Tabla 40. Método PASER 0+300 - 0+420.	215
Tabla 41. Método PASER 0+420 - 0+600.	216
Tabla 42. Método PASER 0+600 - 0+720.	217
Tabla 43. Requisitos granulométricos del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta (N-CMT-4-04/17, 2017).	229
Tabla 44 Requisitos de granulometría del material pétreo para morteros asfálticos (N-CMT-4-04/17, 2017).	230
Tabla 45. Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (N-CMT-4-04/17, 2017).	232
Tabla 46. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $\sum L \leq 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017).	233
Tabla 47. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $1 \times 10^6 < \sum L \leq 30 \times 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017).	233
Tabla 48. Tramos de estudios de aplicación de SMA en España (Costa, y otros, 2014)	248
Tabla 49. Granulometría del material para revestimientos (N-CMT-4-01/02, 2002).	264
Tabla 50. Requisitos de calidad de materiales para revestimiento (N-CMT-4-01/02, 2002).	264
Tabla 51. Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa $\sum L \leq 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017).	265
Tabla 52. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $\sum L \leq 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017).	266
Tabla 53. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $1 \times 10^6 < \sum L \leq 30 \times 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017).	266
Tabla 54. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $\sum L > 30 \times 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017).	267
Tabla 55. Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta (N-CMT-4-04/17, 2017).	267
Tabla 56. Requisito de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta. (N-CMT-4-04/17, 2017).	268
Tabla 57. Requisito de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA (N-CMT-4-04/17, 2017).	269
Tabla 58. Requisito de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo CASAA (N-CMT-4-04/17, 2017).	269
Tabla 59. Requisito de granulometría del material pétreo para microaglomerados (N-CMT-4-04/17, 2017).	270
Tabla 60. Requisito de calidad del material pétreo para microaglomerados (N-CMT-4-04/17, 2017).	270
Tabla 61. Requisito de granulometría del material pétreo para capas de rodadura por el sistema de riesgos (N-CMT-4-04/17, 2017).	271
Tabla 62. Requisito de calidad de granulometría del material pétreo para capas de rodadura por el sistema de riesgos (N-CMT-4-04/17, 2017).	271
Tabla 63. Clasificación de los materiales asfálticos (N-CMT-4-05-001/22, 2022).	272

Tabla 64. Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C (N-CMT-4-05-001/22, 2022).	273
Tabla 65. Requisitos de calidad para cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C (N-CMT-4-05-001/22, 2022).	274
Tabla 66. Requisito de granulometría de hule molido (N-CMT-4-05-002/06, 2006).	276
Tabla 67. Requisitos de calidad para cementos asfálticos AC-5 y AC-20 modificados.	277
Tabla 68. Requisitos de calidad para emulsión asfáltica modificada.	277
Tabla 69. Requisitos de calidad para mezcla asfáltica de granulometría densa, método Marshall (N-CMT-4-05-003/16, 2016).	278
Tabla 70. Vacíos en el agregado mineral (VAM) para mezcla asfáltica de granulometría densa, método Marshall (N-CMT-4-05-003/16, 2016).	278
Tabla 71. Requisitos de calidad para mezcla asfáltica de granulometría discontinua, tipo SMA (N-CMT-4-05-003/16, 2016).	279
Tabla 72. Temperaturas de mezclas asfálticas en caliente (N-CMT-4-05-005/22, 2022).	279
Tabla 73. Requisitos de proporcionamiento de morteros asfálticos (N-CMT-4-05-003/16, 2016).	280
Tabla 74. Calidad de materiales pétreos y asfálticos en mezclas asfálticas por sistemas de riegos (N-CMT-4-05-003/16, 2016).	280
Tabla 75. Niveles de ajuste de los requisitos de calidad para el grado desempeño (PG) de acuerdo a la intensidad del tránsito y con la velocidad de operación (N-CMT-4-05-004/18, 2018).	282
Tabla 76. Requisitos de calidad para cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) y nivel de ajuste (N-CMT-4-05-004/18, 2018).	282
Tabla 77. Clasificación de las emulsiones asfálticas catiónicas (N-CMT-4-05-005/22, 2022).	284
Tabla 78. Requisito de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas (N-CMT-4-05-005/22, 2022).	285
Tabla 79. Clasificación de las emulsiones asfálticas aniónicas (N-CMT-4-05-005/22, 2022).	286
Tabla 80. Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas (N-CMT-4-05-005/22, 2022).	286
Tabla 81. Clasificación de las emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímero (N-CMT-4-05-005/22, 2022).	287
Tabla 82. Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímero (N-CMT-4-05-005/22, 2022).	287
Tabla 83. Composición química de cal (N-CMT-4-05-007/22, 2022).	288
Tabla 84. Masa por unidad de área y resistencia a la tensión Grab de los geotextiles para mezclas asfálticas en caliente (N-CMT-6-01-004/13, 2013).	289
Tabla 85. Requisitos de granulometría subbases (N-CMT-4-02-001/21, 2021).	292
Tabla 86. Requisitos de calidad de los materiales para subbases (N-CMT-4-02-001/21, 2021).	294
Tabla 87. Requisitos de granulometría de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico (N-CMT-4-02-002/22, 2022).	296
Tabla 88. Requisitos de calidad de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico (N-CMT-4-02-002/22, 2022).	297
Tabla 89. Requisito de granulometría de los materiales para bases de pavimento con carpetas de mezcla asfáltica de granulometría densa. (N-CMT-4-02-002/22, 2022).	298
Tabla 90. Requisitos de calidad de los materiales para bases de pavimentos asfálticos (N-CMT-4-02-002/22, 2022).	299

Tabla 91. Requisitos de granulometría de los materiales para bases que sean cubiertas solo con un tratamiento asfáltico superficial (N-CMT-4-02-002/22, 2022).	300
Tabla 92. Tipos de bases modificadas (VISE).	302
Tabla 93. Requisitos de calidad de los materiales plásticos estabilizados con productos asfálticos (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	304
Tabla 94. Requisitos de granulometría del material pétreo para bases de mezcla asfáltica (bases negras) (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	305
Tabla 95. Requisitos de calidad del material pétreo para bases de mezclas asfálticas (bases negras) (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	306
Tabla 96. Requisitos de calidad para bases de mezcla asfáltica diseñadas mediante método Marshall (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	306
Tabla 97. Vacíos en el agregado mineral (VAM) para bases de mezclas asfálticas diseñadas mediante el método Marshall (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	307
Tabla 98. Contenido de cemento asfáltico, agua y disolventes en la base de mezcla asfáltica (Base negra).	307
Tabla 99. Requisitos de granulometría para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	308
Tabla 100. Requisitos de calidad del material pétreo para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	309
Tabla 101. Requisitos de granulometría del material pétreo para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, habiendo agregado el cemento Pórtland (N-CMT-4-02-003/21, 2021).	310
Tabla 102. Clases resistentes de los cementos Pórtland (N-CMT-2-02-001/02, 2002).	312
Tabla 103. Composición de los cementos Pórtland (N-CMT-2-02-001/02, 2002).	313
Tabla 104. Límites granulométricos para agregados finos (N-CMT-2-02-002/19, 2019).	314
Tabla 105. Contenido de sustancia perjudiciales en el agregado fino (N-CMT-2-02-002/19, 2019).	315
Tabla 106. Material que pasa la malla N°200 (0.075mm) en el agregado fino para casos especiales (N-CMT-2-02-002/19, 2019).	315
Tabla 107. Límites granulométricos para agregados gruesos (N-CMT-2-02-002/19, 2019).	316
Tabla 108. Contenido de sustancia perjudiciales en el agregado grueso (N-CMT-2-02-002/19, 2019).	317
Tabla 109. Criterio de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-sílice (N-CMT-2-02-002/19, 2019).	318
Tabla 110. Criterio de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-carbonato (N-CMT-2-02-002/19, 2019).	319
Tabla 111. Límites granulométricos para fragmentos de roca (N-CMT-2-02-002/19, 2019).	319
Tabla 112. Masa volumétrica máxima de los agregados ligeros (N-CMT-2-02-002/19, 2019).	320
Tabla 113. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos reductores de agua, retardantes, acelerantes y reductores de agua con retardantes (N-CMT-4-05-004/18, 2018).	322
Tabla 114. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos reductores de agua y acelerantes, reductores de agua de alto rango, reductores de agua de alto rango y retardantes, superplastificantes, y superfluidificantes y retardantes. (N-CMT-2-02-004/18, 2018).	323
Tabla 115. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos inclusores de aire y de comportamiento específico (N-CMT-2-02-004/18, 2018).	324

Tabla 116. Valores nominales y tolerancias para el revenimiento (N-CMT-2-02-005/04, 2004).	325
Tabla 117. Temperatura del concreto (N-CMT-2-02-005/04, 2004).	326
Tabla 118. Contenido de aire según el tamaño del agregado (N-CMT-2-02-005/04, 2004).	326
Tabla 119. Requisitos de uniformidad de mezclado del concreto (N-CMT-2-02-005/04, 2004).	327

1 GENERALIDADES

1.1 Introducción

Los sistemas de desarrollo parten fundamentalmente del centro. Un claro ejemplo para México es la ubicación de la Ciudad de México. Su posicionamiento geográfico se ubica en el corazón principal del país azteca. Esta ubicación, permite que lleguen personas de distintos estados en busca de mejores oportunidades laborales donde cuenten con vivienda, trabajo, seguridad y transporte.

Las ciudades en general requieren de un compromiso de los municipios y del estado mismo para garantizar que estos centros de población cuenten con servicio de agua potable, alcantarillado, sistemas de alumbrado, recolección de basura, y por supuesto, una estructura vial que le permita mover diversos elementos que hacen de las ciudades una composición que funciona de manera sincrónica moviendo la economía al interior de cada una de éstas.

En la zona norte de México se ubica el Estado de Chihuahua, allí no se hace excepción a la regla. En Chihuahua Capital se ubican estructuras históricas que forman parte cultural y de alta representación a nivel nacional. Además, se encuentra todo el comercio, restaurantes y diferentes oficinas de entidades de los diferentes niveles de gobierno que reciben todos los días un alto número de trabajadores, estudiantes y visitantes en el centro de la ciudad.

La composición de un sistema económico dentro de la capital chihuahuense hace que se requiera una infraestructura acorde con las necesidades de la población; entre estas, contar con un sistema de transporte público que permita la movilidad de estudiantes, trabajadores y turistas dentro de la ciudad.

En este sentido, haciendo una revisión general de las principales vialidades que conforman la estructura urbana de Chihuahua capital, se tiene que la Avenida Niños Héroes es una de las principales arterias que funciona de Poniente a Oriente, vinculando todos los tipos de movilidad: peatones, bicicletas, carros particulares, taxis, buses y, además, da servicio a una parte de la troncal del sistema de transporte público Bovi.

Por tal razón, se considera que este corredor vial es una parte sustancial del centro de la ciudad, Según estudios realizados por el municipio se estima que el VHMD es de 1330 vehículos en la hora de máxima demanda, mientras que en una hora de baja frecuencia se estima un VHMD de 808 vehículos. Es decir que por esta vía pasan todos los días aproximadamente 25,656 vehículos. (Municipio Chihuahua, 2020). Para garantizar una correcta movilidad, tranquilidad y funcionalidad es necesario que este corredor especialmente el tramo de la Avenida Niños Héroes comprendido entre Avenida Melchor Ocampo y Avenida Venustiano Carranza, tenga una atención especial por parte de las dependencias gubernamentales responsables de la conservación de vialidades dentro de la ciudad, la cual debe velar porque se mantenga una serviciabilidad adecuada acorde con la importancia y funcionalidad de este corredor vial.

Esta investigación comprenderá la recolección de información del estado actual de la vía, sobre el cual posteriormente se hará un análisis de las fallas presentes encontradas y una respectiva propuesta que permita contemplar una rehabilitación para garantizar una óptima movilidad del corredor vial.

Finalmente, se propondrá un modelo de gestión para la conservación vial, que funcione para esta vía y para cualquier otra vialidad dentro del territorio mexicano.

1.2 Planteamiento del problema

La ciudad de Chihuahua cuenta con una unidad administrativa encargada de la conservación de vías en la Capital, sin embargo, debido a la extensión territorial de la ciudad, mantener todas las vialidades con la debida conservación se vuelve un problema para la ciudad.

La ciudad intenta conservar, a través de mantenimiento preventivo en algunas vías que funcionan como corredor de movilidad de norte sur, pero han descuidado significativamente las vialidades del centro, siendo, este un lugar donde se presenta mayor movimiento de personas diariamente en especial porque allá se ubica gran parte del comercio y lugares de entretenimiento de la ciudad.

Dicho mantenimiento preventivo, se hace sin criterio ingenieril y carece de supervisión, esto genera que vuelva a fallar tiempo muy próximo después de su ejecución. Todo esto es debido a que las actividades de mantenimiento no se hacen de la manera adecuada, según se especifica en los manuales de conservación.

La derivación de malos procesos de mantenimiento hace que el deterior de las vías se vuelva una falla y esto repercute en los presupuestos y los costos para conservación de vías. Si llega a ocurrir una falla estructural se incrementan los costos para la conservación de determinada vía; pero si se hace de la manera adecuada y se ejecutan las actividades de mantenimiento, bajo supervisión de personal idóneo se van a reducir costos y se alargará la vida útil de determinado pavimento.

Hoy por hoy la ciudad no cuenta con un sistema de gestión para la atención de mantenimiento de pavimentos. Si bien se realizan labores de mantenimientos, pero no se hacen de la forma correcta para conservar la vía, sino para cumplir con una lista de verificaciones básicas de vías que deben ser atendidas. Esto hace que los trabajos no sean los mejores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar un modelo de gestión para la conservación del corredor vial Av. Niños Héroes entre las Avenidas Ocampo y Venustiano Carranza en la ciudad de Chihuahua.

1.3.2 Objetivo Específicos

- Evaluar la superficie de rodamiento del pavimento rígido y flexible que se encuentra dentro de la zona de estudio.
- Determinar daños que afectan las condiciones de movilidad vehicular, usando el criterio ingenieril
- Proponer alternativa para la conservación del corredor vial a evaluar.
- Brindar un aporte al sistema de gestión vial actual

1.4 Justificación

Para atender mejor la justificación es necesario ubicarse espacialmente en el proyecto, la vialidad se encuentra ubicada en México, en el Estado de Chihuahua, en Chihuahua Capital; específicamente en el centro de la ciudad.

La humanidad ha buscado la forma de mejorar sus comodidades y necesidades. Especialmente las de comunicar, moverse e interactuar. Siendo estas actividades básicas dentro del desarrollo humano. Todo esto, ha permitido que el hombre cree caminos para comunicarse, transportar e intercambiar diferentes cosas.

A través del tiempo se han desarrollado diferentes tipos de caminos que permiten la movilidad de vehículos y pasajeros que requieren ir de un lugar a otro. Por eso es importante la conservación de vías. Para evitar el deterioro de los caminos principales entre centros de población, así como en la estructura urbana y suburbana de las ciudades.

Las personas requieren movilizarse por las ciudades, y cada una de ellas tiene un motivo de viaje determinado, puede ser trabajo, estudio, turismo o simplemente para ir hacer mercado, entre muchas otras actividades.

De acuerdo con Ortúzar y Willumsen (2008) citado en Obregón-Biosca & Betanzo-Quezada (2012) se define la movilidad como un concepto que puede contar con un desplazamiento fácil o con algunos problemas de dificultad en el camino. Sin embargo, Giocobbe (2009) citado en Obregón-Biosca & Betanzo-Quezada (2012) indica que la movilidad cumple un rol muy importante en el desarrollo urbano.

Actualmente la Avenida Niños Héroes esta jerarquizada como una vialidad de primer orden de acuerdo, al plan de desarrollo urbano (IMPLAN, 2021) teniendo dentro de sus características geométricas una sección aproximada de 13.8 metros en un solo sentido direccional, este corredor contribuye a que puedan convivir diferentes vehículos y elementos del tránsito. Sin embargo, dicha vialidad presenta una deficiencia en las características geométricas, así como sus

características de la superficie de rodamiento, lo cual se ha venido dando a través del tiempo. Derivado del crecimiento poblacional, de las altas demandas de tránsito y además de las condiciones topográficas de la zona y su cercanía al canal que se ubica sobre la Avenida Teófilo Borunda.

A las razones antes mencionadas, hay que sumarle que la afectación de la superficie de rodadura genera retrasos de movilidad y en algunas ocasiones accidentes viales y/o problemas de seguridad.

En consecuencia, conviene realizar un análisis detallado del estado de la superficie de rodadura, para determinar las fallas que se vienen presentando en la vía de estudio. Esto con el fin de estimar una posible alternativa para la recuperación de la serviciabilidad del corredor. Conviene realizar una propuesta de intervención e implementación de un modelo de gestión para la conservación de esta vialidad y en general de cualquier vialidad dentro del sistema urbano de Chihuahua.

Finalmente, se estaría aportando al deber social a partir de la ingeniería y se ayudaría a mejorar la movilidad de los ciudadanos evitando retrasos y accidentes por falta de una vialidad confortable y segura.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Pavimentos

2.1.1 Generalidades de los pavimentos

Los pavimentos generalmente son estructuras ingenieriles que permiten la disipación de esfuerzos de una carga vehicular, a través de una serie de capas que ayudan como soporte para la composición de la estructura de pavimentos.

La muy variada literatura se refiere al pavimento como un conjunto de capas superpuestas, paralelas, con diferentes espesores, de materiales de diversas características, debidamente compactados sobre la subrasante obtenida como terreno natural, que han de soportar las cargas del tránsito durante varios años sin presentar deterioros que afecten la seguridad y la comodidad de los usuarios de la propia integridad de la estructura (Kraemer, y otros, 2004).

Otras definiciones mucho más recientes definen pavimento como una estructura multicapa, está constituido por un conjunto de capas superpuestas, parcialmente horizontales, cada una de estas cuenta con un módulo elástico, un coeficiente de Poisson y determinado espesor según los criterios del diseñador (Reyes, 2022).

La definición por parte de unos de los investigadores más importantes en la rama de la ingeniería civil, en general del tema de pavimentos, señala que los pavimentos son una estructura de ingeniería civil constituida con materiales seleccionados previamente, que forman una estructura multicapas que permite el soporte de cargas de tránsito (Garnica, 2022).

La estructura de pavimento está soportada sobre el suelo de desplante o subrasante el cual se obtiene por medio de movimientos de tierra. Esta estructura natural a la cual se llega debe resistir adecuadamente los esfuerzos de las cargas repetitivas que el tránsito le transmite durante el periodo o el tiempo para el cual fue diseñado.

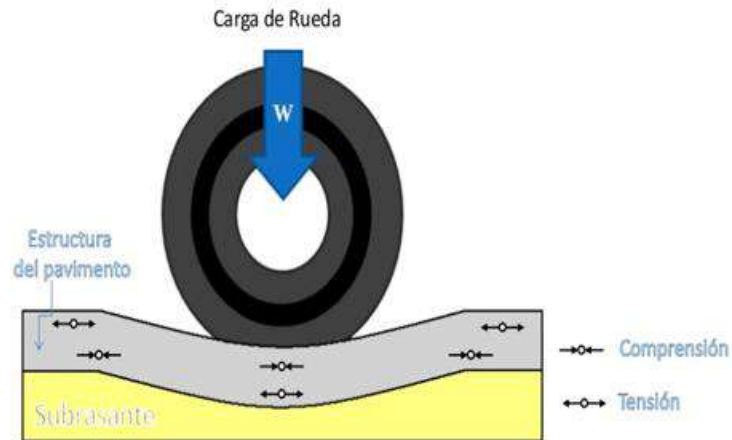


Figura 1. Carga y esfuerzos sobre una estructura de pavimento (García, 2016).

La carga genera la distribución de esfuerzos de la siguiente forma; según se indica en (IMT - Documento Técnico No. 72, 2018).

- 1) Esfuerzos verticales máximos son de compresión y ocurren directamente debajo de la carga de la rueda.
- 2) Esfuerzos horizontales máximos se presentan debajo de la rueda y pueden ser de tensión o compresión.
- 3) La distribución de la temperatura tiene influencia sobre los esfuerzos.

2.1.2 Características de un pavimento

- Ser resistente a la acción de las cargas de tránsito repetitivas.
- Ser resistente al ambiente en el cual se construye.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, debe ser resistente a la abrasión de las llantas (cumplir con un IRI: Índice de rugosidad internacional).
- Debe presentar una superficie, que permita confort a los usuarios, en función de las deformaciones y la velocidad del usuario.
- Presentar condiciones adecuadas de drenaje (estructuras de drenaje).
- El ruido al momento de andar debe ser mínimo dentro y fuera del auto.
- Debe ser lo más económico posible.
- No presentar reflejos o deslumbramientos.

- Debe contar con especificaciones mínimas de materiales.

2.1.3 Estructura de un pavimento

La estructura de un pavimento son los componentes principales para que un pavimento pueda cumplir su función. Particularmente se considera estructura de un pavimento como se puede apreciar en la Figura 2.

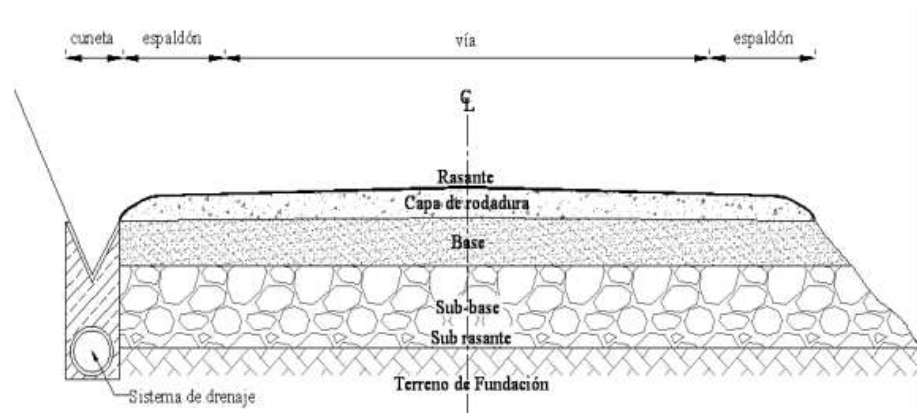


Figura 2. Vista en corte de una estructura de pavimento (Hidalgo Andrade, 2007).

2.1.3.1 Rasante

Es la línea de terminación de la superficie de rodadura. La rasante se ubica en el eje de la vía. Otra definición según Barco Araque (2022) es una recta imaginaria que a través de un determinado ángulo de inclinación, define la envolvente teórica en la que puede desarrollarse un proyecto.

2.1.3.2 Capa de rodadura

Es la capa superior de la estructura del pavimento, sobre la cual pasa el tránsito y el clima, funciona principalmente para impedir el paso del agua superficial hacia las capas inferiores (Reyes, 2022).

Debe cumplir con los siguientes puntos:

- 1) Resistencia al deslizamiento.
- 2) Reducir ruido (tanto exterior como interior si va un usuario sobre la vía).
- 3) Contar con elementos de luminosidad en caso de conducción nocturna.
- 4) Drenaje superficial rápido (disminuyendo así el riesgo de hidroplaneo).

2.1.3.3 Capas granulares

Está compuesta principalmente por base y subbase estos materiales se incluyen dentro de la estructura para disipar cargas verticales, haciendo que las presiones verticales sean distribuidas en estas dos capas.

2.1.3.3.1 Capa Base

Capa que absorbe la mayor cantidad de esfuerzos por el paso de vehículos, se encarga principalmente de disipar, absorber y distribuir uniformemente los esfuerzos hacia la subbase y al terreno natural sobre el que será soportada la estructura.

2.1.3.3.2 Capa de conformación o subbase

La composición es de un material seleccionado que funciona como una capa drenante, permite el control total de volumen, elasticidad y plasticidad que pueden afectar el material de la subrasante. Estos materiales pueden ser arena, grava, suelos estabilizados, entre otros (Hidalgo Andrade, 2007).

2.1.3.3.3 Capa de la subrasante

Se entiende por capa de la subrasante a la capa correspondiente a la superficie superior del terreno natural, funciona como vía en proceso constructivo. Otra función importante que tiene esta capa, a partir de ésta se configuran los niveles de la vía “pendiente de inclinación de la vía” durante la construcción de estructura vial en su totalidad.

2.1.3.4 Terreno de desplante

Es la última capa a la que se le transfiere la carga desde el momento que la rueda pasa sobre la superficie de rodadura, es una de las capas más débiles de la estructura del pavimento, sobre esta lo ideal es no lleguen esfuerzos o presiones, por tal razón se debe garantizar una adecuada selección de las capas superiores a ésta y sus espesores para reducir al máximo cualquier tipo de tensiones que puedan llegar a tocar la subrasante del terreno natural.

Se deben tener en cuenta parámetros como:

- 1) Si y sólo si el terreno cuenta con un material orgánico este debe ser retirado y se debe contemplar una respectiva sustitución para que cumpla la función de estructura soportante, posteriormente seleccionar adecuadamente las capas superiores para mejorar y disipar al máximo las cargas a las que pueda estar trabajando.

- 2) Si el terreno cuenta con un material bien graduado o de granulometría media o gruesa. Puede considerarse el caso particular de omitir una subbase, sin embargo, en los diseños de pavimentos óptimos, se considera esta capa subbase como clave dentro del diseño.

2.1.4 Tipos de pavimentos

Existen tres tipos de pavimentos: flexibles, rígidos y articulados. Estos están ligados en nombre y en funcionalidad. Sin embargo, hay vías sin pavimentar que requieren un soporte estructural más importante que el otro, según sean las especificaciones del tránsito. En esencia, siguen cumpliendo con la definición principal, son estructuras que permiten mejorar las condiciones de movilidad de cualquier elemento involucrado dentro del sistema de transporte.

2.1.4.1 Pavimentos flexibles

En la literatura se entiende como pavimentos flexibles son aquellos constituidos por capas de subbase y base de material granular, una capa de mezcla asfáltica que puede estar entre los 4 y 15 cm aproximadamente. El espesor global puede estar entre los 30 y los 80 cm (Padilla Rodríguez , 2004).

Se denominan pavimentos flexibles, aquellos cuya estructura total se flexiona dependiendo de las cargas que transmite sobre él (Urbanismo.com, 2016). El uso de pavimentos flexibles suele ser sobre vías de alto tráfico vehicular expuesta a repetición de cargas.

Su vida útil es aproximadamente de 10 a 15 años dependiendo del sistema de conservación con el que cuente. Este periodo puede llegar hacer o más bajo o más alto de acuerdo a la atención que se le preste cuando presente fallas.



Figura 3. Estructura de pavimento flexible (Saucedo Vidal, 2012).

En general, todas las capas de un pavimento flexible juegan un papel fundamental en la resistencia de la estructura ante las cargas del tráfico. Usualmente los

materiales con mejores capacidades de soporte mecánicamente hablando suelen estar en la parte superior de la estructura. Esto permite cumplir con el objetivo de disipar los esfuerzos generados en la estructura de diseño flexible (Loría Salazar, 2019).

2.1.4.2 Pavimentos rígidos

Un pavimento se constituye con concreto de cemento portland, funciona con losas en las cuales se distribuyen las cargas hacia las capas inferiores. En la teoría y la práctica se puede implementar sobre una subrasante, generalmente se recomienda una subbase para mejorar la estructura y evitar fallas por desplazamiento de agregados finos al momento en que los vehículos pasan, esto podría causar fallas de borde o esquina (Huang, 2004).



Figura 4. Estructura de pavimento rígido (Saucedo Vidal, 2012).

Los pavimentos rígidos están propensos a presentar expansión o contracción debido a los agentes climatológicos, si un proyecto de este tipo se realiza en climas con gradientes térmicos muy variados puede generar esfuerzos flexión y/o compresión, según sea el caso.

Existen diferentes tipos de pavimentos rígidos, en esta investigación se describen los siguientes:

2.1.4.2.1 Pavimento de concreto simple con juntas

Los pavimentos de este tipo deben estar contruidos con juntas de contracción debidamente espaciadas. Se pueden llegar a emplear pasa juntas o encadenamientos entre las losas. Estos elementos son usados para transferir cargas a través de estas juntas.

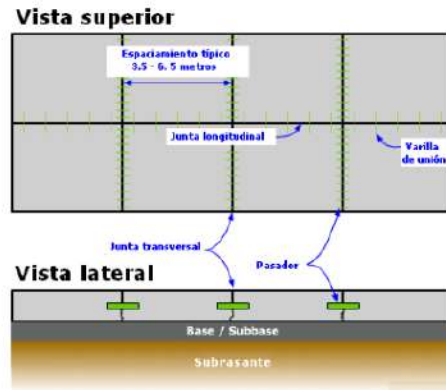


Figura 5. Pavimentos de concreto simple con juntas (Sanchez Sandoval, 2018).

Este tipo de pavimentos de concreto simple con juntas, no requiere refuerzo de acero. Puede llevar varillas lisas en las secciones de junta transversal y llevar varillas corrugadas en las secciones longitudinales (Civilgeeks.com, 2016).

La recomendación de Huang (2004) cita a Nussbaum y Lokken (1978) es que debe tener un espaciamiento máximo entre 20 pies (6.1m) para juntas con pasadores y 15 pies (4.6m) para juntas sin espigas.

2.1.4.2.2 Pavimento de concreto reforzado con juntas

El refuerzo de acero en forma de mallas o varillas corrugadas no aumenta la capacidad estructural de los pavimentos (Huang, 2004), pero permite el uso de espaciamientos más largos entre las juntas. La longitud de las losas varía entre 7.5 y 15 metros, por este motivo se recomienda un acero de refuerzo para mantener unidas las losas luego de presentar fisuras transversales (Sanchez Sandoval, 2018).

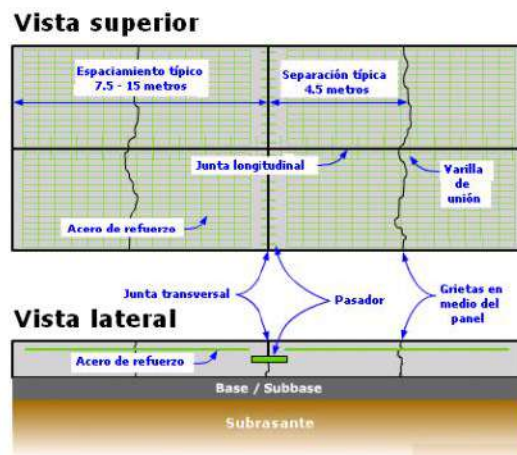


Figura 6. Pavimento de concreto reforzado con juntas (Sanchez Sandoval, 2018).

2.1.4.2.3 Pavimento de concreto con refuerzo continuo

Para la implementación de este tipo de pavimento se suprimen las juntas transversales de contracción a intervalos regulares. A diferencia de los otros tipos de pavimento, esta cuenta con un elemento continuo que hace que se fuerce el agrietamiento a intervalos pequeños, de 1 a 2 metros manteniendo unidas las grietas que se forman.

PAVIMENTOS DE CONCRETO CON REFUERZO CONTINUO

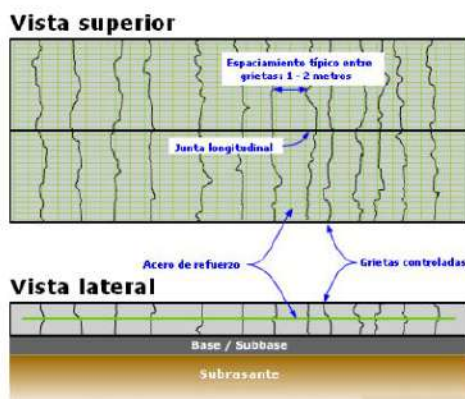


Figura 7. Pavimento de concreto con refuerzo continuo (Sanchez Sandoval, 2018).

2.1.4.2.4 Pavimento de concreto con refuerzo estructural

Este tipo de pavimento implementa un refuerzo estructural que asume tensiones de tracción y compresión. Esto ayuda a que se pueda implementar una reducción en el espesor de las losas. Según Huang (2004) el espesor de pavimento de concreto requerido se rige por su módulo de ruptura, y éste varía con la resistencia a la tracción del concreto.

Los concretos con refuerzo estructural tienen menor probabilidad de fisurarse, por tanto, resultan ser los concretos que requieren un mínimo mantenimiento y una mayor vida útil.

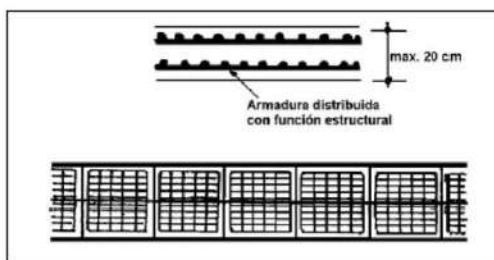


Figura 8. Pavimento de concreto con refuerzo estructural (Sanchez Sandoval, 2018).

2.1.4.3 Pavimentos articulados

Las estructuras que conforman un pavimento articulado son los adoquines de concreto, un sello de arena para llenar las juntas entre los adoquines, una capa de arena que funciona para mejorar la uniformidad de la colocación, esta cama de arena permite el movimiento de flujo libre de agua. Luego de esta parte superior, viene la parte de base, súbase y de ser necesario, una capa de conformación que funcione como transición entre la subrasante y la estructura de pavimento articulado (Sánchez Castillo, 2003).

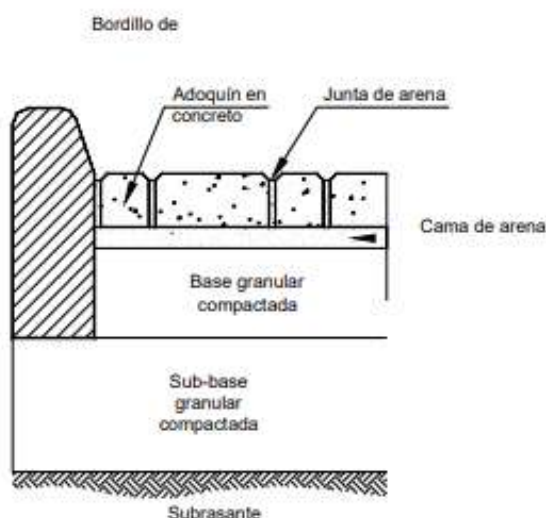


Figura 9. Pavimentos articulados (Sánchez Castillo, 2003).

2.1.5 Deterioro de pavimentos

El deterioro de los pavimentos se debe a un proceso de desgaste parcialmente acelerado en la superficie de rodadura, debido a diferentes factores que afectan la capa superior de un pavimento bien sea rígido o flexible.

2.1.5.1 Aspectos que influyen en el deterioro de pavimentos

Se presentan afectaciones de deterioro cuando:

Afectaciones climatológicas: los excesos de lluvias, excesos de sol, cambios en las temperaturas dentro de un periodo corto de tiempo.

Características del tránsito: vehículo pequeño, buses y camiones.

Malos diseños: diseños deficientes derivados de estimaciones erróneas de cargas de tránsito, mala elección de materiales, entre otros, generan excesivos deterioros en las vías.

Malos procesos constructivos: las malas ejecuciones de procesos de construcción pueden afectar al deterioro de la vía, causando daños algunas veces de manera permanente dentro la estructura de pavimento o en la capa de rodadura.

2.1.5.2 Etapas de deterioro de un pavimento

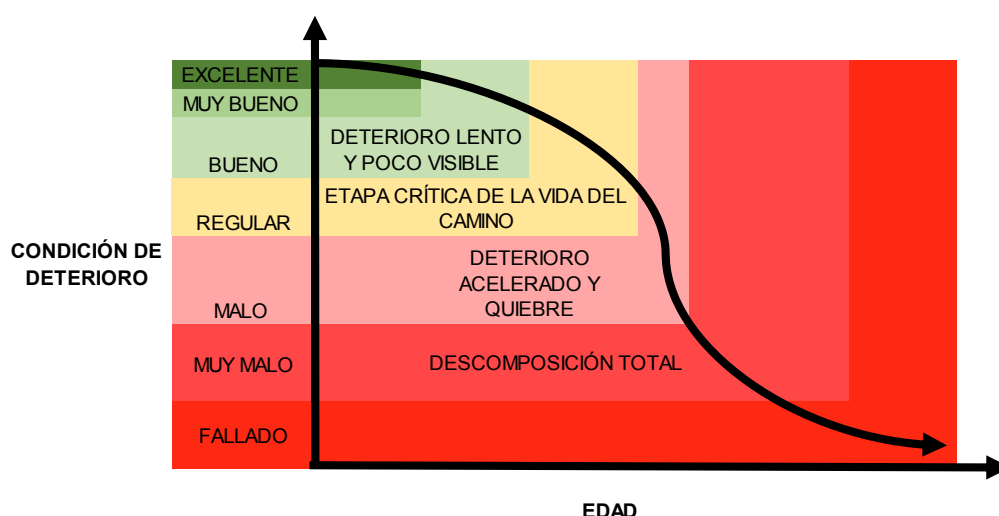


Figura 10. Etapas de un deterioro en vías según su condición (Sanabria, 2022).

Nota: Este esquema fue una composición del estado de deterioro por el método PCI ASTM 6433-07 y documentación del libro Gestión de Infraestructura Vial, (Solminitac T., Echaveguren N., & Chamoro, 2018)

2.1.6 Conservación de pavimentos

La conservación de pavimentos surge desde épocas pasadas. En donde, siempre ha cumplido con el mismo objetivo: brindar comodidad, seguridad y un óptimo servicio de operación.

Para poder garantizar todos estos aspectos, se requiere una atención oportuna, un momento dentro de la vida del pavimento en el cual se debe mitigar o rehabilitar las fallas o deterioros que se presentan en determinada vialidad. Esto

se hace con el fin de reducir las incomodidades de los usuarios y así mismo, prolongar la vida de servicio de determinada vía.

2.2 Sistema de gestión de pavimentos

2.2.1 Infraestructura vial

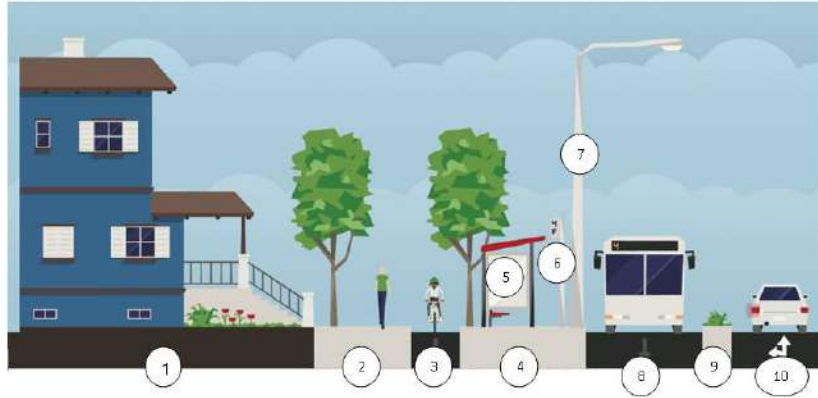
Se entiende por infraestructura vial al conjunto de vías y elementos que facilitan la comunicación de diferentes actores del tránsito, entre diferentes áreas de la actividad económica garantizando la comodidad y seguridad de los usuarios (SEIVCOM, 2020).

Cada elemento se encarga de brindar una función específica para asegurar un correcto comportamiento de la infraestructura vial. Eventualmente se tienen como elementos fundamentales, los carriles, las señalizaciones, los sistemas de drenaje de la vía, la berma¹ en carreteras y los andenes² en calles urbanas. Etc.

A continuación se muestran las secciones más comunes y su composición básica.

¹ Berma: franja longitudinal, afinada o no, comprendida entre la arista exterior del andén y la cuneta o talud. En México, se le conoce como sobreancho.

² Andén: zona o franja paralela a la vía de uso vehicular, destinada a la permanencia o tránsito de peatones. En México, se le conoce como banquetas o aceras.



1. Viviendas o edificios
2. Andén o banquetas
3. Ciclo ruta
4. Andén o banqueta
5. Paradero de autobús
6. Señalización
7. Iluminación
8. Calzada
9. Separador
10. Carril

Figura 11. Sección de una vía urbana (Ovance, 2018).

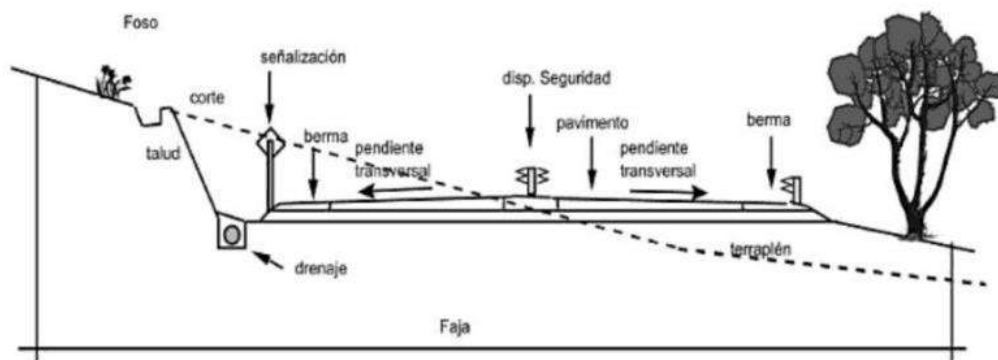


Figura 12. Sección de vía rural (Solminitac T., Echaveguren N., & Chamoro, 2018).

Toda gestión de la infraestructura vial debe contemplar una serie de elementos que van a ser de utilidad para la operación del movimiento vehicular, como por ejemplo iluminación y drenaje superficial del agua sobre la vía, entre otros.

2.2.2 Reseña histórica de los sistemas de gestión de pavimentos.

Se reconoce como hecho histórico de los caminos desde la invención de la rueda en Mesopotamia hace más de 6000 años. Se destacan como antecedentes importantes de los caminos los siguientes:

- 3500 a. de C. Construcción de una superficie de rodadura entre Asia y Egipto usada para el transporte de piedras para construir las pirámides.
- 1500 - a. de C. En el Mediterráneo se inician construcciones de caminos en piedra.
- 830 a 350 a de C. Los etruscos fueron una civilización que habitó el centro de lo que hoy es Italia. Construyeron caminos mucho tiempo antes de los romanos.
- 1894 a.C.-539 a.C. Los babilonios usaron elementos de pegue y sello sobre la vía Sacra.
- 550 -330 a. C. Los persas construyeron el camino más antiguo e histórico llamado Camino Real de los Persas. Cubriendo una longitud de 2.699 km que conectaban varias ciudades del sudoeste de Asia y Asia Menor, el camino iba de Sardes a Susa. A continuación se puede observar el camino persa en la Figura 13. Camino Real Persa (Wikipedia, 2017).

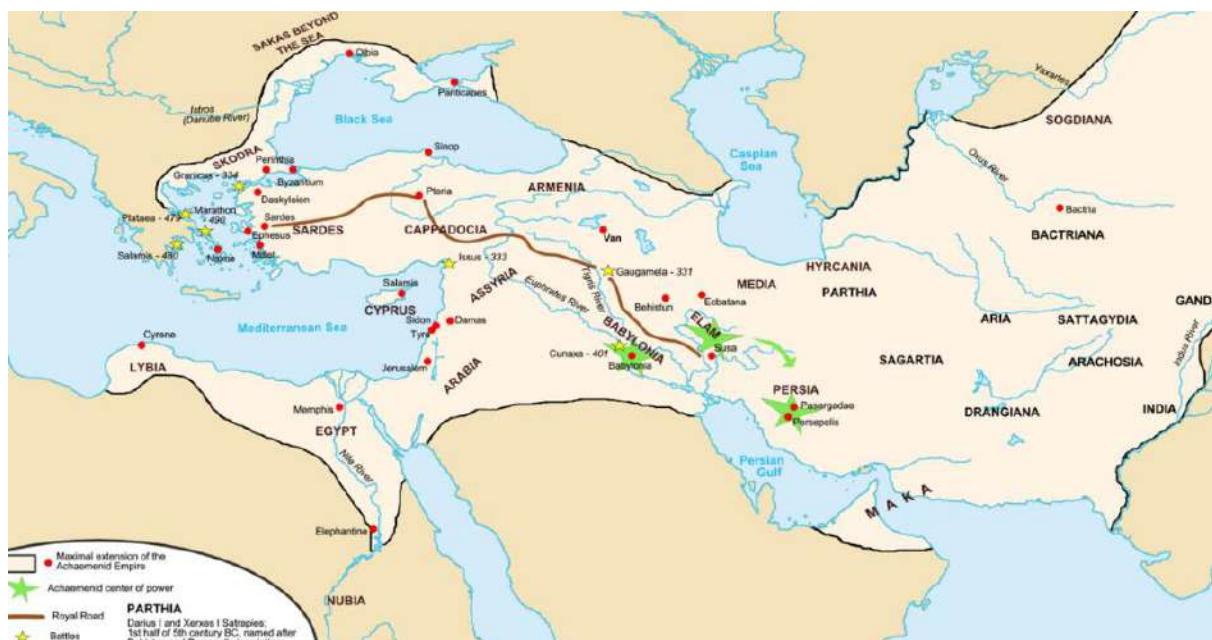


Figura 13. Camino Real Persa (Wikipedia, 2017).

En Latinoamérica, los caminos iniciaron para conectar diferentes culturas los mayas, toltecas, aztecas e incas dejaron una fuerte evidencia del desarrollo de infraestructura para conectar ciudades o pueblos.

En la literatura convencional se menciona como inicio de los caminos desde la época del Imperio Romano. Ellos tenían propósitos militares y comerciales. Para esto, requería movilizar sus tropas, víveres y/o equipamiento necesario para ir de un lugar a otro. Por tal razón, ellos establecieron un sistema de estructura vial por medio de capas que garantizaba resistencia y durabilidad.

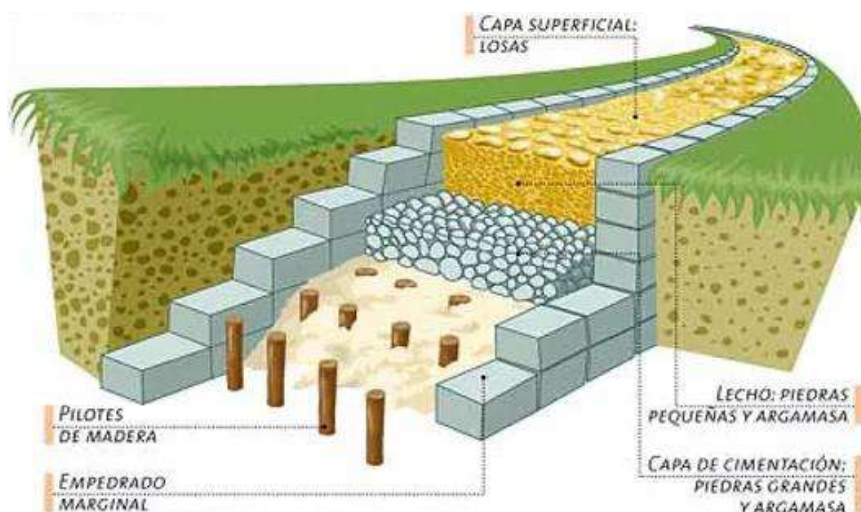


Figura 14. Estructura de camino romano (Adam, 1996).

“Todos los caminos conducen a Roma” Refrán popular que se usa para denotar que conectaba con Roma.

Solminitac T., Echaveguren N., & Chamoro (2018) mencionan en el libro Gestión de la infraestructura vial cita a Ashworth (1979) quien habla de la via Apia, que parte de la red de caminos de Europa, una porción de Asia y el norte de África fueron construidos de la siguiente forma:

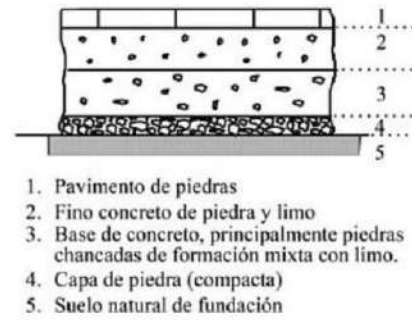


Figura 15. Vía Apia, sección tipo (Ashwoth,1979) citado por (Solminitac T., Echaveguren N., & Chamoro, 2018).

Los romanos implementaron las primeras técnicas, dejándolas plasmadas en la historia también, desarrollaron un sistema de drenaje (cunetas) para evitar afectaciones en la estructura vial. Esto ayudaba a la conservación de los caminos.



Figura 16. La red de carreteras del Imperio Romano, ilustradas al modo de un mapa de metro moderno (Mohorte, 2020).

- 1531 d. C El camino se vuelve carretera. Sebastián de Aparicio usa bueyes³ moviliza mercancía de un lugar a otro de México a Veracruz. (Revista_Unica, 2022)
- 1700 -1750 los británicos desarrollan el uso de la cal para realizar construcciones y mantenimiento de los caminos. Se crean las primeras vías con peaje a cargo del Ing. Jhon Smeaton
- 1782 se crea la mezcla de caliza y arcilla para obtener cal hidráulica.
- 1780-1800 gran desarrollo de caminos y pavimentos en Francia.
- 1801 Mc Adam desarrolla un método para el soporte del peso de los vehículos de la época para transporte de carga.

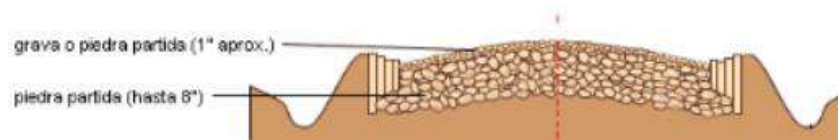


Figura 17. Perfil de camino Mc Adam (Sanchez Sandoval, 2018).

- 1823 en Maryland, USA. Pavimentos macadam, inicio el uso de agregado angulares en lugar de piedras redondas.
- 1824 el Ing. Joseph Aspdin crea cemento Portland al elevar temperatura de la mezcla de caliza y arcilla. Aparecen los primeros adoquines.
- 1870, el químico belga Edmund J. DeSedt produjo el primer pavimento asfáltico, en New Jersey USA.
- 1880, el alquitrán (brea líquida bituminosa) se importaba en pavimentación de calles en Madrid, Londres, y Paris.
- 1900-1930 se realizan estudios para determinar los esfuerzos y deformaciones de los pavimentos por parte del Profesor Harald M. Westergaard de la Universidad de Illinois. Además, se realizan las primeras pruebas en pista (ensayo de gran escala) en Pittsburg, Pensilvania USA y pista de prueba Bates, Illinois USA

³ El **buey** es el macho bovino (toro), que se usa para el engorde y sacrificio otro uso es para tareas de tracción agrícola y/o el transporte de cargas. (wikipedia, 2015).

- 1930-1950 el mundo se abre al desarrollo las mezclas asfálticas en caliente, concretos hidráulicos en vías entre otras.
- 1950 se desarrollan los primeros sistemas de gestión de pavimentos para la conservación de vías en Estados Unidos, Francia, Alemania y otros países de Europa.
- 1950-1966 la American Association of States Highway and Transportation Officials (AASHTO) crea pistas de prueba para determinar características de afectaciones de los pavimentos rígidos y flexibles. Se establecen los primeros diseños de pavimentos y programas de mantenimiento, se crea el nivel de servicio de las vías.
- 1960-1990 se desarrolla todo un sistema de materiales, composiciones estructurales que mejoran la resistencia al desgaste, capacidad de drenaje frente a diferentes efectos climáticos.

Se desarrollaron diferentes pruebas necesarias para el diseño de pavimento, se establecen criterios de conservación de pavimentos, se consolidan los sistemas de transporte y fundamentalmente se desarrollan nuevos materiales de alta durabilidad que permiten movilizar vehículos pesados.

- 2000-2020 se desarrollan e implementan diferentes modificaciones de los materiales, aún hoy es una tarea compleja, pero se ha logrado minimizar el impacto ambiental que genera la construcción de caminos.

En la actualidad se crean modelos de gestión en países desarrollados y se intenta una acomodación de los planes de gestión para algunos países de Latinoamérica. Sin embargo, no se ha logrado un avance importante en este capítulo de la gestión de pavimentos debido a diferentes factores socio-económicos que repercuten adversamente.

- 2020-2024 se pueden realizar modelos de deterioro de los pavimentos a través de información geográfica procesada por medio de vuelos de dron, una vez levantada esta información es procesada por la inteligencia artificial

y/o una aplicación encargada de detectar fallas superficiales en la carpeta de rodadura de una vía.

2.2.3 Gestión de pavimentos

La gestión de pavimentos es una rama de la ingeniería civil que cumple toda función relacionada con la acción de mantenimiento de vías, consideradas a partir de un periodo de tiempo para mantener el nivel de servicio de una vía. Para cumplir con el objeto, se debe recopilar información para establecer decisiones, posteriormente desarrollar un programa que sea económicamente agradable para los entes encargados que generalmente son los gobiernos que cuentan con periodos transitorios.

La gestión de pavimentos permite establecer una correcta toma de decisiones, acorde con las políticas de inversión en infraestructura vial y conservación vial. Se habla en el artículo de Macea Mercado, Márquez-Díaz y Morales (2015) que para *Banco mundial (BM)* una buena gestión de infraestructura es indispensable para priorizar la inversión en diferentes regiones. El BM implementa una herramienta llamada HDM-4 (Highway Development and Management) la cual permite realizar un modelamiento y evaluación de cómo está funcionando el pavimento a partir de ciertas características de la vía.

Garnica (2022), menciona que la gestión de activos, el nombre que le da a la gestión de pavimentos, se ha intentado realizar de diferentes formas con muchas ideas que han funcionado en su momento, pero que no logran cumplir una continuidad, sino que son cortadas prácticamente cuando acaba un periodo político y esto hace que generalmente no se tenga un ciclo en lo que se llama o se considera como una gestión de pavimentos.

En general, se define como un conjunto de herramientas o métodos que facilitan la toma de decisiones para encontrar soluciones que permitan evaluar, mantener y corregir daños bien sea superficialmente o en ocasiones estructuralmente, todo esto brindando como condición una adecuada funcionalidad durante un periodo de tiempo (AASHTO, 1993).

En el fonque de los sistemas de gestión de pavimentos es mejorar la infraestructura. Dentro de los que más se destacan son los pavimentos, el drenaje, la señalización, entre otros elementos (Lorica Salazar, 2017).

2.2.3.1 Principios básicos de la gestión de pavimentos

- 1) Lugar adecuado (selección de la ruta que necesita de una atención)
- 2) Momento adecuado (dentro de la vida útil)
- 3) Selección de tratamiento (acorde con presupuesto y necesidad de la ruta)

Finalmente, la gestión de pavimentos no es más que una intervención con determinado monto de dinero, para establecer una adecuación o priorización de alguna vialidad que lo requiera.

2.3 Modelo de gestión de pavimentos

Un modelo de gestión de pavimentos es un sistema que recopila información sobre un corredor vial, y ayuda a determinar qué tipo de intervención requiere este corredor, esto con el fin de optimizar tiempos tanto para usuarios como para las entidades encargadas de realizar estas intervenciones.

En carreteras se suelen usar estos modelos de gestión de pavimentos haciendo uso de equipos de auscultación (ver título 2.6) que permiten evaluar, recopilar y determinar qué tipo de proceso se puede implementar para recuperar la condición optima de una vía.

Cuando las entidades encargadas de concesiones de caminos se acoplan a estos modelos de gestión, la infraestructura mejora y mantiene buenas condiciones a lo largo del tiempo, lo que hace que mejoré la calidad de vida de los usuarios.

Para que esto ocurra será necesario saber cuándo es tiempo de atender una vía o camino, para esto se desarrolla un cuadro básico de atención en la literatura de gestión de pavimentos (ver Figura 10).

2.3.1 Tipos de modelos de gestión de pavimentos

- StreetSaver
- HDM-4

- MicroPAVER
- SMEC
- MARCH PMS

Entre muchos otros.

2.3.2 ¿Cómo funcionan? y ¿cuál es su dinámica?

Básicamente todos cuentan con un sistema de información almacenada, que se puede ir recopilando más datos para poder aplicar un modelo probalístico, que determina daños y cómo atenderlos. Esto funciona, cuando se tiene un levantamiento de deterioros por condiciones del pavimento usando PCI (Ver apartado 4.4.1). Y cuando se conoce el recurso disponible para poder atender las vías que requieren una intervención de mantenimiento. Estos sistemas requieren de un análisis costo-beneficio y/o en algunos casos costo-efectividad. Son análisis económicos que requieren de un detallado proceso de seguimiento. Conociendo los criterios de la entidad encargada de implementar este tipo de modelos. En algunas ocasiones puede ser con prioridades para beneficio de los usuarios, y en otras se pone como prioridad el interés del activo, es decir cuando se cuenta con una concesión vial y esta requiere ser atendida oportunamente por criterios de cumplimiento de contratos.

2.4 Gestión de pavimentos urbanos

El objetivo de una gestión de pavimentos urbanos es diagnosticar, evaluar, planificar y programar el mantenimiento en zonas urbanas, optimizando el recurso disponible. La gestión de pavimentos urbanos es diferente a la gestión de pavimentos que se realiza en carreteras. Debido a que la dinámica de las actividades del sistema de transporte obedece a otro flujo en zonas urbanas.

Las zonas urbanas albergan diferentes elementos en un pequeño espacio, es decir, se pueden encontrar redes hidráulicas, sanitarias, eléctricas, telefónicas, entre otras. Que pueden alterar los patrones de flujo de los usuarios, cuando estas requieren ser intervenidas. Y no solo esto, sino que además pueden llegar a presentar daños localizados en la estructura de los pavimentos (Solminitac T., Echaveguren N., & Chamoro, 2018).

Por tal razón, requieren de consideraciones adicionales en relación con la gestión de pavimentos en carreteras, no es recomendable realizar o aplicar modelos de gestión de pavimentos para carreteras en vías urbanas. Porque la cantidad, y el tipo de información recopilada puede variar de un sistema al otro. Por lo tanto, conviene aplicar un modelo de gestión para vialidades urbanas.

2.4.1 Componentes de un sistema de gestión de pavimentos urbanos

Está compuesto por tres elementos. 1) Entidad encargada de mantenimiento vial 2) un sistema de soporte para la toma de decisiones y 3) un sistema de información. La entidad encargada será quien recopila la información para poder tomar decisiones y posteriormente realizar mantenimiento vial.

Para que un sistema de gestión de pavimentos urbanos funcione, debe contar con un sistema analítico que optimice los recursos disponibles y caracterice por orden de prioridades cuáles serán los proyectos para mantenimiento.

Para realizar estos modelos será necesario contar con una base de datos, información de la condición del pavimento, y en algunas ocasiones investigación estructural del pavimento, estándares de mantenimiento y costos de los mismos. Sin embargo. Conviene también realizar una evaluación económica, para considerar otras alternativas de mantenimiento, generando un costo-beneficio dentro de los viajes de los usuarios y costos de operación vehicular.

Una herramienta funcional en la actualidad para los sistemas de información en zonas urbanas, son los Sistemas de información Geográfica (SIG). Que ofrecen una interacción entre la realidad y el entorno digital. Aplicando modelos de deterioro, evaluación y desarrollando estrategias para los planes de mantenimiento.

2.4.2 En la práctica para sistemas de gestión de pavimentos urbanos

En Estados Unidos se crearon sistemas como el MTC-PMS (Metropolitan Transportation Commission Pavement Management System) aplicado en las zonas urbanas de la Bahía de San Francisco (MTC-PMS, 2016). Existen otras aplicaciones en más ciudades de Estados Unidos implementan sistemas en Nueva York, Washington entre otras.

Ahora se menciona una recopilación de los sistemas actualmente usados para gestión de pavimentos en vialidades urbanas.

2.4.2.1 MicroPaver™

Es un software desarrollado por el Departamento de Defensa los Estados Unidos (DOD), el cual planifica actividades de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. Es una herramienta que facilita la toma de decisiones para mantenimiento, para caminos, calles, estacionamientos y pistas de aeropuertos. Está compuesto por un inventario de la red de pavimentos, clasificación de la condición del pavimento (PCI), modelos de desempeño del pavimento, y presenta una configuración de diferentes alternativas y propuestas, analizando los datos por medio de SIG con imágenes digitales. Además, usa un análisis costo-efectividad para la parte económica (Mizusawa, 2009).

2.4.2.2 Cartegraph

Es basado de la gestión de pavimentos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y conjunto con el Manual de identificación de Deterioros del Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP) y para el Proyecto de Desempeño de los Pavimentos a Largo Plazo (LTPP). Sus componentes: inventario de la red de pavimentos; clasificación de los pavimentos (PCI), modelo de desempeño de los pavimentos. Ayuda a establecer las necesidades de mantenimiento, analizando diferentes escenarios.

Su sistema permite continuar almacenando y actualizando la información inclusive si se realiza un mantenimiento o inspección este queda registrado por medio de una aplicación para teléfonos celulares, la cual puede estar interconectada con otros activos o usuarios conectados (Mizusawa, 2009).

2.4.2.3 Sistema computacional de gestión de activos (SMEC)

En Australia, desarrollaron este sistema. Mediante el cual, se puede registrar y monitorear información de inventario de señales de tránsito, caminos y calles entre otros. Sus componentes son clasificación de pavimentos (PCI). Usa

modelos de comportamiento de pavimento y costos de operación vehicular. Es basado en HDM (Highway Development and Management).

Usa el análisis costo-beneficio implementando una optimización heurística⁴ para maximizar beneficios a los usuarios y/o en función del activo, es decir generando un valor maximizado del activo o los activos estudiados (Mizusawa, 2009).

2.4.2.4 HPMa

En Canadá, desarrollaron esta herramienta, la aplicación para gestión de pavimentos de carreteras (HPMA) fue creada por Stantec Consulting. Se usa para registrar y monitorear información de carreteras. Sus componentes para condición del pavimento son el índice de calidad del pavimento (Paviment Quality Index, PQI). Para el análisis económico se basa en el costo-beneficio y trabaja con algoritmos de decisión heurística (Mizusawa, 2009).

2.4.2.5 Road Matrix

También es un sistema canadiense desarrollado por la misma empresa que creó HPMA. La diferencia con el sistema anterior, es que esta se segmenta por bloques. Realizando un análisis de costo-efectividad usando criterio de decisión ingresados por el usuario. Para el análisis de condición del pavimento. Realiza IRI (Índice de Rugosidad Internacional) y PQI como indicador de condición del pavimento (Mizusawa, 2009).

2.4.2.6 StreetSaver

Para el año 1981 se crea el primer sistema desarrollado para la gestión de pavimentos en Estados Unidos por la Comisión de Transporte Metropolitano de California. (MTC-PMS, 2016).

StreetSaver es un programa diseñado para la gestión de pavimentos urbanos y otros activos. Usa PCI para evaluar la condición del pavimento. Para las actividades de mantenimiento y rehabilitación realiza un análisis costo-efectividad,

⁴ Heurística: es la ciencia del descubrimiento. En la metodología de investigación es buscar, encontrar y solucionar. (Wikipedia, s.f)

una característica particular de este sistema, es que el público general puede notificar por un sitio web donde se presentan deterioros, para que estos sean tenidos en cuenta para futuros mantenimientos.

2.4.2.7 StreetWise

Es un sistema de gestión de pavimentos desarrollado por el Departamento de Transporte del Estado de Washington (WSDOT). Cuenta con unos modelos de comportamiento que pueden ser ajustables a distintas redes urbanas. Una de las particularidades de este sistema es que involucra a la comunidad en la detección de necesidades para las vías. Por ejemplo, en Seattle, los habitantes brindan información del estado de la red para la priorización de proyectos de mantenimiento o intervención.

Otra consideración importante, dentro de este sistema es que se realiza levantamiento de información año tras año para saber la condición de la red de manera que se puede proyectar y priorizar mantenimientos y/o intervenciones (Solminitac T., Echaveguren N., & Chamoro, 2018).

2.5 Diagnóstico del pavimento

Para comprender las dinámicas de los diagnósticos superficiales del pavimento es importante entender el tipo de fallas típicas y su causa. Y todo esto a partir de una inspección visual inicialmente. A continuación, se hace un recuento de fallas para diagnósticos tanto en pavimentos flexibles como en pavimentos rígidos.

2.5.1 Pavimentos flexibles

2.5.1.1 Daños superficiales

2.5.1.1.1 Desprendimiento de agregados

Es un desprendimiento de capa asfáltica superficial, sin afectación de capas inferiores. Suelen ser depresiones en forma de cráter, dejando pequeños huecos en la superficie de rodamiento.

Causas probables:

- Riego de liga deficiente.
- Mezcla asfáltica muy permeable.
- Escasez de asfalto.
- Expansión de agregado grueso.
- Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- Deficiencia en la compactación de la carpeta asfáltica.



Figura 18. Desprendimiento de agregado (INVIAS, 2013).

Severidad propuesta por el INVIAS⁵

- Baja: Cuando la superficie pierde su textura uniforme y se muestra levemente áspera o rugosa, con irregularidades hasta de 3 mm aproximadamente.
- Media: Cuando la profundidad de las irregularidades es mayor de 3 mm y llega a 10 mm. Se pueden ver las partículas de agregado grueso, y se siente la vibración al conducir, se escucha un sonido de las llantas al transitar sobre la superficie.
- Alta: Se producirse la desintegración superficial de la capa de rodadura, se presentan desprendimientos y partículas sueltas.

⁵ INVIAS es el Instituto Nacional de vías es una entidad de Colombia que hace parte del Ministerio de Transporte, que se encarga de ejecutar políticas, estrategias, planes, programas y proyectos e infraestructura de transporte por cualquier medio; para mejorar de conectividad, transitabilidad y movilidad de los usuarios, con tecnología sostenible. (INVIAS, 2020)

2.5.1.1.2 Pulimento de agregado

Suele ocurrir por un desgaste altamente acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo texturas lisas. Ocurre por presencia de agregados con caras planas en la superficie o por inexistencia de agregados angulares.

Causas probables:

- Agregado grueso con baja resistencia al desgaste.
- Exceso de compactación.
- Demasiado asfalto.
- Presencia de agregados tipo calizas.



Note: Tomado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program.

Figura 19. Pulimento de agregado (INVIAS, 2013).

2.5.1.1.3 Exudación o llorado del asfalto

Afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie, suele ser bastante resbaladiza y a temperaturas altas suele ser bastante viscoelástica, generando adherencia al contacto con otras superficies (pegajosa).

Causas probables:

- Exceso de asfalto.
- Exceso de compactación.
- Temperaturas de compactación muy elevadas.
- Por derrame de solventes.
- Sobredosificación de riego de liga.



Figura 20. Exudación (INVIAS, 2013).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: la exudación se hace visible en la superficie.
- Media: exceso de asfalto suficiente que forma una película que logra cubrir parcialmente los agregados.
- Alta: exceso de asfalto cubriendo casi la totalidad de los agregados suele ser de un color negro más intenso.

2.5.1.2 Deformaciones

2.5.1.2.1 Ondulaciones

También llamadas corrugaciones o rizado, son ondas que se encuentran perpendicularmente al borde de vía, se forman crestas y valles.

Causas probables:

- Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- Mala unión entre carpeta asfáltica y base.
- Acción del tránsito (zonas de frenado, paraderos o estacionamientos).
- Bases de mala calidad (con exceso de humedad).
- Excesos de compactación de la carpeta asfáltica.
- Sobredosificación de riego de liga.



Figura 21. Ondulación (INVIAS, 2013).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: profundidad máxima menor que 10 mm.
- Media: profundidad máxima entre 10 mm y 20 mm.
- Alta: profundidad máxima mayor que 20 mm.

2.5.1.2.2 Protuberancias o abultamiento

Se presentan como prominencias en la superficie de la carpeta asfáltica, forman un montículo que pueden ser pequeños, medianos o grandes.

Causas probables:

- Expansión de las capas inferiores.
- Se presenta sobre aplicaciones asfálticas sobre concreto hidráulico.
- Estabilidad inadecuada.
- Liga deficiente entre las capas estructurales del pavimento.
- Deformaciones plásticas⁶ de los materiales.
- Acción del tránsito (zonas de frenado o paraderos).
- Bases de mala calidad (con exceso de humedad).
- Excesos de compactación de la carpeta asfáltica.
- Mala compactación.
- Gradientes de temperatura muy variables.

⁶ Deformaciones plásticas: es un modo de deformación no vuelve a recuperar su forma ni su posición. suele ocurrir en protuberancias o roderas (Padilla Rodríguez, 2004).



Figura 22. Protuberancias o abultamiento (INVIAS, 2013).

Severidad mismo criterio que ondulación.

2.5.1.2.3 Hundimiento o asentamiento transversal

Son depresiones en el pavimento, que presentan como su nombre lo indica modificaciones debido a asentamientos diferenciales. Suelen estar de forma longitudinal o transversal al eje de la vía.

Causas probables:

- Deformación diferencial vertical del suelo o de las capas.
- Mala compactación en las capas de la estructura del pavimento y en zonas de sobre ancho.
- Deficiencia de drenaje en zonas laterales.
- Inestabilidad de la banca,
- Procedimientos de construcción inadecuados.
- Desplome de cavidades subterráneas.
- Cargas excesivas de vehículos pesados que sobrepasan los parámetros de diseño.



Figura 23. Hundimiento o asentamiento transversal /longitudinal (INVIAS, 2013).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: profundidad menor de 20 mm.
- Media: profundidad entre 20 mm y 40 mm.
- Alta: profundidad mayor de 40 mm.

2.5.1.2.4 Roderas o ahuellamiento

Es una deformación permanente que ocurre bajo la acción del paso de los vehículos entre el contacto de las llantas y el pavimento, es decir es una depresión localizada sobre la trayectoria de las llantas.

Causas probables:

- Baja estabilidad de la carpeta.
- Mala compactación en las capas de la estructura del pavimento.
- Consolidación de una o varias de las capas subyacentes.



Figura 24. Roderas o ahuellamientos (IMT, 2016).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: profundidad menor de 10 mm.
- Media: profundidad entre 10 mm y 25 mm.
- Alta: profundidad mayor de 25 mm.

2.5.1.2.5 Desplazamientos longitudinales o crestas longitudinales masivas

Son áreas localizadas dentro de la superficie de rodamiento. Generalmente se localizan en crestas, curvas, e intersecciones. Pueden estar asociados a los desplazamientos verticales.

Causas probables:

- Frenado y acelerado de vehículos.
- Liga inadecuada entre la capa asfáltica.
- Pésima estabilidad de la mezcla.



Figura 25. Desplazamiento longitudinal o crestas longitudinales (Perez, 2022).

Severidad

- Baja: Desplazamiento menor de 6 mm.
- Media: Desplazamiento entre 6 mm y 25 mm.
- Alta: Desplazamiento mayor de 25 mm.

2.5.1.3 Parches y baches

2.5.1.3.1 Baches

Desintegración total de la carpeta asfáltica que usualmente permite la exposición de materiales granulares lo cual lleva al aumento del área afectada y al aumento de la profundidad debido a la acción del tránsito. En la jerga tradicional se le conoce por oquedades o huecos debido al paso de vehículos.

Causas probables:

- Se presenta retención de agua en zonas fisuradas bajo cargas de tránsito.
- Daños por fatiga.

- Escasez de contenido de asfalto o composición inadecuada de la mezcla asfáltica.
- Espesor deficiente, capas de soporte de mala calidad.
- Daños por humedad.
- Desgranamiento superficial.
- Puntos débiles en la superficie.
- Ciclos de congelamiento y descongelamiento.



Figura 26. Bache (INVIAS, 2013).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: profundidad de daño menor o igual de 25 mm.
- Media: profundidad de daño entre 25 mm y 50 mm.
- Alta: profundidad de daño mayor de 50 mm.

2.5.1.3.2 Deterioro en Parches

Se habla de parches cuando el asfalto original fue reemplazado por un material de las mismas o similares características. Es una reparación para mejorar temporalmente la continuidad de los vehículos. Estos trabajos pueden presentar problemas de adhesión y puede ocurrir un desprendimiento parcial de la superficie.

Causas probables:

- Condiciones climáticas.
- Malos procesos de intervención (anteriores).
- Deficiencia en las juntas.
- Daños superficiales que conducen posteriormente al parche.



Figura 27. Deterioro en parche (INVIAS, 2013).



Figura 28. Deterioro en parche (Perez, 2022).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: parche en buena condición.
- Media: parche con deficiencia en los bordes.
- Alta: parche deteriorado.

2.5.1.4 Grietas y fisuras

En particular para este apartado se considera la severidad propuesta para todos los siguientes tipos de grietas y fisuras de la forma como se encuentra en el Manual de Deterioros del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: fisura menor a 1 mm, con sello en buenas condiciones.
- Media: fisura o grieta, entre 1 mm y 3 mm.
- Alta: fisura o grieta todo valor superior a 3 mm

Nota 1: las unidades de las grietas regularmente se muestran en metros, pero al momento de realizar un levantamiento de daños es importante caracterizar las grietas o fisuras según su severidad para posteriormente multiplicar un factor de 0.6 m establecidos para fines prácticos tener las unidades en m².

Nota 2: cuando existan varias fisuras relativamente cerca, se debe reportar el área total en m².

2.5.1.4.1 Grietas y fisuras de reflexión

Son grietas longitudinales y transversales que adquieren exactamente el mismo agrietamiento de un pavimento existente, cuando es reencarpetado con mezcla asfáltica en caliente o en frío.

Causas probables:

- Movimiento del pavimento anexo.
- Mal riego de liga entre capas.
- Contracciones de capas subyacentes.
- Daños superficiales que conducen posteriormente al parche.



Figura 29. Grietas por reflexión (INVIAS, 2013).

2.5.1.4.2 Agrietamiento parabólico –Grietas en media luna

Son figuras de forma parabólica asociadas al movimiento de la banca por lo que usualmente se presentan acompañadas de hundimientos. En zonas urbanas se puede encontrar esta falla en lugares cerca de alcantarillas o desagües laterales.

Causas probables:

- Talud con falla lateral en terraplén.
- Talud con falla de corte a media ladera.
- Fallas de obras de contención al pie de talud.
- Compresión de los movimientos de tierra (consolidación),



Figura 30. Agrietamiento parabólico o grieta en media luna (INVIAS, 2013).

2.5.1.4.3 Grietas o fisuras de borde

Se presentan fisuras de borde con tendencia longitudinal paralelas al borde de la vía. Se estima que puede estar entre 0.3 – 0.6 m del borde lateral de la calzada.

Causas probables:

- Carga de tránsito que genera debilitamiento de la base o subrasante próximas al borde del pavimento.
- Cambios de temperatura abruptos
- Ausencia de bermas (sobreancho) o confinamiento lateral.



Figura 31. Grietas o fisuras de borde (INVIAS, 2013).

2.5.1.4.4 Grietas por fatiga o piel de cocodrilo

Son fisuras interconectadas con forma irregular, las fisuraciones tienden a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas. Ocurren con frecuencia por exceso de carga vehicular.

Causas probables:

- Soporte inadecuado de la base.
- Deficiencias en la estructura del pavimento.
- Carpetas rígidas sobre los suelos de cimentación resilientes.
- Frecuencia media alta de tránsito.
- Fatiga.
- Envejecimiento.
- Escasez de espesor de la carpeta.
- Evolución progresiva de agrietamiento tipo mapa.



Figura 32. Piel de cocodrilo (INVIAS, 2013)

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: fisuras que llegan a tener 3 mm, marcan una huella, no se observa desportillamiento, existen pocas conexiones entre estas y no se percibe bombeo.
- Media: inicia formación de polígonos, que presentan un leve deterioro en los bordes, las fisuras suelen tener entre 1 mm - 3 mm y no se percibe bombeo.
- Alta: fisuras mayor 3 mm, se observa desgaste o desportillamiento en los bordes, se forman bloques sueltos, que pueden presentar descaramiento y bombeo.

2.5.1.4.5 Grietas longitudinales

Fisuras o grietas paralelas o sobre al eje de la vía.

Causas probables:

- Falla en la junta de construcción longitudinal.
- Escaneo de grietas en la capa base.
- Contracción de materiales de la capa de rodamiento.
- Asentamientos aislados de capas interiores.
- Drenaje insuficiente.



Figura 33. Grieta longitudinal (Perez, 2022).

2.5.1.4.6 Grietas transversales

Es una fisura o grieta transversal que se ubica perpendicular al eje de la vía. Se extiende a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción.

Causas probables:

- Gradientes términos muy altos.
- Reflejo de grietas en capas inferiores
- Contracción térmica de la superficie de rodamiento
- Deficiencia en juntas transversales de construcción



Figura 34. Grietas transversales (INVIAS, 2013).

2.5.1.4.7 Agrietamiento tipo mapa – Grietas de bloque

Es un patrón de grietas que divide el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares. Los bloques comienzan arriba de 0.20x0.20m.⁷

Causas probables:

- Calidad deficiente de alguna de las capas de la estructura de pavimento.
- Carpeta rígida sobre suelos de cimentación resilientes.
- Fuertes Solicitaciones de tránsito.
- Fatiga.
- Envejecimiento.
- Espesor escaso de la carpeta.



Figura 35. Agrietamiento tipo mapa – grietas de bloque (Perez, 2022).

2.5.2 Pavimentos rígidos

En esta sección se pretende abarcar la temática de fallas superficiales en pavimentos rígidos o también llamado concreto hidráulico, es importante mencionar que si estas fallas no son atendidas con tiempo pueden desarrollar o evolucionar considerablemente en fallos estructurales que podrían causar un alto impacto en el servicio de la vía y además un costo mucho más elevado de reparación. Por tal razón, es importante mencionar que se debe contemplar y tener conocimiento de cuáles son los problemas superficiales más recurrentes en las vías y cuáles son sus posibles causas; sabiendo esto se puede entonces

⁷ Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo debido a que no son causadas por factores de tránsito (carga vehicular). Mientras las grietas de bloque se presentan en áreas que no han sido cargadas.

realizar una prevención o corrección para mejoramiento del servicio en vías que cuentan con pavimentos rígidos.

2.5.2.1 Fisuraciones y agrietamientos

2.5.2.1.1 Grietas de esquina

Ocurre sobre la losa de concreto, generalmente en esquinas suele ser una conexión entre junta transversal y junta longitudinal, es generada en forma triangular que regularmente presenta un ángulo de alrededor de 40° a 50° con respecto al eje centro de la losa.

Causas probables:

- Movimiento vertical de carpetas inferiores y/o la subrasante (asentamiento).
- Falta de soporte de la losa, presentando por erosión en la capa inferior o alabeo térmico.
- Sobrecarga en las esquinas.
- Baja o nula transmisión de cargas entre las losas.



Figura 36. Grieta de esquina (INVIAS, 2013).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: grietas sellada o con abertura menor a 3 mm.
- Media: abertura entre 3 mm y 10 mm.
- Alta: abertura mayores a 10 mm.

Este tipo de fallas podría llegar a evolucionar en escalonamientos.

2.5.2.1.2 Grietas longitudinales

Regularmente estas grietas se encuentran paralelas al eje de la vía, suelen extenderse desde la junta transversal hasta el borde la losa.

Causas probables:

- Movimiento vertical de carpetas inferiores y/o la subrasante (asentamiento).
- Falta de soporte de la losa, presentando por erosión en la capa inferior o alabeo térmico.
- Losas de ancho fue de medidas convencionales.
- Olvido de dilatación longitudinal en la losa (aserramiento).
- Mala posición de las barras de traspaso de cargas.
- Contracción del concreto.



Figura 37. Grieta longitudinal (INVIAS, 2013).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: grietas sellada o con abertura menor a 3 mm.
- Media: abertura entre 3 mm y 10 mm.
- Alta: abertura mayores a 10 mm y/o escalonamiento de 15 mm o superior.

2.5.2.1.3 Grieta transversal

Normalmente es una grieta que se encuentra perpendicular al eje de la vía.

Causas probables:

- Asentamiento de carpetas inferiores y/o la subrasante.
- Losas de longitud excesiva.
- Espesor de la losa insuficiente.
- Retracción térmica que origina alabeos.

Regularmente la unión de estos dos tipos de grietas longitudinales y transversales forma grietas en bloque, donde se puede presentar escalonamiento.



Figura 38. Grieta Longitudinal (INVIAS, 2013).

Nota: los aladeos suelen presentarse de forma diurna o nocturna lo cual hace que la acción de la losa en concreto se puede tensionar o comprimir a continuación se muestra:

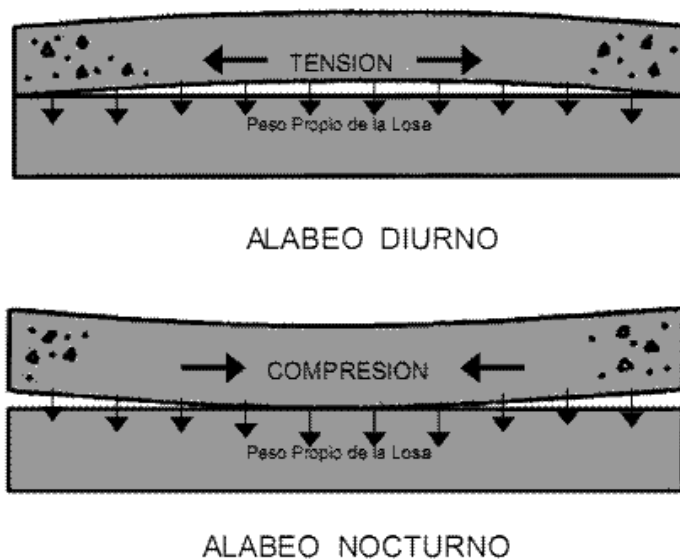


Figura 39. Alabeo en losas de concreto hidráulico (Civil, 2011).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: grietas sellada o con abertura menor a 3 mm.
- Media: abertura entre 3 mm y 10 mm
- Alta: abertura mayores a 10 mm y/o escalonamiento de 6 mm o superior

2.5.2.1.4 Losa dividida

Losa dividida es una losa que cuenta principalmente con un mapa de grietas o fisuras, que se interceptan de manera longitudinal, transversal, o diagonal. Subdividiendo en distintas partes (más de 4) una losa de concreto (Ruiz, 2011).

Severidad igual a longitudinal o transversal según sea el caso de la losa

2.5.2.1.5 Grietas en bloque

La unión de grietas longitudinales y transversales forma un bloque a lo largo de la losa en concreto.

Causas probables:

- Unión de grietas longitudinales y transversales.
- Es causado principalmente por excesivas cargas (fatiga).
- Deficiencia en la estructura la base y subbase.



Figura 40. Grietas en bloque (Sanabria, 2023)

Para grietas en bloque se recomienda usar siempre como **severidad alta**, debido a que es el fin de la falla o deterioro superficial en pavimentos rígidos.

2.5.2.1.6 Grietas en pozos y sumideros

Son grietas o fisuras presentes en instalaciones de pozos y/o sumideros, se encuentran únicamente sobre el anillo de obra de drenaje.

Causas probables:

- Sobrecarga en la base de tapa de obra de drenaje, que al pasar de los vehículos genera vibración y hace que se vaya fisurando o agrietando la superficie de la zona donde se ubica determinada obra hidráulica o sanitaria.

Puede llegar a reflejar grietas en la losa del concreto principal.



Figura 41. Grietas en pozos (Toxement, 2012).

Nota: en la imagen se muestra que el contorno del pozo no se encuentra de forma geométrica deben ser cuadrados o redondos los contornos. Sin embargo, funciona como ejemplo para la caracterización de este tipo de grietas en pozos.

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: grietas sellada o con abertura menor a 3 mm.
- Media: abertura entre 3 mm y 10 mm.
- Alta: abertura mayores a 10 mm y/o escalonamiento de 6 mm o superior.

2.5.2.1.7 Grietas de durabilidad (Grietas D)

Caracterizado por grietas finas muy cercanas y con forma de un cuarto de luna. Normalmente suele presentarse en cercanía de las juntas, grietas o bordes de la losa en concreto. Suele inicial en las esquinas de la losa.

Causas probables:

- Reactividad álcali-sílice de los agregados que conforman el concreto, cuando estos se congelan y expanden por constantes cambios en la temperatura.



Figura 42. Grietas de durabilidad (Grietas D).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: grietas sin trozos sueltos o faltantes.
- Media: grietas bien definidas con trozos sueltos.
- Alta: patrón de falla bien marcado, con abundantes trozos sueltos o faltantes.

Puede evolucionar en escalonamientos o hundimientos.

2.5.2.2 Deterioros juntas**2.5.2.2.1 Separación de juntas longitudinales**

Se entiende por separación de la junta longitudinal del pavimento. Esta acción se presenta en todos los tipos de pavimentos rígidos. Particularmente se visualiza como una separación entre las placas de margen derecho e izquierdo.

Causas probables:

- Contracción o expansión por falta de barras de anclaje entre losas.
- Desplazamiento lateral de las losas por un movimiento vertical en la subrasante (asentamiento).
- Ausencia de acotamientos.

- Asentamiento de la subrasante

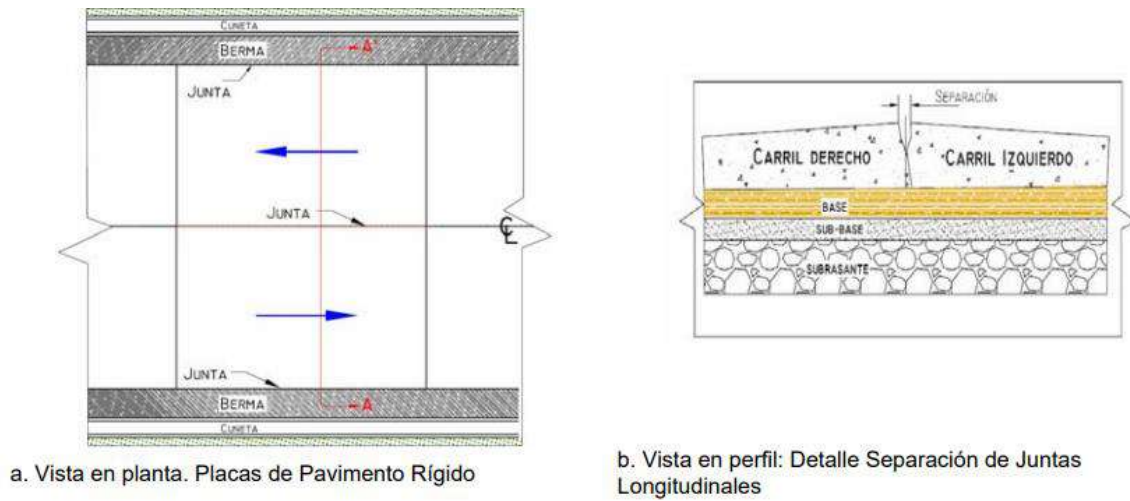


Figura 43. Separación de juntas longitudinales (INVIAS, 2013)



Figura 44. Separación de juntas longitudinales (INVIAS, 2013)

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: abertura menor a 3 mm.
- Media: abertura entre 3 mm y 25 mm.
- Alta: abertura mayores a 25 mm y/o diferencia de nivel entre losas de 10 mm o superior.

2.5.2.2.2 Deterioro de sello junta o daños en el sello de junta

El desprendimiento o craquelación⁸ del sello de las juntas, podría generar problemas en las capas inferiores debido a infiltraciones de agua.

Causas probables:

- Contracción o expansión por falta de barras de anclaje entre losas.
- Desplazamiento lateral de las losas por un movimiento vertical en la subrasante (asentamiento).
- Ausencia de acotamientos.
- Asentamiento de la subrasante



Figura 45. Deterioro de sello o daños en el sello (INVIAS, 2013)

Severidad propuesta por Consejo de Directores de Carreteras De Iberia e Iberoamérica

- Baja: longitud de sellado menor del 5 %.
- Media: longitud de sellado entre 5% y 25%.
- Alta: longitud de sellado mayor 25%.

2.5.2.3 Deterioros superficiales

2.5.2.3.1 Desportillamiento de juntas o rotura de borde

Los desportillamiento son una desintegración de la junta longitudinal o transversal, que regularmente suele afectar a uno o los dos lados de la junta.

⁸ Craquelación: se refiere al procesamiento del envejecimiento de algún material. En este caso en particular es cuando el sello pierde sus propiedades y obtiene un rompimiento término que hace que se convierta en pedazos debido a cambios de temperatura.

Causas probables:

- Debilitamiento de los bordes por malos procesos constructivos.
- Desintegración del concreto, por mala calidad del material.
- Presencia de material incompresible en la junta.
- Mal procedimiento de corte de la junta.
- Apertura al tránsito mucho antes de que adquiriera la resistencia recomendada.



Figura 46. Desportillamiento de juntas (INVIAS, 2013).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: abertura menor a 3 mm.
- Media: abertura entre 3 mm y 25 mm.
- Alta: abertura mayores a 25 mm y/o diferencia de nivel entre losas de 10 mm o superior.

2.5.2.3.2 Descascaramiento o desprendimiento

Es un tipo de rotura de la superficie de la losa de concreto que regularmente tiene una profundidad entre 5 y 15 mm, es un desprendimiento de la superficie.

Causas probables:

- Es una consecuencia del proceso constructivo al momento de la nivelación o implementación de la llana metálica, el cual la losa produce exudación del mortero y agua, generando una superficie bastante débil frente a la retracción.



Figura 47. Descascaramiento (INVIAS, 2013)

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: profundidad de 5 mm o menos.
- Media: profundidad de 5 mm a 15 mm.
- Alta: profundidad de 15 mm o más.

2.5.2.3.3 Desintegración o escamado

Desintegración progresiva de la superficie perdiéndose primero la textura y luego el mortero, quedando el árido grueso expuesto.

Causas probables:

- Material de calidad deficiente o pobre.
- Presencia de terrones de arcilla o cal viva.
- Mortero poco homogéneo.
- Reparaciones mal ejecutadas.
- Mala dosificación.
- Acciones de tránsito, ciclos de hielo y deshielo.
- Curado inapropiado.



Figura 48. Desintegración (INVIAS, 2013).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: desprendimientos puntuales muy superficiales.
- Media: textura abierta, solo hay desprendimiento de material fino.
- Alta: desprendimiento de agregado grueso que con el tiempo forman baches superficiales.

2.5.2.3.4 Baches

Son cavidades que se forman al desprenderse concreto de la superficie, varía entre unos 25 mm y 100 mm y la profundidad suele superar 10 o 15 mm.

Causas probables:

- Capas inferiores inestables.
- Espesores deficientes.
- Retención de agua (zonas hundidas).
- Previamente no se intervino el desprendimiento superficial.



Figura 49. Bache en Pavimento Rígido (Pacheco, 2021).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: profundidad de 25 mm o menos.
- Media: profundidad de 25 mm a 50 mm.
- Alta: profundidad de 50 mm o más.

2.5.2.3.5 Pulimento de agregados

Carencia o pérdida de la textura superficial (pérdida del IRI) es decir pérdida de la relación de fricción entre pavimento y neumático.

Causas probables:

- Excesivo tránsito.
- Desgaste por tráfico pesado que va generando una reducción entre rueda y pavimento rígido.



Figura 50. Pulimento (INVIAS, 2013)

Regularmente la severidad de pulimento se debe considera como alta

2.5.2.3.6 Escalonamiento

Es el desnivel causado por la falta de sello de juntas, regularmente suele ocurrir cuando existe un movimiento de la estructura completa entre las losas lo cual se presenta por causas repetitivas del tránsito.

Causas Probable:

- Pérdida de la base en la junta o grieta.
- Bajo traspaso de cargas entre las losas.
- Movimiento vertical de la subrasante (asentamiento).
- Falta de drenaje.

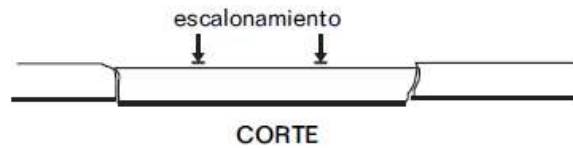


Figura 51. Vista en perfil escalonamiento (DIRCAIBEA, 2002).



Figura 52. Escalonamiento (DIRCAIBEA, 2002).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: desnivel de 5 mm o menos.
- Media: desnivel de 5 mm a 10 mm.
- Alta: desnivel de 10 mm o más.

2.5.2.3.7 Levantamiento Localizado

Sobreelevación abrupta de la superficie del pavimento, generalmente ubicadas en juntas o grietas.

Causas Probable:

- Falta de articulación entre las losas.
- Cambios abruptos de temperatura pueden causar contracción y expansión de las losas.
- Ausencia de pasa-juntas, y/o barras de transferencia.
- Presencia de suelos expansivos en capas inferiores.
- Evoluciones de desportillamiento.



Figura 53. Levantamiento localizado (INVIAS, 2013)

No se aplican criterios de niveles de severidad. Pero sí, requiere de un rango en función del nivel de serviciabilidad o del riesgo que pueda presentar para un conductor (DIRCAIBEA, 2002).

2.5.2.3.8 Parches

Normalmente estos parches son en zonas donde empresas de gas o de saneamiento básico o hidrosanitario realizan trabajo y ponen un material que regularmente carece de aplicación técnica, unas veces se usa aplicación de asfalto caliente y otra se suele realizar un colado de concreto hidráulico, cualquiera que se use. Suele estar propenso a falla por sello de junta.

Causas Probable:

- Parches asfálticos con malos procesos constructivos
- Parches en concreto, retracción por fraguado, ausencia de sello o pegamento entre concreto antiguo y nuevo, deja junta fría.
- Cuando se realiza un tercio de la losa en concreto y no se realiza una transferencia adecuada de cargas entre losas.

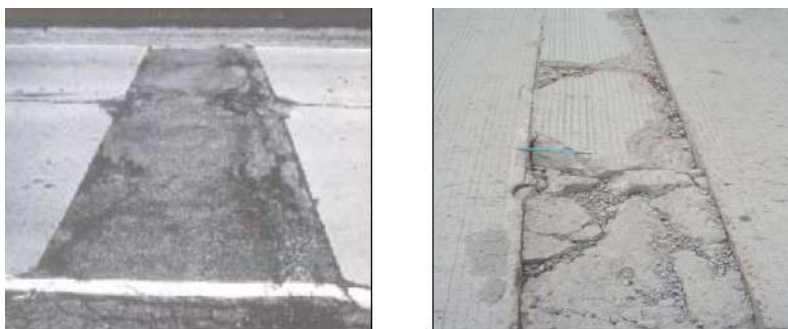


Figura 54. Parches en pavimentos rígidos (INVIAS, 2013).

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: parche en buena condición.
- Media: parche presenta daños y comienzan a desprenderse los bordes.
- Alta: parche deteriorado.

2.5.2.4 Otros tipos de deterioro en pavimentos rígidos

2.5.2.4.1 Fisuración por retracción

Se llama retracción a la pérdida de agua de una losa de concreto, esto pasa momentos después de estar fundir o colar una losa y no hidratarla luego de haberla construido, es decir al día siguiente a los días siguientes del colado es necesario hidratar el concreto para que este no tenga una fisuración por retracción.

Causas Probable:

- Mal proceso de curado.
- Exceso de amasado superficial.
- Malla o refuerzo muy próximo a la superficie.
- Acción del clima o de productos químicos.

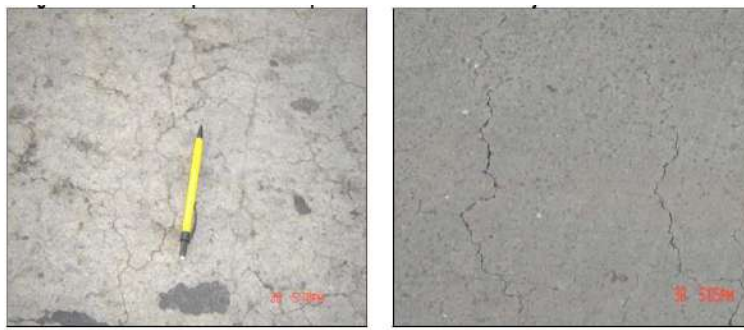


Figura 55. Fisuración por retracción (INVIAS, 2013)

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: fisuramiento definido, pero sin descaramiento.
 - Media: fisuramiento con descaramiento que afecta 10% o menos de la superficie.
 - Alta: fisuramiento con descaramiento que afecta 10% o más de la superficie
- Regularmente este evoluciona en un descascaramiento superficial.

2.5.2.4.2 Fisuras ligeras de aparición temprana

Solo afectan la parte superior de la losa, su medida está entre 0.2 m a 1 m. suelen estar de forma paralela o con una inclinación de 45° con respecto a su eje principal.



Figura 56. Fisuras ligeras de aparición temprana. (INVIAS, 2013)

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: fisuramiento sin descaramiento.
- Media: fisuramiento con descaramiento que afecta 10% o menos de la superficie.
- Alta: fisuramiento con descaramiento que afecta 10% o más de la superficie.

2.5.2.4.3 Bombeo sobre junta transversal

Bombeo se define como la expulsión de agua y finos que van dañando las juntas que se encuentran mal selladas. Al momento de expulsar agua esta lleva consigo partículas de grava, arena, arcilla o limos generando pérdida del soporte.

Causas Probable:

- Filtración de agua sobre la losa de concreto y la base.
- Material erodable⁹ en la base.
- Tráfico pesado.
- Transmisión inadecuada de cargas entre las losas.

⁹ Erodabilidad del suelo: indica el índice de la vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión

Severidad propuesta por el INVIAS

Se definen por la diferencia de alturas en el tramo afectado. Y el nivel de las losas no afectadas.

- Baja: altura o hundimiento de 50 mm o menos.
- Media: altura o hundimiento de 50 mm a 150 mm.
- Alta: altura o hundimiento de 150 mm o más.

2.5.2.4.4 Ondulaciones

Son deformaciones sobre la superficie de las losas de concreto, generadas principalmente por el mal proceso constructivo al momento de nivelar la construcción de pavimento.

Causas Probable:

- Malos o insuficientes procesos constructivos.

Severidad propuesta por el INVIAS

- Baja: desnivel 5 mm o menos.
- Media: desnivel 5 mm a 10 mm.
- Alta: desnivel 10 mm o más.

2.5.2.4.5 Descenso de sobreancho o berma

Si existe un desnivel considerable entre la losa de concreto y la berma.

Causas Probable:

- Asentamiento de la berma por compactación insuficiente.
- Normalmente en zonas no revestidas por la acción del tráfico y un material erosionable de la capa superficial por agua que escurre desde el pavimento hacia el pavimento el borde la losa.
- Una banca con deficiente calidad de materiales.

Severidad propuesta por el INVIAS

Se debe tener en cuenta la diferencia de alturas entre la losa y berma.

- Baja: la diferencia de alturas entre losa y berma es 10 mm o menos.
- Media: la diferencia de alturas entre losa y berma es 10 mm a 30 mm.

- Alta: la diferencia de alturas entre losa y berma es 30 mm o más.

2.5.2.4.6 Separación entre Berma o sobre ancho y el pavimento

Es básicamente una junta longitudinal que se encuentra entre el sobre ancho carretero y el pavimento.

Causas Probable:

- Asentamiento con desplazamiento de sobreancho o berma.
- Malas compactaciones de materiales entre la estructura de pavimento y la zona de sobre ancho.
- Escurrimiento de agua sobre la berma o sobreancho.
- No se clasifica en niveles de severidad.

2.6 Auscultación

La auscultación es una herramienta clave para el desarrollo de la gestión de pavimentos y gestión de activos carreteros, suele usarse en los procesos constructivos y frecuentemente algunos corredores carreteros en México que cuenta con casetas o que son de cuota (peajes), realizan mediciones dos veces por año para garantizar un estado óptimo de la vía (Gobierno de México, 2020). Cumpliendo además con parámetros como índice de perfil (IP), Índice de Regularidad Internacional (IRI), Coeficiente de Fricción (CF) y ahora en muchos corredores de México reglamentan bajo un parámetro llamado textura superficial del pavimento (IMT, 2020).

2.6.1 Auscultación superficial

La auscultación superficial está determinada por mediciones como su nombre lo indica superficialmente, en la cual se destacan diferentes índices que indican la condición del pavimento (Grupo Súrfax, 2017).

2.6.1.1 Levantamiento de deterioros

Se debe realizar un levantamiento de deterioros con su respectiva identificación de tipo de falla, medición y daño de severidad. Puede dirigirse a ver el (Modelo de gestión de pavimentos

Un modelo de gestión de pavimentos es un sistema que recopila información sobre un corredor vial, y ayuda a determinar qué tipo de intervención requiere este corredor, esto con el fin de optimizar tiempos tanto para usuarios como para las entidades encargadas de realizar estas intervenciones.

En carreteras se suelen usar estos modelos de gestión de pavimentos haciendo uso de equipos de auscultación (ver título 2.6) que permiten evaluar, recopilar y determinar qué tipo de proceso se puede implementar para recuperar la condición óptima de una vía.

Cuando las entidades encargadas de concesiones de caminos se acoplan a estos modelos de gestión, la infraestructura mejora y mantiene buenas condiciones a lo largo del tiempo, lo que hace que mejore la calidad de vida de los usuarios.

Para que esto ocurra será necesario saber cuándo es tiempo de atender una vía o camino, para esto se desarrolla un cuadro básico de atención en la literatura de gestión de pavimentos (ver Figura 10).

Tipos de modelos de gestión de pavimentos

- StreetSaver
- HDM-4
- MicroPAVER
- SMEC
- MARCH PMS

Entre muchos otros.

2.6.2 ¿Cómo funcionan? y ¿cuál es su dinámica?

Básicamente todos cuentan con un sistema de información almacenada, que se puede ir recopilando más datos para poder aplicar un modelo probabilístico, que determina daños y cómo atenderlos. Esto funciona, cuando se tiene un

levantamiento de deterioros por condiciones del pavimento usando PCI (Ver apartado 4.4.1). Y cuando se conoce el recurso disponible para poder atender las vías que requieren una intervención de mantenimiento. Estos sistemas requieren de un análisis costo-beneficio y/o en algunos casos costo-efectividad. Son análisis económicos que requieren de un detallado proceso de seguimiento. Conociendo los criterios de la entidad encargada de implementar este tipo de modelos. En algunas ocasiones puede ser con prioridades para beneficio de los usuarios, y en otras se pone como prioridad el interés del activo, es decir cuando se cuenta con una concesión vial y esta requiere ser atendida oportunamente por criterios de cumplimiento de contratos.

2.7 Gestión de pavimentos urbanos

El objetivo de una gestión de pavimentos urbanos es diagnosticar, evaluar, planificar y programar el mantenimiento en zonas urbanas, optimizando el recurso disponible. La gestión de pavimentos urbanos es diferente a la gestión de pavimentos que se realiza en carreteras. Debido a que la dinámica de las actividades del sistema de transporte obedece a otro flujo en zonas urbanas.

Las zonas urbanas albergan diferentes elementos en un pequeño espacio, es decir, se pueden encontrar redes hidráulicas, sanitarias, eléctricas, telefónicas, entre otras. Que pueden alterar los patrones de flujo de los usuarios, cuando estas requieren ser intervenidas. Y no solo esto, sino que además pueden llegar a presentar daños localizados en la estructura de los pavimentos (Solminitac T., Echaveguren N., & Chamoro, 2018).

Por tal razón, requieren de consideraciones adicionales en relación con la gestión de pavimentos en carreteras, no es recomendable realizar o aplicar modelos de gestión de pavimentos para carreteras en vías urbanas. Porque la cantidad, y el tipo de información recopilada puede variar de un sistema al otro. Por lo tanto, conviene aplicar un modelo de gestión para vialidades urbanas.

2.7.1 Componentes de un sistema de gestión de pavimentos urbanos

Está compuesto por tres elementos. 1) Entidad encargada de mantenimiento vial 2) un sistema de soporte para la toma de decisiones y 3) un

sistema de información. La entidad encargada será quien recopila la información para poder tomar decisiones y posteriormente realizar mantenimiento vial.

Para que un sistema de gestión de pavimentos urbanos funcione, debe contar con un sistema analítico que optimice los recursos disponibles y caracterice por orden de prioridades cuáles serán los proyectos para mantenimiento.

Para realizar estos modelos será necesario contar con una base de datos, información de la condición del pavimento, y en algunas ocasiones investigación estructural del pavimento, estándares de mantenimiento y costos de los mismos. Sin embargo. Conviene también realizar una evaluación económica, para considerar otras alternativas de mantenimiento, generando un costo-beneficio dentro de los viajes de los usuarios y costos de operación vehicular.

Una herramienta funcional en la actualidad para los sistemas de información en zonas urbanas, son los Sistemas de información Geográfica (SIG). Que ofrecen una interacción entre la realidad y el entorno digital. Aplicando modelos de deterioro, evaluación y desarrollando estrategias para los planes de mantenimiento.

2.7.2 En la práctica para sistemas de gestión de pavimentos urbanos

En Estados Unidos se crearon sistemas como el MTC-PMS (Metropolitan Transportation Commission Pavement Management System) aplicado en las zonas urbanas de la Bahía de San Francisco (MTC-PMS, 2016). Existen otras aplicaciones en más ciudades de Estados Unidos implementan sistemas en Nueva York, Washington entre otras.

Ahora se menciona una recopilación de los sistemas actualmente usados para gestión de pavimentos en vialidades urbanas.

2.7.2.1 MicroPaver™

Es un software desarrollado por el Departamento de Defensa los Estados Unidos (DOD), el cual planifica actividades de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. Es una herramienta que facilita la toma de decisiones para mantenimiento, para caminos, calles, estacionamientos y pistas de aeropuertos. Está compuesto por un inventario de la red de pavimentos, clasificación de la condición del pavimento (PCI), modelos de desempeño del pavimento, y presenta

una configuración de diferentes alternativas y propuestas, analizando los datos por medio de SIG con imágenes digitales. Además, usa un análisis costo-efectividad para la parte económica (Mizusawa, 2009).

2.7.2.2 Cartegraph

Es basado de la gestión de pavimentos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y conjunto con el Manual de identificación de Deterioros del Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP) y para el Proyecto de Desempeño de los Pavimentos a Largo Plazo (LTPP). Sus componentes: inventario de la red de pavimentos; clasificación de los pavimentos (PCI), modelo de desempeño de los pavimentos. Ayuda a establecer las necesidades de mantenimiento, analizando diferentes escenarios.

Su sistema permite continuar almacenando y actualizando la información inclusive si se realiza un mantenimiento o inspección este queda registrado por medio de una aplicación para teléfonos celulares, la cual puede estar interconectada con otros activos o usuarios conectados (Mizusawa, 2009).

2.7.2.3 Sistema computacional de gestión de activos (SMEC)

En Australia, desarrollaron este sistema. Mediante el cual, se puede registrar y monitorear información de inventario de señales de tránsito, caminos y calles entre otros. Sus componentes son clasificación de pavimentos (PCI). Usa modelos de comportamiento de pavimento y costos de operación vehicular. Es basado en HDM (Highway Development and Management).

Usa el análisis costo-beneficio implementando una optimización heurística para maximizar beneficios a los usuarios y/o en función del activo, es decir generando un valor maximizado del activo o los activos estudiados (Mizusawa, 2009).

2.7.2.4 HPMA

En Canadá, desarrollaron esta herramienta, la aplicación para gestión de pavimentos de carreteras (HPMA) fue creada por Stantec Consulting. Se usa para registrar y monitorear información de carreteras. Sus componentes para condición

del pavimento son el índice de calidad del pavimento (Paviment Quality Index, PQI). Para el análisis económico se basa en el costo-beneficio y trabaja con algoritmos de decisión heurística (Mizusawa, 2009).

2.7.2.5 Road Matrix

También es un sistema canadiense desarrollado por la misma empresa que creó HPMA. La diferencia con el sistema anterior, es que esta se segmenta por bloques. Realizando un análisis de costo-efectividad usando criterio de decisión ingresados por el usuario. Para el análisis de condición del pavimento. Realiza IRI (Índice de Rugosidad Internacional) y PQI como indicador de condición del pavimento (Mizusawa, 2009).

2.7.2.6 StreetSaver

Para el año 1981 se crea el primer sistema desarrollado para la gestión de pavimentos en Estados Unidos por la Comisión de Transporte Metropolitano de California. (MTC-PMS, 2016).

StreetSaver es un programa diseñado para la gestión de pavimentos urbanos y otros activos. Usa PCI para evaluar la condición del pavimento. Para las actividades de mantenimiento y rehabilitación realiza un análisis costo-efectividad, una característica particular de este sistema, es que el público general puede notificar por un sitio web donde se presentan deterioros, para que estos sean tenidos en cuenta para futuros mantenimientos.

2.7.2.7 StreetWise

Es un sistema de gestión de pavimentos desarrollado por el Departamento de Transporte del Estado de Washington (WSDOT). Cuenta con unos modelos de comportamiento que pueden ser ajustables a distintas redes urbanas. Una de las particularidades de este sistema es que involucra a la comunidad en la detección de necesidades para las vías. Por ejemplo, en Seattle, los habitantes brindan información del estado de la red para la priorización de proyectos de mantenimiento o intervención.

Otra consideración importante, dentro de este sistema es que se realiza levantamiento de información año tras año para saber la condición de la red de manera que se puede proyectar y priorizar mantenimientos y/o intervenciones (Solminitac T., Echaveguren N., & Chamoro, 2018).

Diagnóstico del pavimento. Esto facilita el desarrollo de la auscultación, sin embargo, vale la pena resaltar que en la actualidad hay equipos que lo hacen por medio de programación e identificación de daños.

Un claro ejemplo en el cual se usa la programación e identificación de deterioros a partir de imágenes se encuentra en una aplicación de la Universidad Militar Nueva Granada, en la cual dos jóvenes universitarios del programa de Ingeniería en Mecatrónica desarrollaron el aplicativo para identificación de deterioros mediante interpretación de imágenes, por medio de un detallado procesamiento convirtiendo una imagen convencional tomada perpendicularmente al pavimento a una imagen con una cámara compacta o de calidad profesional que reduzca el error por aproximación, posteriormente es convertida a escala de gris, transformación logarítmica, luego filtro de color amarillo, análisis local de intensidad y posteriormente una normalización y saturación. Luego es llevada a la aplicación desarrollada donde se realiza el ingreso de datos de forma general, se escribe el número de losas de concreto (indicando número par), se crea el mapa que presenta la vía con una tabla de acuerdo con número de losas ingresadas, se carga la imagen previamente procesada y se selecciona el método de procesamiento de la imagen (alta precisión o baja precisión), luego el programa arroja por defecto el recuadro de falla detectada a partir de la imagen. Este reporte se puede obtener en PDF para mayor comodidad del usuario (Ussa Caycedo & Berrio Correa , 2012).

2.7.2.8 Medición de índice de perfil

La medición del índice de perfil se realiza con un instrumento llamado Perfilógrafo tipo California (ver la Figura 57). El cual brinda una medida de donde

el pavimento presenta irregularidad, donde tiene protuberancias o presenta alguna particularidad.



Figura 57. Perfilografo tipo California (SSI, 1962)

El índice de perfil determina la calidad del acabado en la superficie (cm/km) el IMT (Instituto Mexicano del Transporte) trabaja cumpliendo con la Normativa ASTM E 1274 (Standard Teste for Measuring Pavement Roughnes Using Profilograph) (IMTMéxico, 2020).

2.7.2.9 Medición coeficiente de fricción

En la construcción y mantenimiento de pavimentos es importante conocer el coeficiente de fricción con el que cuenta determinada vía, este coeficiente determina la adherencia entre la superficie de rodamiento y la llanta de un vehículo.

Conceptualmente el IMT menciona que el coeficiente de fricción se define como la fuerza tangencial que se desarrolla entre la banda de rodadura del neumático y la superficie del pavimento.

Es expresado por la ecuación

$$\mu = \frac{F_R}{N}$$

Ecuación 1 Coeficiente de fricción.

μ = Coeficiente de fricción, CF

F_R = Fuerza tangencial

N =Fuerza Normal al plano en que ocurre la fricción

Para realizar esta medición el equipo más usado es el equipo de rueda oblicua Mu Meter, el cual utiliza dos ruedas lisas y una central que mide la distancia las lisas cumple la función determinar la fricción entre neumático y pavimento. Esto se analiza siempre bajo la condición más crítica para lo cual este equipo debe contar con uno o dos aspersores de agua para realizar la determinación del coeficiente de fricción del pavimento en determinada vía.



Figura 58. Mu Meter para determinación de coeficiente de fricción (IMT, 2020).

En este mismo ítem se deben tener en cuenta las texturas tanto de la superficie del pavimento (microtextura y macrotextura), en la microtextura es una característica que da propiamente el agregado, mientras que la macrotextura es la característica propia del material ligante en este caso el asfalto. Estos parámetros dan la resistencia al deslizamiento.

2.7.2.9.1 Macrotextura

Para el cálculo de macrotextura se pueden usar dos métodos, el primero es el círculo de arena y la otra es la determinación profundidad media del perfil, con equipos laser.

La macrotextura se puede observar mejor con la Figura 59:

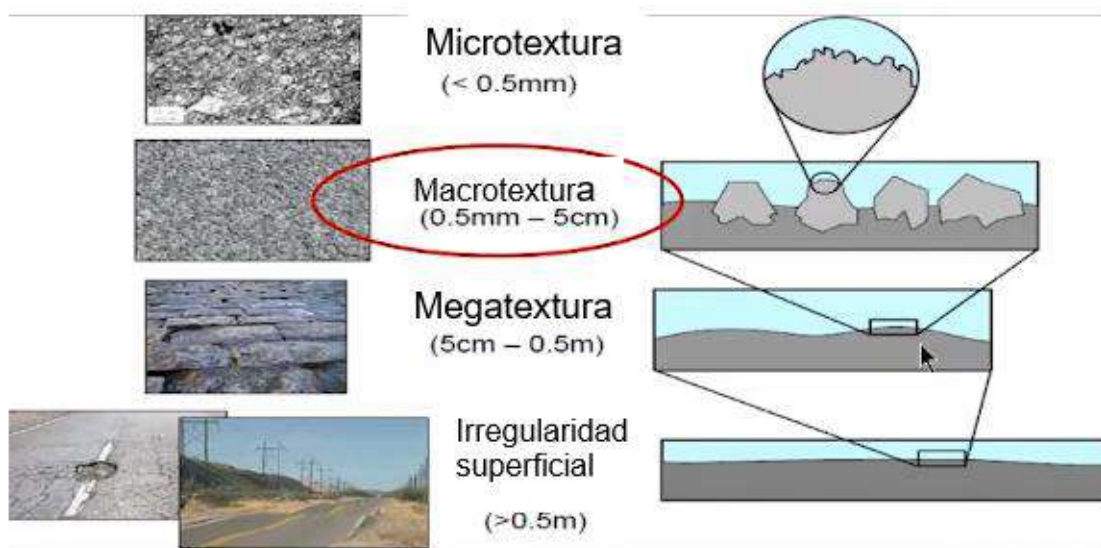


Figura 59. Escala de Macrotexturas (IMT, 2020).

Sin embargo, no se puede olvidar que es una relación neumático pavimento, entonces también es clave saber el tipo de llanta si es lisa, labrada o texturizada si genera o no mejor adherencia con el pavimento. Pero para una evaluación siempre se analiza bajo la condición crítica llanta lisa, la cual no genera una alta resistencia al deslizamiento debido a sus condiciones de superficie lisa (IMT, 2020).

Norma ASTM E 670-09 (2015) Standard Test Method for Testing Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter.

Condición	Autopistas, Corredores Carreteros, Red Básica Libre y Red Secundaria
No aceptable (pulido)	0 a 0,40
Aceptable	0,41 a 0,60
Bueno	0,61 a 0,90
No aceptable (áspero)	> 0,90

Figura 60. Criterios para coeficiente de fricción (IMT, 2020).

Otros equipos normados por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) y el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en México para mediciones de la resistencia al derrape suelen ser usados son:

- SCRIM: equipo que permite evaluar las características de adherencia de los pavimentos con la calzada mojada. Este equipo es usado frecuentemente para conocer coeficiente de fricción en sentido transversal (Euroconsult, 2012).

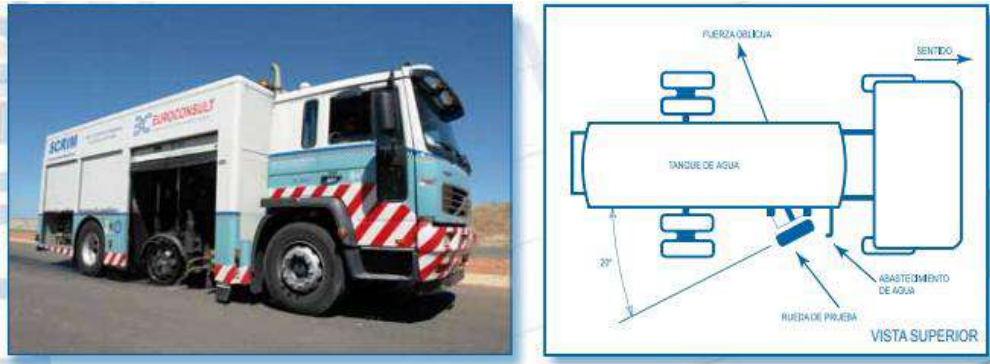


Figura 61. Equipo SCRIM (Euroconsult, 2012).

- GRIP Tester es un instrumento confiable para evaluar lugares donde ocurren regularmente accidentes, áreas conflictivas que presentan problemas con frecuencia, se suele adicionar a cualquier vehículo y funciona con cualquier computadora. Facilita la evaluación de coeficientes de fricción en carreteras y pista de aeropuertos (Griptester, 2014).



Figura 62. Equipo GripTester (Griptester, 2014).

- Péndulo Inglés: se usa para mediciones puntuales el ensayo consiste en medir la pérdida de energía y se mide el ángulo suplementario en el cual oscila el péndulo (PT107, 2002).



Figura 63. Péndulo de fricción inglés (PT107, 2002).

Nota: la norma internacional es la ASTM E274

2.7.2.10 Medición de índice de regularidad internacional (IRI), profundidad de rodera(PR) y macrotextura (MT).

A partir de un equipo perfilómetro inercial láser, el cual funciona para medir IRI, PR Y MT. Este equipo cuenta con una viga frontal en donde se ubican los láseres que se requieren para obtener la información para conocer estos parámetros. Regularmente se cuenta con cámaras que van registrando fotográficamente o por medio de video según el equipo, también cuenta con un GPS para determinar la ubicación en la cual se realiza la medición al interior se encuentra un computador el cual va registrando cada lectura del láser. Lo esencial de este equipo es que permite realizar un procesamiento de información con georreferencia y abscisado facilitando el procesamiento posterior al registro.

Índice de regularidad internacional (IRI)

En este apartado vale la pena mencionar que los valores altos presentan mayor dato en la superficie, mientras que los valores bajos se encuentran dentro de los estándares de calidad óptimos para los criterios de gestión de pavimentos.

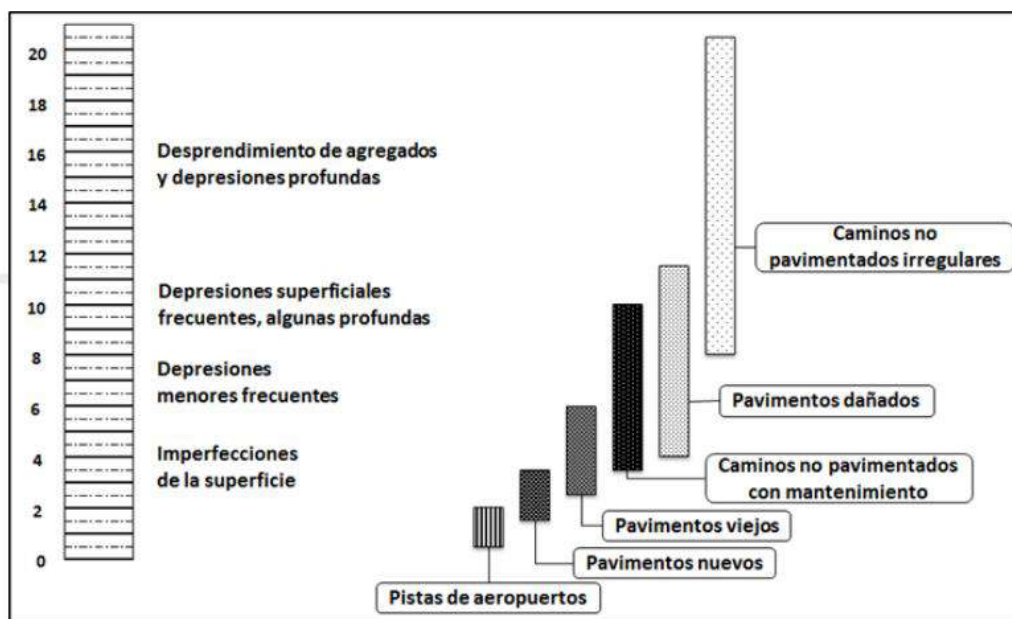


Figura 64. Escala original del Banco Mundial para el IRI (N-CSV-CAR-1-03-004/16, 2016)

También se analiza en esta norma que cuanta con distintas formas de medir, pero sin embargo se debe establecer un criterio bajo unos intervalos centro de terminados tipos de vías.

Estado	Intervalos de IRI	
	Autopistas de cuota y corredores carreteros	Red básica libre y red secundaria
Bueno	< 1,8	< 2,5
Aceptable	1,8 a 2,5	2,5 a 3,5
No Satisfactorio	> 2,5	> 3,5

Figura 65. Intervalos IRI (N-CSV-CAR-1-03-004/16, 2016)

El IRI es el parámetro más importante para la caracterización de estándares de calidad en el pavimento por lo cual, es importante tenerlo presente siempre que se requiera realizar un proceso de gestión de activos y estándares de calidad de las carreteras. No suele medirse con frecuencia en zonas urbanas, pero a continuación se hace una acotación que podría ser de utilidad para este caso en particular para ciudades o municipios que puedan realizar la medición teniendo presente la siguiente figura.

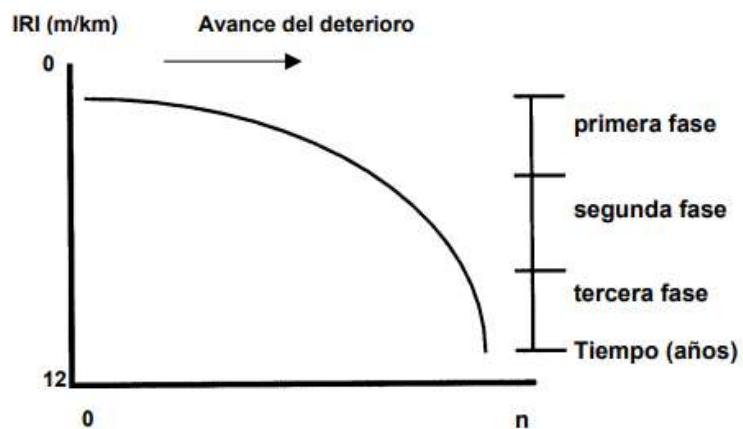


Figura 66. Grafico típico del avance del deterioro con respecto al IRI (PT108, 1998).

Equipos para medir IRI:



Figura 67. Nivel y estatal (IMT, 2020).

Dipstick



Figura 68. Equipo Dipstick para medir IRI (IMT, 2020).

Otros normados son Z-250 (ROMDAS) y Walking profilometer (ARRB). Años atrás se solía usar en Mays Ride Meter luego se convertían a valores de IRI.

Hay en la actualidad hasta aplicaciones programadas que deben ser calibradas y desde el teléfono con sistemas operativos Android, que dan una buena aproximación para mediciones de IRI. Sin embargo, estas apps no están normadas por el IMT. Es entonces donde se debe contemplar que para zonas urbanas donde no se encuentren reductores de velocidad (topes), se pueda reglamentar o hacer uso para tener una aproximación del IRI en zonas urbanas. Esto con el fin de no generar altos costos en las diferentes dependencias y así ayudar a conocer uno de los mínimos estándares de calidad de pavimentos.

2.7.3 Auscultación estructural

El objetivo de realizar una auscultación estructural, es establecer la capacidad actual de la estructura del pavimento, con el fin dar cumplimiento a los estándares de desempeño (Garnica, 2022).

La deflexión como parámetros de la capacidad estructural se considera como el concepto fundamental dentro de este apartado debido a que las ruedas llevan consigo una carga que es empujada perpendicularmente al pavimento lo cual lleva a la estructura a deflectarse y/o deformarse.

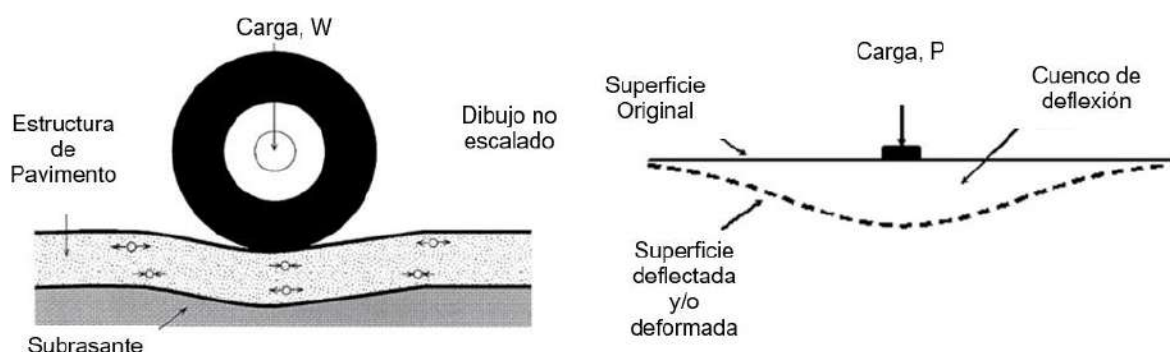


Figura 69. Concepto de deflexión (Garnica, 2022)

En México, se ha usado una prueba no destructiva y de bajo costo con relación a la modernidad, llamada Viga Benkelman, este equipo determinar la recuperación elástica del pavimento; por efecto de la aplicación de una carga de

un eje tándem de 8.2 toneladas luego se mueve y se lleva el equipo para realizar la medición (Pérez, 2022).

Para hacer uso de la viga Benkelman, se requiere tomar un tramo de 500 metros de longitud y se debe realizar cada 20 metros la prueba sobre la rodada derecha del carril analizado.



Figura 70. Viga Benkelman (Rovem Partner, s.f).

Las consideraciones para esta prueba: si y sólo si la lectura de la viga Benkelman dan valores elevados de deflexión se considera un pavimento con estructura deficiente, y en tanto este requerirá una capa de refuerzo adicional para disminuir los niveles de deflexión.

Eventualmente, se debe realizar pruebas no destructivas y para esto se usa un deflectómetro de impacto con este equipo se obtienen las deflexiones al aplicar una carga, Regularmente este equipo es un remolque en el cual presenta un plato disco, donde se aplica la carga en dirección hacia la estructura del pavimento esté a su vez genera una presión que se va ir viendo reflejada en la computadora que se encuentra en la parte superior donde se van almacenando los datos.

Este deflectómetro cuenta con geófonos de deflexión que miden el desplazamiento vertical máximo, para cada punto del pavimento evaluado, dando como resultado una cuenca de flexiones. Otra característica importante de este equipo es que su sistema de sensores también permite analizar la capacidad de resistencia del pavimento a través de deflexiones y la pendiente de la cuenta de

deflexión en donde a partir de módulos de elasticidad y espesores se indica la resistencia del pavimento.

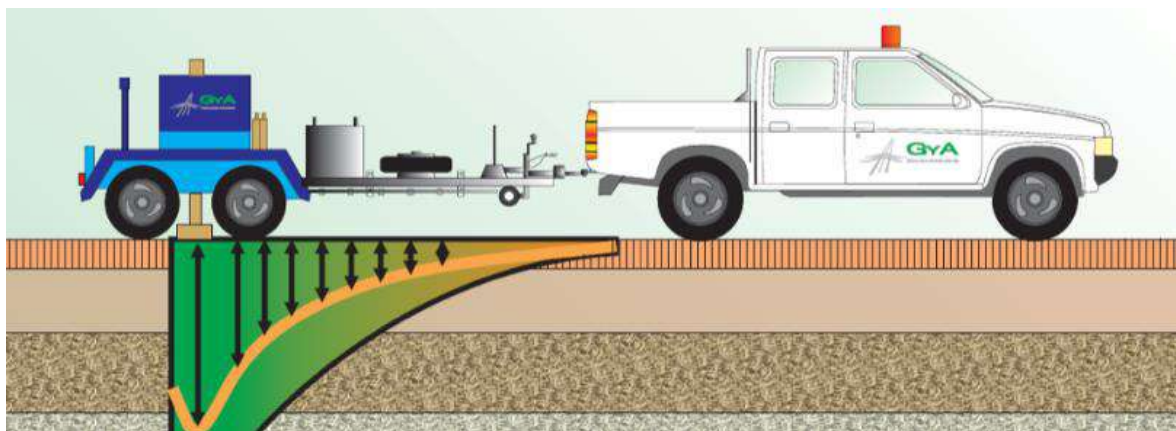


Figura 71. Deflectómetro de impacto (Interempresa, 2018).

Esta medición de evaluación estructural de pavimento es rápida en comparación con los ensayos destructivos los cuales requiere una toma de muestras y luego un detallado procedimiento en el laboratorio para su caracterización y especificación es importante en la actualizada utilizar las herramientas que permitan a los técnicos e ingenieros poder obtener muy buenos resultados al momento de realizar una prueba como esta de deflectómetro de impacto.

2.8 Evaluación de pavimentos

Para una adecuada evaluación de pavimentos es importante recopilar la mayor cantidad de información según sea el criterio de evaluación de pavimentos, puede ser a partir de características visuales con descripción empírica y a priori determinando con un criterio ingenieril una detallada lista de deterioros. O bien, se pueden usar los datos recopilados por medio de la auscultación con los diferentes equipos multifuncionales que permitan conocer las características del tramo a ser analizado (Campa, 2017).

La evaluación de un pavimento se debe analizar por tramos, estos serán definidos según las características del equipo, o la experticia del ingeniero o técnico encargado para la realización de la evaluación.

Para carreteras se definen tramos, para vialidades urbanas se dividen por calles regularmente para mayor facilidad. Sin embargo, hay quienes se centran en la idea de analizar el tramo completo, pero hay mayor posibilidad de afectar la movilidad vehicular en zonas urbanas por lo cual se hace necesario tomar tramos cortos para evitar interrumpir el tránsito.

La evaluación de pavimentos tiene como objeto determinar las condiciones de servicio, bien sea una carretera o una vía urbana, en tramos concesionados se tienen en cuenta otros criterios como, por ejemplo, la capacidad estructural de la vía, calidad de materiales con apoyo de equipos de campo para mediciones o con equipo especializado.

Las vías urbanas difieren de las carreteras por que no cuentan con un recurso que se obtiene a partir de cuotas como las carreteras, dependen sustancialmente del recurso público destinado para conservación, mantenimiento y rehabilitaciones asignadas por medio de una destinación Municipal, Estatal o Federal según sea el caso. Lo anterior, hace que se requieran evaluaciones a bajo costo y con una buena aproximación para volver a las condiciones de servicio adecuadas.

Otras consideraciones para esta evaluación, es conocer el nivel vehicular, condiciones de drenaje y una de las más importantes el clima. Pese a que hay lugares donde el clima reacciona de una manera vertiginosa afectando las propiedades de los materiales debido al gradiente térmico¹⁰.

Finalmente, toda evaluación de pavimentos tiene que dar un resultado que incremente el nivel de serviciabilidad de la vía que se analice y para lograr esto es necesario realizar mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción, según sea el dictamen de la persona o el equipo encargado de realizar la evaluación.

2.8.1 Evaluación superficial de pavimentos

La evaluación superficial suele ser por medio de inspecciones visuales, esta puede ser presencial o regularmente cuando no se tiene posibilidad de ir al lugar y

¹⁰ Gradiente Térmico: se define como la diferencia de la temperatura más alta y la temperatura más baja durante un tiempo.

se requiere una evaluación inicial de la condición del pavimento. Se puede usar Google Earth en la función Street View observando las calles por fotografías satelitales. Esta herramienta permite una buena aproximación inicial para una evaluación superficial del pavimento.

Para cualquier evaluación de pavimentos es necesario establecer un diagnóstico del pavimento (ver título 2.5) según el tipo de pavimento, será asignado un grupo de fallas para realizar el levantamiento de daños y luego finalmente realizar una evaluación bajo criterio del evaluador.

En InfoPave, una herramienta donde se puede filtrar y obtener características de carreteras en Estados Unidos permite recopilar la mayor cantidad de información por corredor donde se genera un almacenamiento de datos, en los cuales se indican las intervenciones realizadas, esta herramienta permite dar cumplimiento a un detallado proceso para posterior verificación al momento de realizar rehabilitación de determinado corredor. Actualmente en México, se cuenta con WIN una herramienta que permite conocer el tipo de tráfico y la cantidad de vehículos de una manera directa en determinadas carreteras por todo el territorio con toda esta información son modelados unos espectros de carga que funcionan muy bien para el diseño de pavimentos en la actualidad en las carreteras mexicanas.

Por lo cual es importante recopilar la mayor información dentro de una evaluación superficial se destaca para tener presente los siguientes datos:

- Diseños de pavimentos (si existen)
- Tránsito
- Clima
- Edad de construido y posibles fechas de otras intervenciones
- Controles de calidad (si existen)
- Conservación

Obtener un adecuado análisis de evaluación superficial ayuda fundamentalmente a la asignación del recurso para conservación, por medio de una determinación de rentabilidad.

2.8.2 Evaluación estructural de pavimentos

Para la evaluación estructural de pavimentos se requiere conocer el estado actual de la estructura multicapa con la que cuenta determinada vía, esto con el fin de determinar el comportamiento de la estructura capa a capa dentro de la composición de diseño de pavimento (Garnica, 2022).

Para fines prácticos la evaluación estructural ayuda a la toma decisiones en temas de conservación, al considerar esto puede o no requerir un refuerzo en alguna capa (rehabilitación), o requiere un cambio parcial o total (reconstrucción) de la estructura de pavimento.

Para esto es necesario implementar técnicas para determinar el desplazamiento vertical de las capas dentro de una estructura de pavimento, usando un deflectómetro, para medir estos desplazamientos.

Para la realización de estas mediciones en Seminario IMT México, Herramienta para la evaluación estructural de pavimentos flexibles (2020) presenta tres distintos grupos:

- Equipos de bajo rendimiento (equipos estáticos) remítase a Figura 70. Viga Benkleman (Rovem Partner, s.f)
- Equipos de manera dinámica o vibratoria
- Equipos de impacto remítase a Figura 71. Deflectómetro de impacto (Interempresa, 2018).

En cuanto a zonas urbanas regularmente se realizan estas caracterizaciones, deben presentar una falla total de la estructura, para poder llevar esto a una siguiente fase, si se cuenta con la administración y un recurso destinado para tal fin es muy factible que se analice la condición de la estructura a partir de extracción de núcleos in situ que posteriormente serían llevados a pruebas de laboratorio para determinar diferentes parámetros reglamentados por la normativa mexicana. Sin embargo, hay que recordar que los recursos para conservación y mantenimiento son muy limitados y no se pueden realizar esto en todas las zonas de un municipio o ciudad. Pero lo que sí se puede lograr es una caracterización a partir de información visual se puede analizar el comportamiento

de la estructura, no requiere mucho dinero para ninguna entidad, pero sí requiere de una persona dentro de la entidad que tenga conocimientos sobre deterioros y experiencia en conservación de vías.

2.9 Índices internacionales y métodos de evaluación de pavimentos

La AASHTO, Asociación de oficial de carreteras y transporte de Estados Unidos creó una metodología para determinar la serviciabilidad de los pavimentos, llamada PSI en la cual se especifica el grado de serviciabilidad óptimo para que una vía preste su servicio sin afectar al usuario.

La ASTM, Sociedad Estadounidense para Prueba y Materiales. Desarrolló, unos índices internacionales para conocer la condición del pavimento. Con el fin de conocer cómo se encuentra determina vía con respecto a su vida remanente¹¹. Dentro de la ASTM se desarrolló el método PCI (Índice de condición del pavimento) de fácil implementación. Tiene características exclusivas para la caracterización de pavimentos flexibles. Sin embargo, hay quienes modifican e implementan esta metodología para los dos tipos de pavimento tanto flexibles como pavimentos rígidos.

En Francia se desarrolló el método VIZIR, al igual que PCI esta metodología califica la condición superficial de pavimentos (flexibles), la forma de calificar es empírica y requiere conocimiento de los dos tipos de daños estructurales (Tipo A) y daños funcionales (Tipo B).

A continuación, se explican más a detalle los métodos nombrados anteriormente

2.9.1 Índice de serviciabilidad presente (PSI)

El PSI viene de sus siglas en Inglés de Present Service ability Index, lo que en traducción sería como el índice de servicio actual. Está basado en un sistema de clasificación anterior PSR (Present Serviceability Rating). Es decir, una clasificación de capacidad de servicio actual. La AASHTO para 1958 tenía varias

¹¹ Vida remanente: es el tiempo en que un pavimento conserva un nivel de serviciabilidad definido para su diseño bajo unas condiciones de carga y materiales previamente seleccionados. (GV, 2020)

pistas o carreteras donde realizaban pruebas para determinar diferentes criterios que aún hoy se usan en la actualidad (Pavement Interactive, s.f.). Entre muchos de esos criterios desarrollaron un sistema de calificación de 5 puntos. Lo interesante de esto es que fueron pruebas donde los panelistas o evaluadores se basaban en la dinámica de conducción del automóvil, realmente no se sabe muy bien si usaron o no un procesamiento matemático, pero lo que sí es claro es que fue algo que partió de lo empírico y posteriormente se convirtió en una aproximación para el diseño estructural de los pavimentos (Carmany, 1948).

La serviciabilidad se define como la característica óptima que requiere un pavimento para servir adecuadamente. La teoría que menciona la AASTHO 93 se refiere como índice de serviciabilidad inicial menos el final. Es decir que se parte de un valor excelente de un tramo de estudio con calificación de grado 5 siendo este el mejor y posteriormente se le debe restar el estado actual del pavimento. Los rangos varían de 0 a 5, siendo 0 el estado más deplorable de un pavimento y 5 el que presenta mejores condiciones de serviciabilidad.

Se muestra la presentación gráfica del PSI

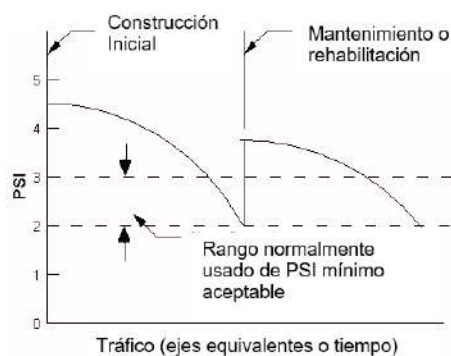


Figura 72. Representación gráfica del PSI (Carmany, 1948).

Tabla 1. Índice de serviciabilidad (PSI) (AASHTO, 1993).

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calificación
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

La ecuación se realiza mediante un modelo matemático basado en el inventario de fallas del pavimento en una de las pistas de pruebas de la AASHTO.

$$p = 5,03 - 1,91 \cdot \log [1 + S_v] - 0,01 \cdot [C_f + P]^{0,5} - 1,38 \cdot RD^2$$

Ecuación 2 PSI para Pavimentos Flexibles.

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Donde:

S_v : distancia entre el punto de partida cota 1 hasta cota 2 en la superficie (Rugosidad longitudinal).

C_f : por cada 100 pies², sumar área de fisuras en pies², grietas longitudinales y transversales en pies.

P : por cada 1000 pies², sacar área bacheada en pies².

RD : Profundidad de ahuellamiento en pulgadas (rugosidad transversal).

2.9.2 Índice de condición del pavimento (PCI)

PCI proveniente de sus siglas en inglés Paviment Condition index que traducen Índice de condición del pavimento ASTM DE6433-03 consiste en analizar la condición del pavimento a través de inspecciones en campo con registro fotográfico e implementando las tablas que se encuentran en la normativa; se hace una clasificación de severidad, cantidad de fallas encontradas. Esta normativa no requiere un procesamiento completo ni equipos. A través de esta se realiza la medición de la condición del pavimento de forma indirecta.

Esta metodología es una de las más completas para la clasificación objetiva de pavimentos. En la cual, se establece una escala de valores que inicia en cero

donde se encuentra un pavimento fallado y alcanza el valor de cien para un pavimento en excelentes condiciones.

2.9.2.1 Grado de condición del pavimento

Es el grado de clasificación según el valor PCI obtenido, este va relacionado con la condición del pavimento a la cual se le asigna un respectivo rango de valores. Se muestra la representación.

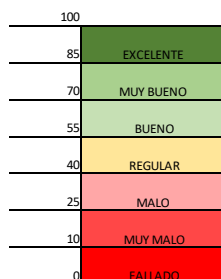


Figura 73. Clasificación del índice de condición del pavimento (PCI) (Sanabria, 2023).

Nota: tomado como referencia de ASTM DE6433-03 elaboración de figura: Propia

2.9.2.2 Fallas del pavimento

Indican deterioros del pavimento causado por el tránsito, factores climatológicos y deficiencias estructurales. Se describen a detalle en este documento en el apartado 2.5.1 con sus respectivos niveles de severidad.

2.9.2.3 Unidad de muestra

Es la división de un tramo o sección de pavimento que tiene entregando un área considerable por la normativa entre ($225 \text{ m}^2 \pm 90 \text{ m}^2$), sin embargo, se puede ajustar según el tipo de muestreo y la magnitud del estudio.

2.9.2.4 Sección de pavimento

Es un área de pavimento continua de construcción y/o mantenimiento, que cuenta con un historial de intervención, y presenta una condición uniforme.

2.9.2.5 Muestra al azar

Se puede realizar una muestra aleatoriamente partiendo de una unidad de muestra de selección de pavimento, haciendo uso de numeración diferente o

evaluador de condición de pavimentos superficiales. Con bastante practicidad para quien lo realice.

Esta metodología la desarrollan con la idea de ajustarse y equilibrar los costos que requieren sobrellevar una gestión de pavimento, por lo cual piensan que para balancear los altos costos que requiere realizar un procedimiento de evaluación es importante realizar evaluaciones que cuente con las facilidades para administrar de una mejor manera como se puede aportar a la gestión de pavimentos. Y para esto es necesario contar con un criterio desarrollado por la experiencia de un personal idóneo con el cual se pueda realizar establecer prioridades de ejecución de los proyectos para la conservación de los pavimentos en zonas rurales o urbanas (PASER Manual, 2002).

Eventualmente el sistema de evaluación de esta metodología es bastante sencillo y conviene en este punto mostrar la Figura 75.

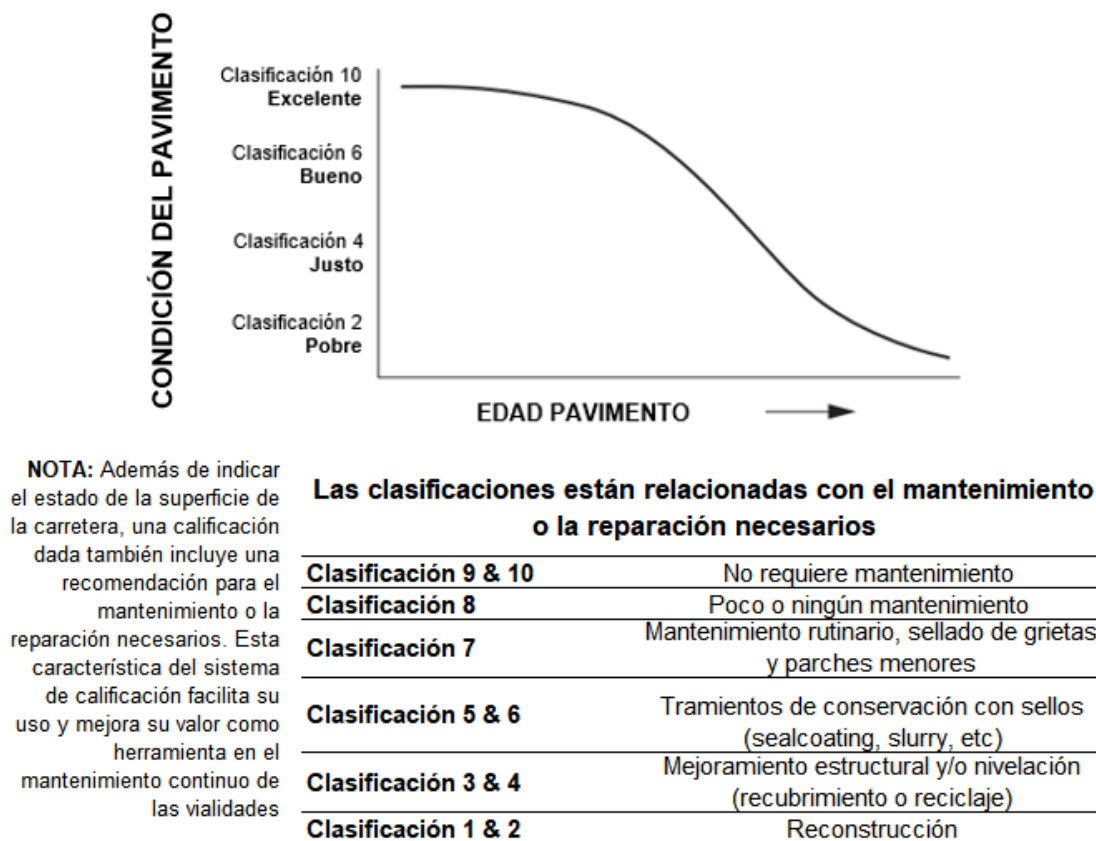


Figura 75. Condición del pavimento por metodología PASER (PASER Manual, 2002).

Nota: va de 1 a 10, siendo el 1 mas bajo un pavimento fallado y 10 un pavimento nuevo.

El manual detalla la clasificación del sistema bajo la Tabla 2

Tabla 2. Tabla para análisis de la metodología PASER (PASER Manual, 2002).

CLASIFICACIÓN	OBSERVACIÓN VISUAL	ESTADO GENERAL/ MEDIDA DE TRATAMIENTO
10 EXCELENTE	Ninguno	Nueva construcción
9 EXCELENTE	Ninguno	Superposición reciente. Como nuevo
8 MUY BUENO	Sin grietas longitudinales excepto reflejo de juntas de pavimento. Grietas trasnversales ocasionales muy espaciadas (1m o mas). Todas las grietas selladas o abiertas menos de 5mm.	Sealcoat* reciente o nueva mezcla en frío. Requiere poco o ningún mantenimiento.
7 BUENO	La superficie presenta desgaste por tráfico. Grietas longitudinales (abiertas 5mm) por reflexion o juntas de pavimentos. Grietas transversales (abiertas 5mm) espaciadas a 25cm o mas distancia, grietas selladas moderadamente, parcheo ocasional en buen estado.	Primeros indicios de envejecimiento. Mantener con sello las grietas. Mantenimiento rutinario.
6 BUENO	Presenta ligera pérdida de finos moderadamente y desgaste por tráfico. Grietas longitudinales (abiertas entre 5mm a 13mm) algunas espaciadas menos de 25cm, Primera señal de agrietamiento en bloque. Puede encontrarse pulimiento. Parchep ocasional en buen estado.	Muestra signos de envejecimiento. Buen estado estructural. Se podría prolongar la vida útil con sealcoat*.
5 JUSTO	Descascaramiento moderado a severo (pérdida de agregado fino y grueso). Grietas longitudinales y Grietas transversales (abiertas 13mm). Primeros signos de grietas longitudinales cerca del borde del pavimento. Agrietamiento en bloque hasta un 50% de la superficie. Algunos parches o acuíñamiento de bordes en buenas condiciones.	Envejecimiento superficial. Buen estado estructural. Necesita una capa de sellado o una capa fina no estructural (menos de 3cm)
4 JUSTO	Descascaramiento severo de la superficie. Múltiples fisuras longitudinales y transversales con ligero desprendimiento. Agrietamiento longitudinal en la trayectoria de la rueda. Agrietamiento del bloque (más del 50% de la superficie). Parcheo en regular estado. Roderas deformaciones leves (13mm o menos).	Envejecimiento significativo y primeros signos de necesidad de fortalecimiento del pavimento. Se recomienda una superposición estructural (de 5cm o mas)
3 POBRE	Grietas longitudinales y transversales estrechamente espaciadas que a menudo muestran descaramiento y erosion de grietas. Agrietamiento severo en bloque. Algunas grietas de cocodrillo (menos del 25% de la superficie). Parches en regular a mal estado. Roderas y Ahuellamiento moderado (2.5cm a 5cm de profundidad). Baches.	Necesita parches y reparacion antes de una superposición importante. El fresado y la eliminación del deterioro prolongan la vida útil del recubrimiento.
2 MUY POBRE	Piel de cocodrillo (más del 25% de la superficie). Roderas y ahuellamiento severo. (más de 5cm). Amplio parcheo en mal estado. Baches.	Deterioro severo. Necesita reconstrucción con reparacion extensa de la base. La pulverizacion del pavimento viejo es efectiva.
1 FALLADO	Perdida excesiva de la integridad de la superficie de pavimento	Fallido. Necesita reconstruccion total

Nota: Uso de referencia del Paser Manual con traducción y adaptación por Ing. Nicolas Sanabria.

Tabla 3. Formato de inspección PASER .

 METODO PASER INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE Formato propuesto por Ing. Nicolas Sanabria																	Esquema General del tramo de estudio:
Nombre de la via: _____														Abscisa Inicial: _____			
Ciudad: _____														Abscisa Final: _____			
Ejecutor(es): _____														Area(m²): _____			
Fecha: _____																	
TIPO FALLA (T.F) 1. Roderas, ahuellamiento y surcos severo 2. Roderas, ahuellamiento y surcos moderadas 3. Grietas trasnsersales 4. Grietas de reflexión 5. Grietas de desplazamiento 6. Grietas longitudinales 7. Grietas de bloque 8. Piel de cocodrilo 9. Parches y baches moderados 10. Baches severos														CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10. Excelente			
LEVANTAMIENTO DE FALLAS PRESENTES Y SU CALIFICACIÓN																	
N° DE REFERENCIA	GRÁFICO	T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE AREA	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho(m)	A (m²)		
Sumatoria de T.F por calificación																	
Total																	

Adaptación por Ing. Nicolas Sanabria.

2.9.4 Metodología VIZIR

VIZIR es una creación francesa por Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, lo que en español sería como Laboratorio central de Puentes y Camino. Inicialmente tuvo aplicación exclusiva en Francia, posteriormente se fue expandiendo por algunos países de África y Asia. VIZIR es un sistema de calificación para determinar y cuantificar las condiciones del pavimento de manera visual (TRB, 2010).

Esta metodología VIZIR tiene dos grandes grupos de fallas: A) estructurales y B) funcionales. Las de tipo A, pueden estar asociadas a la condición de la estructura del pavimento, o simplemente a la carpeta superficial asfáltica. Mientras que las de tipo B, suelen estar asociadas a deficiencia en sus proceso constructivo y deterioros locales debido a factores como el tránsito, clima entre otros (Guaman Padilla & Caldero Cordonez, 2012).

Al igual que en las metodologías vistas anteriormente, en esta metodología VIZIR, es necesario realizar identificación por tramos y secciones con un respectivo inventario de fallas; el cual debe ir diligenciado en un formato con cada falla.

La clasificación VIZIR va de 1 a 7 siendo 7 el valor mas deficiente y 1 el bueno. Se muestra el sistema de calificación VIZIR.

Tabla 4. Calificación y condición del pavimento de la metodología VIZIR (INVIAS, 2008).

Clasificación	Condición del pavimento
Clasificación 1 y 2	Bueno
Clasificación 3 y 4	Regular
Clasificación 5, 6 y 7	Deficiente

Nota: cuadro recreado por Ing. Nicolas Sanabria.

Guamán Padilla & Caldero Cordonez (2012) hacen referencia en su documento Estudio de las causas del deterioro prematuro de la estructura del pavimento asfáltico citan el Manual de Evaluación de Pavimentos de la Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de tecnología de la construcción. Al

ing. Gustavo Corredor M. (2009) el cual desarrolla un cuadro de fallas que deben ser tenidas en cuenta al momento de realizar la evaluación por la metodología VIZIR.

Tabla 5. Fallas dentro de la metodología VIZIR (Cerón, 2006).

FALLA N°	NOMBRE DE LA FALLA	UNIDAD DE MEDIDA
1	Grieta Piel De Cocodrilo	m ²
2	Exudación De Asfalto	m ²
3	Grietas De Contracción (BLOQUE)	m ²
4	Elevaciones-Hundimiento	m ²
5	Corrugaciones	m ²
6	Depresiones	m ²
7	Grietas De Borde	m ²
8	Grietas De Reflexión De Juntas	m ²
9	Desnivel Calzada-Hombrillo	m ²
10	Grietas Longitudinales Y Transversales	m
11	Baches Y Zanjas Reparadas	m ²
12	Agregados Pulidos	m ²
13	Huecos	N°
14	Cruece De Rieles	m ²
15	Ahuellamiento	m ²
16	Deformación Por Empuje	m ²
17	Grietas Deslizamiento	m ²
18	Hinchamiento	m ²
19	Disgregación Y Desintegración	m ²

En general, los daños de tipo B, se puede proceder a rehabilitación de manera rápida no genera altos costos, mientras que los tipo A regularmente requieren otro de intervención por lo cual es necesario considerar materiales presentes en la estructura, tránsito, clima y un caso particular de capacidad portante de la estructura multicapa presente en el diseño de pavimento. Esto indica que daños Tipo A requieren una atención particular y de mas alto costo que los de Tipo B (Ceron, 2006).

2.9.4.1 Determinación del Índice de deterioro superficial “Is”

El Instituto Nacional de Vías (INVIAS), en su guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras (2008), aplica el procedimiento de la metodología VIZIR de la siguiente forma:

1. Determinar el índice de fisuración (If)

Depende de gravedad y extensión de las fisuras

2. Determinar el índice de deformación (Id)

Depende de gravedad y extensión de las deformaciones de origen estructural

3. Determinar la combinación (If) e (Id)

Da el primer acercamiento al índice de calificación de determinada calzada, este posteriormente debe ser corregido en función de la extensión y calidad del bacheo.

4. Finalmente se obtiene el Índice de deterioro superficial “Is”

Dando valores entre 1 y 7, pero hay que tener presente que la valoración de fallas Tipo A, no determina un criterio suficiente para determinar que acciones a de ser requeridas para su verificación y rehabilitación.

Tabla 6. Nivel de gravedad del deterioro Tipo A (INVIAS, 2008).

DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD		
	1	2	3
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante.	Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o ahuellamientos.	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios.
	Flecha < 20 mm	20 mm ≤ Flecha ≤ 40 mm	Flecha > 40 mm
Grietas longitudinales por fatiga	Fisuras finas en la banda de rodamiento	Fisuras abiertas y a menudo ramificadas	Fisuras muy ramificadas y/o muy abiertas (grietas). Bordes de fisuras ocasionalmente degradados
Piel de Cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas grandes (>500 mm) con fisuración fina, sin pérdida de materiales	Mallas más densas (<500 mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales
Bacheos y parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros del tipo B	Intervenciones ligadas a deterioros tipo A	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación	Ocurrencia de fallas en la zonas reparadas

Tabla 7. Nivel de gravedad deterioros tipo B – Parte I (INVIAS, 2008).

DETERIORO	NIVELES DE GRAVEDAD		
	1	2	3
Grieta longitudinal de junta de construcción	Fina y única	Ancha (10 mm o más) sin desprendimiento Fina ramificada	Ancha con desprendimientos o ramificada
Grietas de contracción térmica	Fisuras finas	Anchas sin desprendimientos, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas	Ancha con desprendimientos
Grietas parabólicas	Fisuras finas	Anchas sin desprendimientos	Ancha con desprendimientos
Grietas de borde	Fisuras finas	Anchas sin	Ancha con

Tabla 8. Nivel de gravedad deterioros tipo B – Parte II (INVIAS, 2008).

DETERIORO		NIVELES DE GRAVEDAD				
		1	2		3	
			desprendimientos		desprendimientos	
Abultamientos		F < 20 mm	20 mm ≤ F ≤ 40 mm		F > 40 mm	
Ojos de pescado	Cantidad	< 5	5 a 10		> 10	5 a 10
(por cada 100 metros)	Diámetro (mm)	≤ 300	≤ 300	≤ 1000	≤ 300	≤ 1000
Desprendimientos:		Pérdidas aisladas	Perdidas continuas		Pérdidas generalizadas y muy marcadas	
Pérdida de película de ligante						
Pérdida de agregados						
Descascaramiento	Prof. (mm)	≤ 25	≤ 25	> 25	> 25	
	Área (m²)	≤ 0.8	> 0.8	≤ 0.8	> 0.8	
Pulimiento de agregados		No se definen niveles de gravedad				
Exudación		Puntual	Continua sobre la banda de rodamiento		Continua y marcada	
Afloramientos: de mortero y de agua		Localizados y apenas perceptibles	Intensos		Muy intensos	
Desintegración de los bordes del pavimentos		inicio de la desintegración	La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más		Erosión extrema que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico	
Escalonamiento entre calzada y berma		Desnivel de 10 a 50 mm	Desnivel entre 50 y 100 mm		Desnivel superior a 100 mm	
Erosión de las bermas		Erosión incipiente	Erosión pronunciada		La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y seguridad de los usuarios	

Se presenta un formato de elaboración propia en el cual se hace uso de la metodología VIZIR

Tabla 9. Formato para Inspección de Metodología VIZIR (Sanabria, 2023) (INVIAS, 2008).

METODO VIZIR INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE Formato propuesto por Ing. Nicolas Sanabria				Esquema General del tramo de estudio:	
Nombre de la vía: _____				Abscisa Inicial: _____	
Ciudad: _____				Abscisa Final: _____	
Ejecutor(es): _____				Area(m²): _____	
Fecha: _____					

TIPO A				TIPO B				CALIFICACIÓN VIZIR																																																																
DETERIORO <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">NIVEL DE SEVERIDAD</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Abultamiento y otras deformaciones estructurales</td> <td>Deformaciones puntuales. Hundimientos localizados o abultamientos.</td> </tr> <tr> <td>Flacha < 20 mm</td> <td>20 mm ≤ Flacha ≤ 40 mm</td> </tr> <tr> <td>Cracks longitudinales por fatiga</td> <td>Figuras finas en la banda de rodadura</td> </tr> <tr> <td>Flaqueo de Coque</td> <td>Flaqueo de Coque</td> </tr> <tr> <td>Bachos y parches</td> <td>Intervención de superficie ligada a deterioros tipo A</td> </tr> </tbody> </table>				NIVEL DE SEVERIDAD		1	2	Abultamiento y otras deformaciones estructurales	Deformaciones puntuales. Hundimientos localizados o abultamientos.	Flacha < 20 mm	20 mm ≤ Flacha ≤ 40 mm	Cracks longitudinales por fatiga	Figuras finas en la banda de rodadura	Flaqueo de Coque	Flaqueo de Coque	Bachos y parches	Intervención de superficie ligada a deterioros tipo A	DETERIORO <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">NIVELES DE GRAVEDAD</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Abultamientos</td> <td colspan="2">desprendimientos</td> </tr> <tr> <td>Ojos de pescado</td> <td>Características</td> <td>Características</td> </tr> <tr> <td>Desprendimientos</td> <td>Pérdidas de agregado</td> <td>Pérdidas continuas</td> </tr> <tr> <td>Pérdida de película de ligante</td> <td>Pérdida de agregado</td> <td>Pérdida de agregado</td> </tr> <tr> <td>Descascaramiento</td> <td>Área (m²)</td> <td>Área (m²)</td> </tr> <tr> <td>Pulimento de agregados</td> <td colspan="2">No se definen niveles de gravedad</td> </tr> <tr> <td>Exudación</td> <td>Puntual</td> <td>Continúa sobre la banda de rodadura</td> </tr> <tr> <td>Alforismos de mortero y de agua</td> <td>Localizados y apenas perceptibles</td> <td>Muy intensos</td> </tr> <tr> <td>Desintegración de los bordes del pavimento</td> <td>Inicio de la desintegración</td> <td>Erosión extrema que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico</td> </tr> <tr> <td>Escalonamiento entre calzada y berma</td> <td>Desnivel de 10 a 50 mm</td> <td>Desnivel superior a 100 mm</td> </tr> <tr> <td>Erosión de las bermas</td> <td>Erosión incipiente</td> <td>Erosión pronunciada</td> </tr> </tbody> </table>				NIVELES DE GRAVEDAD			1	2	3	Abultamientos	desprendimientos		Ojos de pescado	Características	Características	Desprendimientos	Pérdidas de agregado	Pérdidas continuas	Pérdida de película de ligante	Pérdida de agregado	Pérdida de agregado	Descascaramiento	Área (m²)	Área (m²)	Pulimento de agregados	No se definen niveles de gravedad		Exudación	Puntual	Continúa sobre la banda de rodadura	Alforismos de mortero y de agua	Localizados y apenas perceptibles	Muy intensos	Desintegración de los bordes del pavimento	Inicio de la desintegración	Erosión extrema que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico	Escalonamiento entre calzada y berma	Desnivel de 10 a 50 mm	Desnivel superior a 100 mm	Erosión de las bermas	Erosión incipiente	Erosión pronunciada	CLASIFICACIÓN <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Clasificación</th> <th>Condición del pavimento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Clasificación 1 y 2</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>Clasificación 3 y 4</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>Clasificación 5, 6 y 7</td> <td>Deficiente</td> </tr> </tbody> </table>				Clasificación	Condición del pavimento	Clasificación 1 y 2	Bueno	Clasificación 3 y 4	Regular	Clasificación 5, 6 y 7	Deficiente
NIVEL DE SEVERIDAD																																																																								
1	2																																																																							
Abultamiento y otras deformaciones estructurales	Deformaciones puntuales. Hundimientos localizados o abultamientos.																																																																							
Flacha < 20 mm	20 mm ≤ Flacha ≤ 40 mm																																																																							
Cracks longitudinales por fatiga	Figuras finas en la banda de rodadura																																																																							
Flaqueo de Coque	Flaqueo de Coque																																																																							
Bachos y parches	Intervención de superficie ligada a deterioros tipo A																																																																							
NIVELES DE GRAVEDAD																																																																								
1	2	3																																																																						
Abultamientos	desprendimientos																																																																							
Ojos de pescado	Características	Características																																																																						
Desprendimientos	Pérdidas de agregado	Pérdidas continuas																																																																						
Pérdida de película de ligante	Pérdida de agregado	Pérdida de agregado																																																																						
Descascaramiento	Área (m²)	Área (m²)																																																																						
Pulimento de agregados	No se definen niveles de gravedad																																																																							
Exudación	Puntual	Continúa sobre la banda de rodadura																																																																						
Alforismos de mortero y de agua	Localizados y apenas perceptibles	Muy intensos																																																																						
Desintegración de los bordes del pavimento	Inicio de la desintegración	Erosión extrema que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico																																																																						
Escalonamiento entre calzada y berma	Desnivel de 10 a 50 mm	Desnivel superior a 100 mm																																																																						
Erosión de las bermas	Erosión incipiente	Erosión pronunciada																																																																						
Clasificación	Condición del pavimento																																																																							
Clasificación 1 y 2	Bueno																																																																							
Clasificación 3 y 4	Regular																																																																							
Clasificación 5, 6 y 7	Deficiente																																																																							

LEVANTAMIENTO DE FALLAS PRESENTES Y SU CALIFICACIÓN										
N° DE REFERENCIA	GRÁFICO	TIPO DE DAÑO	AREA (M²)	FACTORES QUE INFLUYEN			ÍNDICES			CALIFICACIÓN
				GRAVEDAD	EXTENSIÓN (%)	A (m²)	If	id	Is	

2.10 Mantenimientos

En esta sección se presenta un de los más importantes ítems en cuanto a conservación de vías se refiere, para lo cual es necesario explicar detalladamente en consiste el mantenimiento de pavimentos, cual es el orden que deben llevar estos mantenimientos y como se podrá mejorar la conservación de vías urbanas para reducir costo de manutención de las mismas. Mejorando así la movilidad y el tránsito en municipios y ciudades.

2.10.1 Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario es el mantenimiento que se realiza con mayor frecuencia dentro de los mantenimientos que debe contar una vía, por medio de este, se debe dar cumplimiento a actividades de limpieza de los elementos que funcionen como drenaje en la vía dentro de los cuales se destacan la limpieza de pozos y sumideros. Otra actividad que requiere un mantenimiento rutinario es el sello de fisuras, este ayuda a mantener las condiciones estructurales en óptimas condiciones, evitando el ingreso de agua en la estructura de pavimento.

La Normativa para la Infraestructura del Transporte, cuenta con un apartado de conservación en el cual se destacan los trabajos de conservación rutinaria y este tiene diferentes subsecciones dentro de los cuales se descansan y se nombra la normativa más actualizada de la misma (Ver anexo 10.1)

2.10.2 Mantenimiento preventivo

El principal objeto de un mantenimiento preventivo es prevenir, evitar o reducir las consecuencias que puedan afectar la integridad del pavimento, bien sea rígido o flexible se debe tener especial cuidado para prevenir una prominente evolución de los daños superficiales. Para esto es el mantenimiento, garantiza la vida útil de un pavimento antes de que este requiera otra atención más localizada dentro de la vía (MP Software, 2022).

En la actualidad, no muchas por no decir que todas las ciudades y municipios no suelen realizar mucho este tipo de mantenimientos debido a que usan el decir de que no hay recursos suficientes para realizar estos mantenimientos. Claramente prefieren tener que afrontar altos costos en rehabilitaciones, mejoramientos y reconstrucciones, que realizar constantemente mantenimiento preventivo para evitar que fallen los pavimentos y que se mantenga de manera constante la serviciabilidad.

En consecuencia, si no se tienen mantenimientos, ni rutinarios ni preventivos. Las vialidades van a pasar de un deterioro lento, a un deterioro mucho más rápido que puede llegar a afectar la integridad física de los usuarios. Por eso, es importante que se atienda oportunamente una vía y se mantenga

constantemente una actividad de prevención y conservación rutinaria de las vías en zonas urbanas, especialmente en las vías con mayor demanda operacional por tránsito vehicular.

2.10.3 Mantenimiento periódico

El mantenimiento periódico es conjunto de actividades encaminadas a restablecer las características de la superficie de pavimento en la cual se descartan parámetros como uniformidad, textura, resistencia y en particular obras de drenaje que puedan llegar a presentar daños en un camino. Generalmente los periodos varían con respecto al tipo de vía y uso. Pero suelen oscilar entre 4 o 5 años en vías con mantenimiento rutinario (ENCAP, 2022).

Entre tanto, los trabajos de mantenimiento periódico están dirigidos a restituir las características de servicio, incrementando la capacidad estructural en algunos casos.

La Normativa para la Infraestructura del Transporte, cuenta con un apartado de conservación en el cual se destacan los trabajos de conservación periódica y este tiene diferentes subsecciones dentro de los cuales se descansan y se nombra la normativa más actualizada de la misma (ver anexo 10.2).

2.10.4 Mantenimiento de emergencia

El mantenimiento de emergencia, como su nombre lo indica ocurre solo en estos casos, para lo cual debe existir una recuperación inmediata y transitoria de determinada vía, en carreteras se refiere principalmente a desplazamientos o deslizamientos de tierra en una vía bajo los cuales debe haber maquinaria pesada casi minutos horas después del suceso con el fin de recuperar parcialmente el flujo transitorio vehicular.

En carreteras principalmente son derrumbes y reconstrucción de obras de drenaje. En las zonas urbanas se realiza mantenimiento de emergencia cuando hay daños en la tubería hidrosanitaria, de gas o en algunos casos de cableado eléctrico. Se realizan intervenciones no previstas en las vías por parte de diferentes entes eléctricos e hídricos-sanitarios entre otros. En donde van realizan excavaciones sobre las vías y posteriormente se debe atender una emergencia,

luego se debe atender de la misma forma la superficie de la vía con un parcheo que cumpla con las indicaciones y espesores con los que cuenta la vía. Sin embargo, estos mantenimientos suelen ser el inicio de las fallas estructurales de las vías, por que la persona que realiza instalaciones eléctricas sabe muy bien de su tema, pero muy pocas veces se reúnen los diferentes entes a conocer las prácticas y los métodos reglamentados para la intervención de los pavimentos en general. Es decir, se atiende una emergencia, pero se inicia deterioro a futuro debido a que no realizan adecuadamente los procedimientos para conservación de vías como se debería hacer.

2.10.5 Trabajos de reconstrucción

Los trabajos de reconstrucción consisten en una recuperación localizada, parcial o total en la cual se intervienen de distintas formas, en unas se hace demoliciones y en otras extracciones de bases y subbase. Y luego es reconstruido el pavimento capa a capa mejorando la consistencia estructural.

La Normativa para la Infraestructura del Transporte, cuenta con un apartado de conservación en el cual se destacan los trabajos de reconstrucción y este tiene diferentes subsecciones dentro de los cuales se descansan y se nombra la normativa más actualizada de la misma (Ver anexo 10.3).

2.10.6 Responsabilidad por la gestión de pavimento (Mantenimiento)

Con regularidad en México, se cumple un orden jerárquico que va desde las carreteras nacional de carácter federal, carreteras nacionales de carácter estatal y ya entre ciudades y municipios con una correspondencia para responsabilidad de gestión de los pavimentos se destaca los mismos municipios son los responsables de realizar “la conservación” en ciudades y municipios.

Es importante destacar en este punto y comentar que la movilidad, el costo de vía de los usuarios se ve afectado al no intervenir responsablemente uno a uno del mantenimiento explicados anteriormente. Otro punto importante a destacar es que los planes de desarrollo y de gobierno cambian cada cierto tiempo dejando brechas considerables entre un gobierno y otro, especialmente en cuanto a conservación se refiere.

Sin embargo, se pone a consideración del lector cada uno de los apartados que se describen a continuación; esto debido a que todas las vías funcionan de forma distinta y tienen una destinación diferente de recursos para su manutención debido a la importante jerárquica de la vía a la cual le sea asignada una partida económica para mejoramiento.

Principales responsabilidades:

1. Programación anual (Acorde con el presupuesto asignado).
2. Verificar que todos los recursos asignados se realicen de manera jerárquica debido al tipo de vía al que corresponda, atendiendo los corredores de mayor movilidad y tránsito dentro de las ciudades o municipios.
3. Asignar tiempo, ajustar programa de acuerdo a la actividad correspondiente, será responsabilidad de la dirección de conservación autorizar los trabajos de importancia dentro del plan correspondiente.
4. La municipalidad y sus distintas dependencias como dirección de conservación y obras públicas deberán garantizar la calidad de los materiales y desarrollo de las actividades para el mantenimiento.

2.10.7 Falencias de la conservación actual

La conservación es una valiosa forma de alargar la vida útil de las vías, pero las municipalidades y las grandes ciudades, aún hoy no le dan la importancia que corresponde, debido a que no le son asignados recursos suficientes para atender los mantenimientos preventivos antes de que evolucionen los daños en las vías.

Tanto en México como en Latinoamérica en general se han intentado manejar de una mejor forma estos recursos destinados a conservación, sin lugar a dudas no ha sido una tarea fácil, primero porque cada vez la producción de autos, buses¹² y camiones¹³ ha aumentado sustancialmente en todas partes del mundo esto hace que los pavimentos sean propensos a recibir más y más vehículos todos los días. Esto trae consigo una mayor demanda de las vías en ciudades y municipios. Donde incrementan los usuarios y los vehículos, pero no implementa el rubro económico de conservación.

Existe un grave problema en la conservación y en particular de todos los países donde se realiza designación de recursos para manutención y conservación de las vías. Y es que, el recurso es asignado gobierno tras gobierno, y la conservación para que sea una herramienta funcional debe ser constante para lo cual se debería considerar y garantizar una continuidad en las actividades que quedan pendientes es los gobiernos anteriores hablando netamente de conservación de vías en zonas urbanas de ciudades y municipios.

El recurso no es suficiente para realizar mantenimientos rutinarios y mucho menos preventivos, pero si se le cambia la idea y/o mentalidad de la participación política. Se le podría sacar provecho, no solo para mejorar el confort de los usuarios al contar con estos mantenimientos preventivos y rutinarios, siendo estos los que generan un menor costo operativo dentro de los mantenimientos.

En particular, es claro que realizar una rehabilitación o una reconstrucción en una vía genera altos costos para el gobierno en turno, pero si estos entes de

¹² Buses: así se llama en Colombia al autobus o camion.

¹³ Camiones: son vehículos de carga, no hacen referencia a la terminología de camion en México.

participación política entendieran que es importante ser constante realizar mantenimientos para mantener la vida útil de determinada vía, se estaría ahorrando un dinero considerable al no tener que rehabilitar o reconstruir una vía, lo cual ayudaría al mismo gobierno en turno, porque no tendrían que designar recursos muy altos para reconstrucción o rehabilitación, sino que podrían incrementar el recurso de mantenimientos preventivos y rutinarios, para alargar la vida útil de los pavimento y garantizando una condición de serviciabilidad y confort para los usuarios.

Cambiar no es una tarea fácil, se lleva muchos años y requiere de personas con criterio y conocimiento en el tema tanto político, y comprensión en cuanto a temas de los procesos de conservación de vías en ciudades y municipios.

2.11 Técnicas de conservación

Se mencionan las técnicas de conservación en México en el apartado 10.6 de la sección de anexos.

3 ENTORNO (MARCO FÍSICO)

3.1 Localización

La localización de este proyecto es al norte de México, en el Estado de Chihuahua, más exactamente en la ciudad de Chihuahua capital. Chihuahua se ha caracterizado por su cercanía a Estados Unidos y ha adaptado muchas cosas lo suficientemente adheridas a la cultura americana. En especial las características de sus vías, en la cual se puede aprovechar convenientemente la vasta extensión del territorio de Chihuahua.

3.1.1 Macrolocalización

Para entender el posicionamiento del territorio mexicano y en particular del estado de Chihuahua conviene presentar gráficamente por medio de los mapas la macro localización.



Figura 76. Mapa de macrolocalización – México y sus estados.

Nota: Macrolocalización de México y sus estados procesada en ArcMap realizada por Ing.Nicolas Sanabria

Éste, se caracteriza por su extensión en terreno con respecto a los estados presentes en México. Cuenta con 247460 km² lo cual representa un 12.6% del país (INEGI, 2020). Se ha destacado por su gran zona desértica y por su cercanía con Estados Unidos.

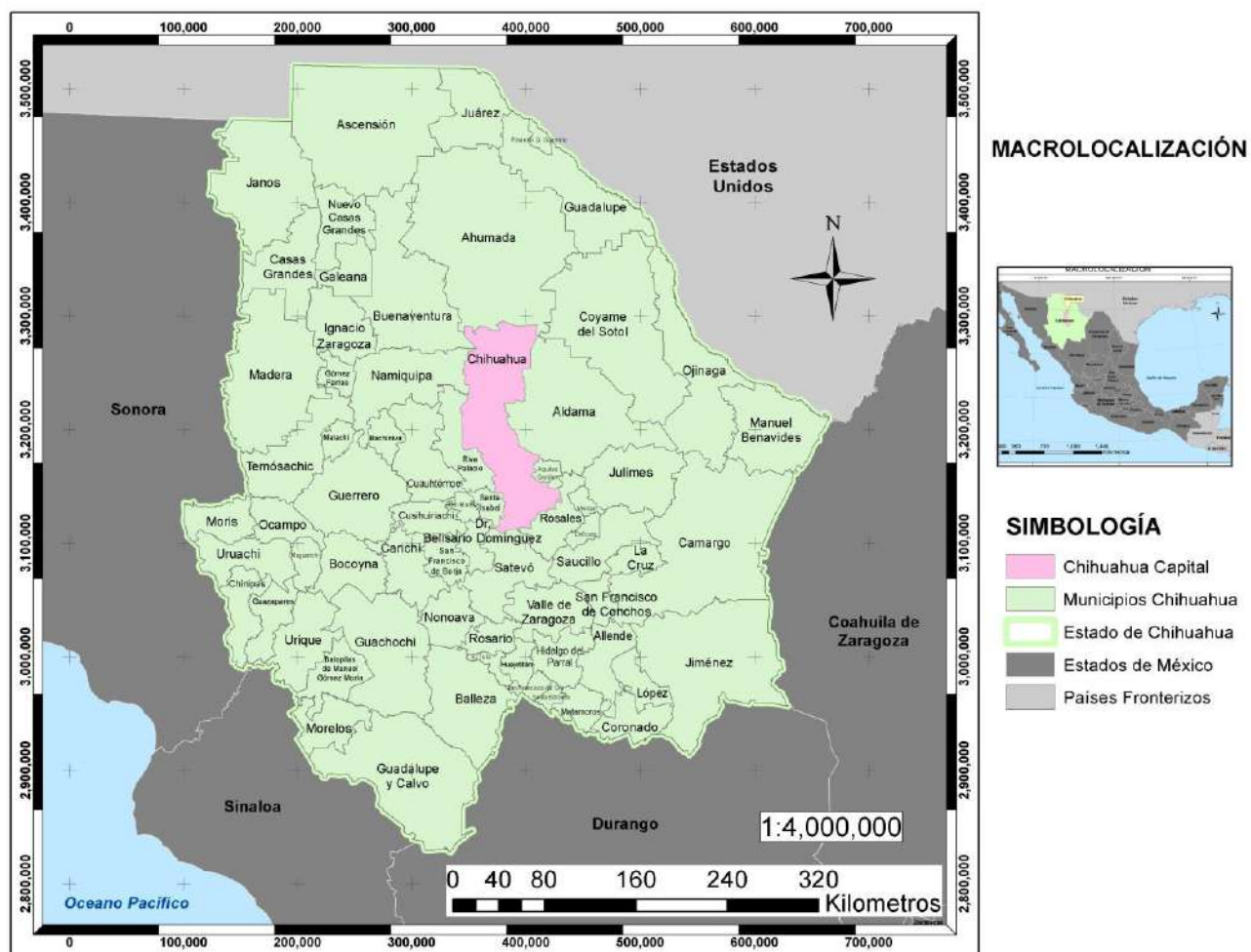


Figura 77. Macrolocalización del Estado de Chihuahua.

Nota: macrolocalización del Estado de Chihuahua procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

En la actualidad Chihuahua cuenta con 67 municipios (Chihuahua Gobierno del Estado, 2023) dentro de los cuales se destaca en color rosado el Municipio de Chihuahua – Capital lugar en donde se ubica la zona de estudio de este documento.

3.1.2 Microlocalización

El punto de estudio se encuentra en el centro de la ciudad de Chihuahua más exactamente en la Avenida Niños Héroes entre Avenida Melchor Ocampo y Avenida Venustiano Carranza. El tramo de estudio tiene aproximadamente 700 m de longitud.



Nota: macrolocalización del Estado de Chihuahua procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing. Nicolas Sanabria

Esta zona de estudio alberga una gran parte del comercio de la ciudad con restaurantes, tiendas de ropa, supermercados, ferreterías, venta y comercialización de diferentes productos. Además de estos, cuenta con servicios hoteleros, estacionamientos y zonas de comercialización informal como ocurre regularmente en los centros de las ciudades en Latinoamérica.

En la ubicación de este corredor vial divergen todos los autobuses urbanos de la ciudad, allí llegan las rutas que cubren de norte a centro y de sur a centro. Esto la convierte en un lugar muy importante para la movilidad de muchas personas en la ciudad.



Figura 79. Zonificación de la microlocalización (IMPLAN CUU, 2020).

El IMPLAN y el INGENI han establecido que esta zona se caracteriza principalmente por su combinación entre vivienda, comercio y servicios. Lo fundamental de esta vialidad es que funciona como una de las arterias de la ciudad moviliza un gran número de vehículos (buses urbanos en su mayoría) y es el corredor de muchas personas que trabajan en el centro de la ciudad o que requieren de este punto para abordar a otros lugares en distintos puntos de la ciudad.

3.2 Vías de comunicación

La capital de Chihuahua es una de las ciudades mexicana con fácil acceso al cruce fronterizo con Estados Unidos cuenta con 8 puentes internacionales.

Chihuahua ocupa el tercer lugar con mayor número de entradas dentro de los estados de México. Se encuentra en primer lugar Tamaulipas con 16 puentes fronterizos, y Sonora con 9 puentes fronterizos.

Estos cruces fronterizos ayudan muy significativamente a Chihuahua, pese a que incrementa la posibilidad de que los americanos puedan venir a realizar actividades comerciales y turísticas con mayor frecuencia, esto activa

significativamente la economía del estado. Pero así mismo hace que se requiera una mayor concentración de recursos para conservación de carreteras y caminos en especial las carreteras que conectan con la capital.

Sin embargo, las vías férreas también movilizan diferentes tipos de mercancía, que conecta a México y Estados Unidos. Esto ha permitido la conectividad de entre los dos países allá mejorado la relación comercial desde hace más de 100 años.

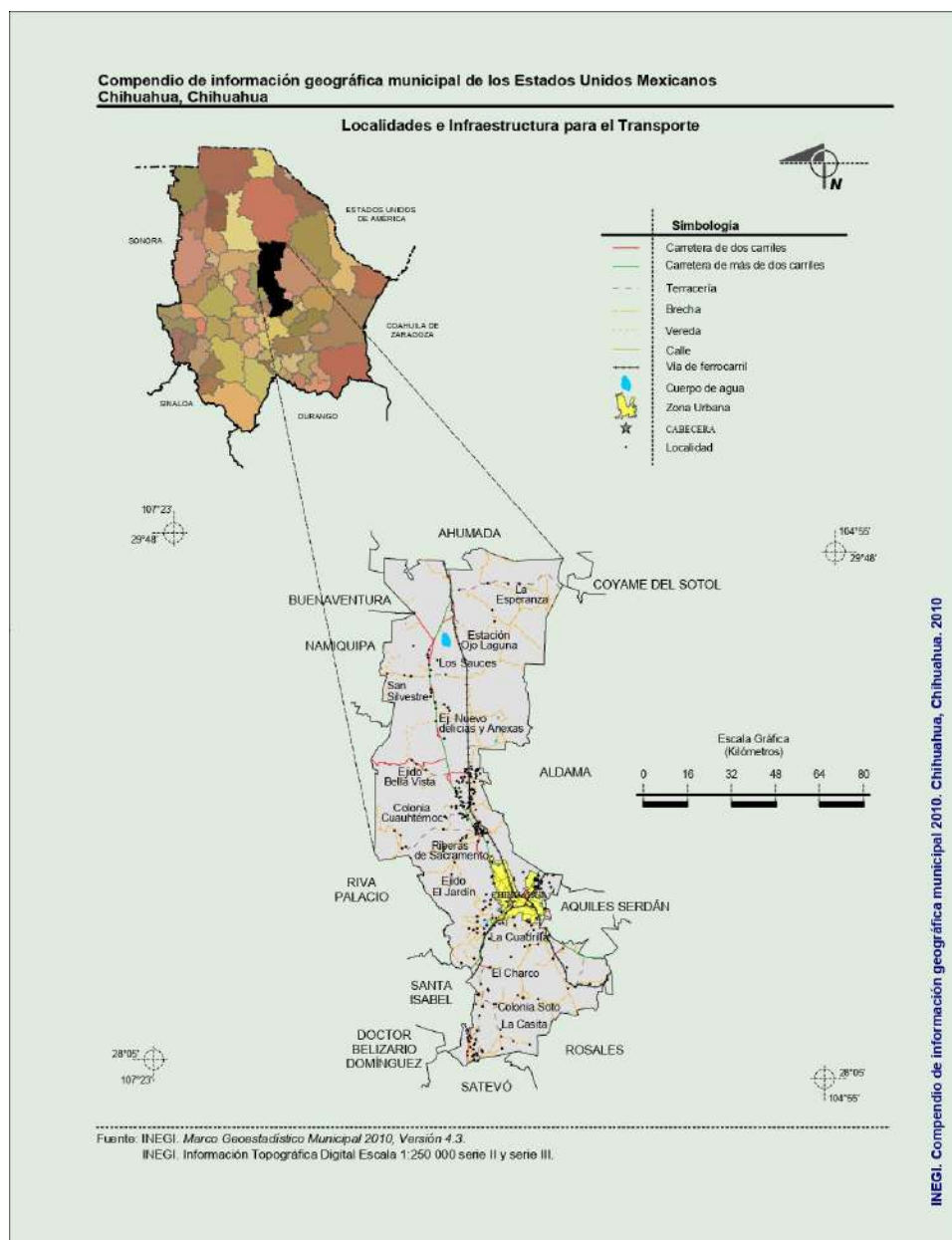


Figura 80. Mapa de vías de comunicación de Chihuahua (INEGI, 2010).

3.3 Fisiografía

La principal provincia de Chihuahua, está compuesta de la siguiente forma: Sierras y llanuras del norte (62.7%) y la Sierra Madre Occidental (37.3%) su composición de subprovincia está determinada por Del Bolsón de Mapimi (62.5%), Sierras y Llanuras Tarahumaras (24.6%), Sierra y llanuras de Durango (12.8%) y Sierras Plegadas del Norte (0.1%) (INEGI, 2010).

3.4 Climatología del área del proyecto

El estado de Chihuahua es de las zonas más secas de México, debido a su particular ubicación y su lejanía con los océanos es una zona muy desértica, en la cual se caracterizan de climas extremos en invierno puede llegar a bajar mucho la temperatura y en verano puede incrementar fuera de lo normal la temperatura. La ciudad de Chihuahua está rodeada por una cadena montañosa que impide la presencia de masas de aire húmedo, esto hace que la capital sea un lugar seco, no se perciben corrientes considerables la mayor parte del tiempo y siempre suele estar seco. Sin embargo, hay una época del año en la cual llueve y la humedad relativa incrementa un poco, para mediados de julio y agosto suele sentirte más el calor del verano en Chihuahua.

Los vientos dominantes provienen del norte, lo cual hace que a ir acaban el invierno todos los vientos fríos del norte cruzan por el estado de Chihuahua y hace que las temperaturas descendan.

En general, son 8 meses de abundante sol y de mucho calor y 4 meses de frío donde se deben cuidar las personas al salir debido a los vientos fríos y densos abruptos de temperatura.

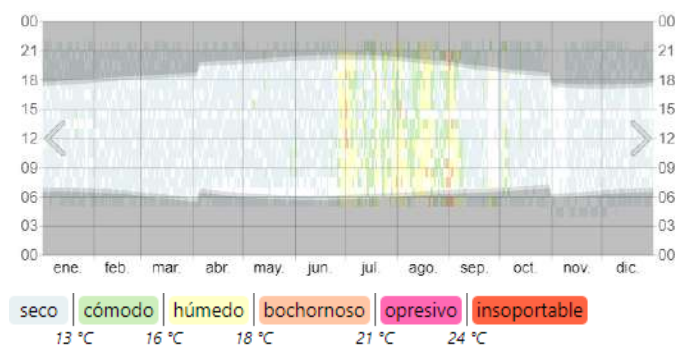


Figura 81. Climatología de Chihuahua (Weatherpark, 2022).



Figura 82. Tiempo de lluvias en Chihuahua (Weatherpark, 2022).

Para el año 2022 las precipitaciones más fuertes se presentaron en el mes de agosto, y particularmente en octubre se encontraron otras fuertes lluvias con presencia de tormentas eléctricas y granizo.

3.4.1 Temperaturas en Chihuahua Capital

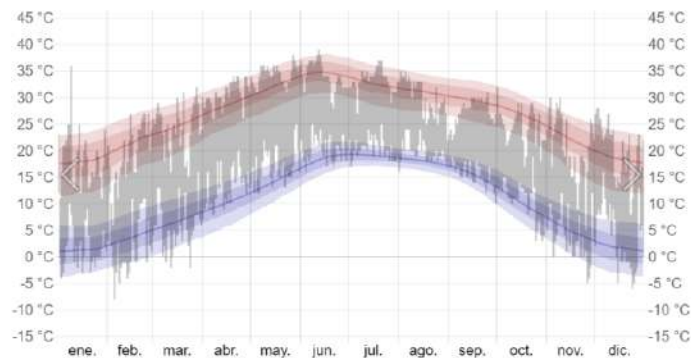


Figura 83. Temperaturas en Chihuahua Capital (Weatherpark, 2022)

“El clima de la ciudad (Estación Chihuahua 08-018) es semiárido extremo. La temperatura media anual es de 18.4° C con media máxima de 26.8° C y media mínima de 18.5 °C.” (IMPLAN CHIHUAHUA, 2020). Como se puede apreciar en la Figura 83. Temperaturas en Chihuahua Capital (Weatherpark, 2022) se puede ver la variación de temperatura con respecto a los meses del año. En las épocas de invierno se puede presentar una gran variación de temperatura, puede amanecer con una temperatura de -5 °C, pero al medio día podría alcanzar una temperatura de 20 a 25° C lo cual hace que se presente un gradiente térmico

diferencia de 20 o 25 grados esto. Es perjudicial para cualquier estructura de pavimento debido a que puede estar propenso a contracción y expansión según sean las condiciones climatológicas y su variación de temperatura.

3.5 Topografía y Relieve

El Estado de Chihuahua cuenta con sierras en donde se encuentran elevaciones que van desde 800 hasta de 2800 metros sobre el nivel del mar. Sin embargo, en varias zonas dentro del estado, son muy planas y carecen de vegetación, debido a que es una zona altamente desértica.

El municipio de Chihuahua presenta una superficie plana en su mayoría, pero cuenta con una serranía hacia la parte oeste esta superficie montañosa se ubica dentro de 1800 a 2800 metros sobre el nivel del mar. Mientras que la zona plana está dentro de 1600- 1800 m.s.n.m.

En la capital de Chihuahua es una ciudad en su mayoría de superficie plana, se presentan una variación de alturas entre 1250 a 1600 m.s.n.m lo cual sea una zona propensa a inundaciones debido a que diferentes afluentes de régimen semipermanente se forman en el costado oeste de la ciudad.

Para la zona urbana de Chihuahua más exactamente en el punto de estudio se encuentra muy poca variación de elevaciones para esto puede ver la Figura 84, en la cual se observa que la elevación del tramo de estudio es prácticamente 1420 m.s.n.m. Sin embargo, hacia la parte más baja se ubica una curva que se encuentra a 1417 en dirección hacia donde se ubica el canal Teófilo Borunda

Se presentan los mapas de topografía con sus respectivas curvas de nivel y el relieve del municipio de Chihuahua.

TOPOGRAFÍA AVENIDA NIÑOS HÉROES ENTRE AVENIDA OCAMPO Y AVENIDA CARRANZA

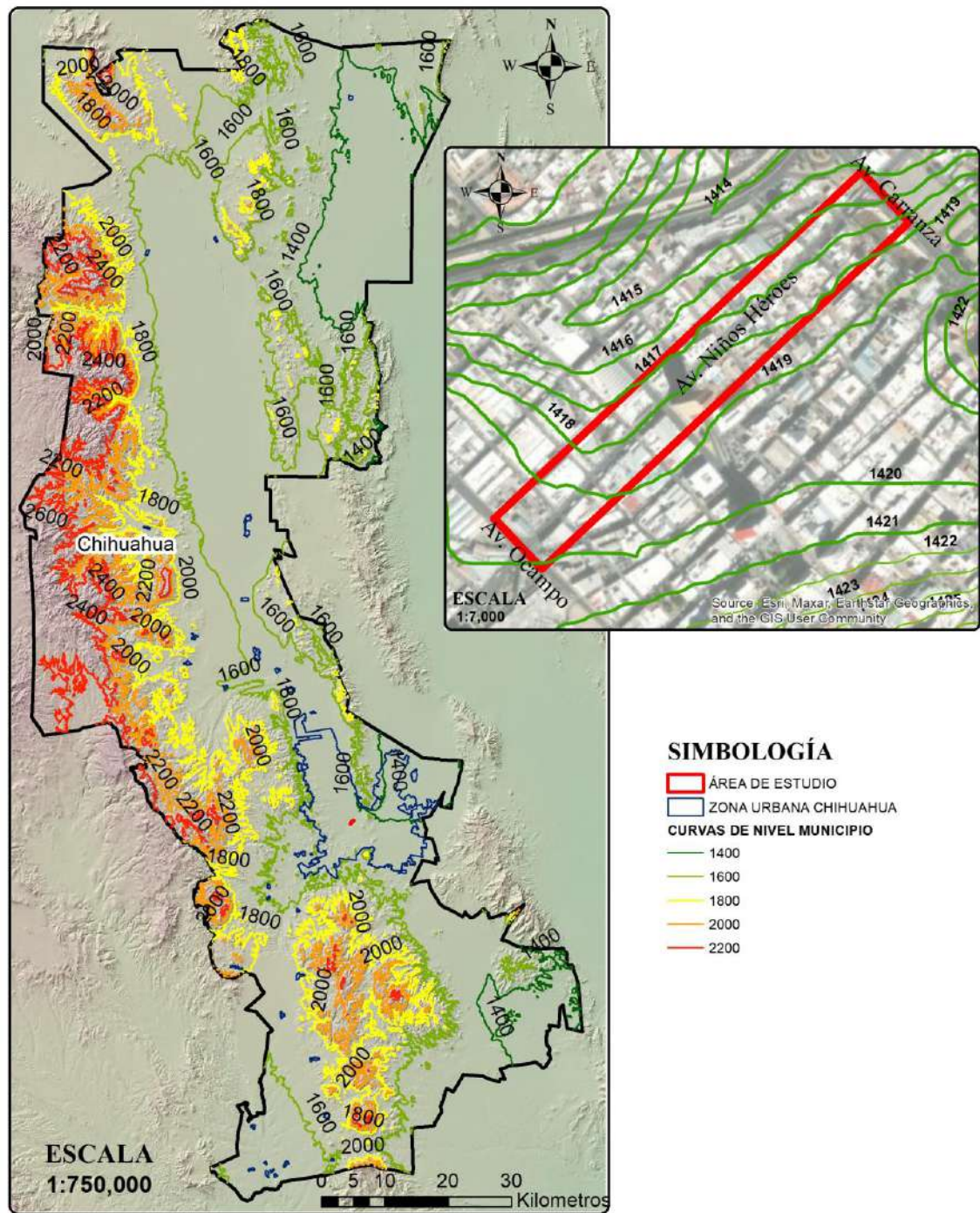


Figura 84. Topografía Chihuahua - zona de estudio.

Nota: Mapa de topografía procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing. Nicolas Sanabria

RELIEVE **AVENIDA NIÑOS HÉROES ENTRE AVENIDA OCAMPO Y AVENIDA CARRANZA**

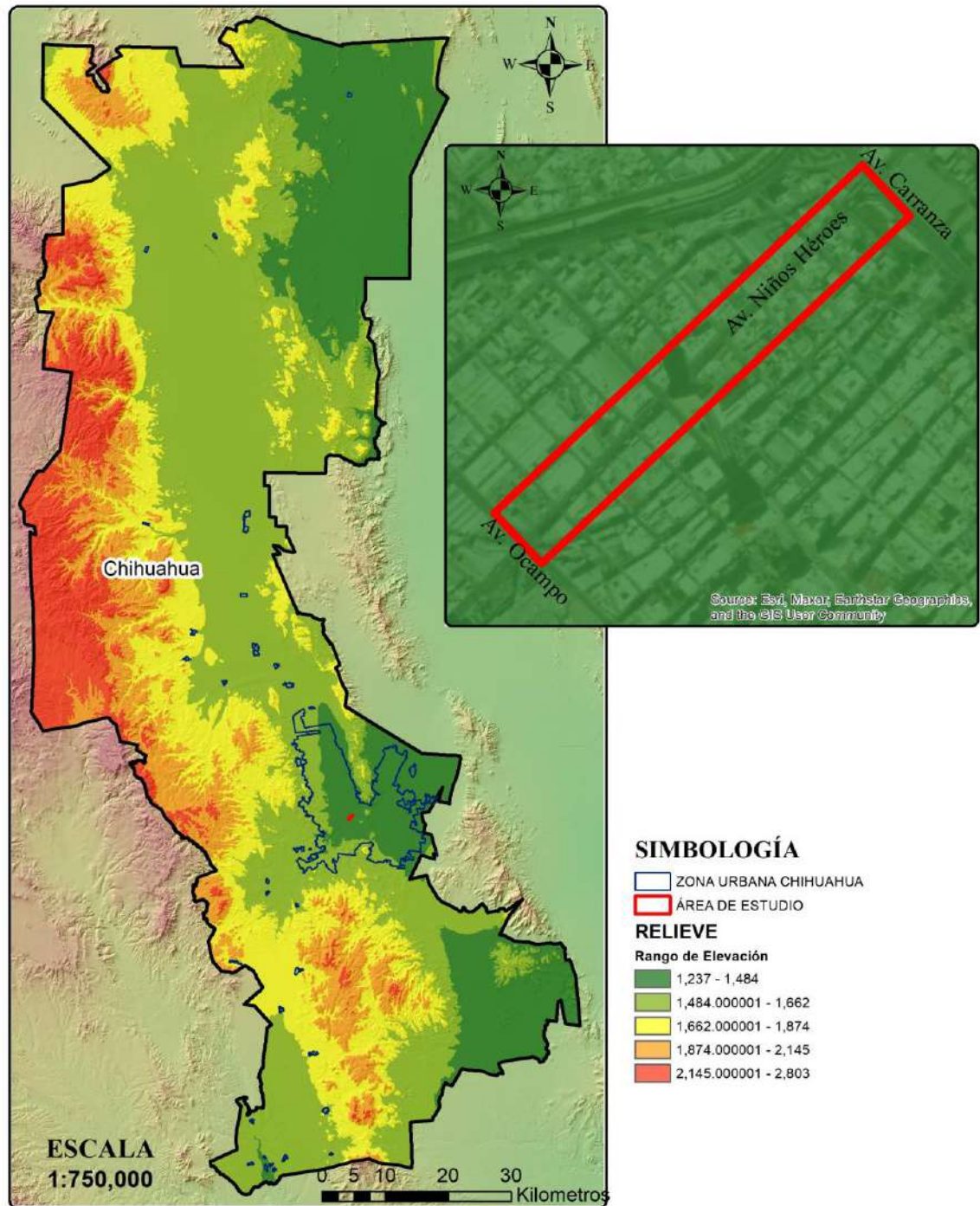


Figura 85. Relive Chihuahua - zona de estudio.

Nota: Relieve procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

3.6 Edafología

El municipio de Chihuahua tiene una importante variación en sus suelos, principalmente al oeste con suelos litosol y fluvisol, los cuales se caracterizan por ser un suelo pedregoso. Su estructura es bastante débil y suelta.

Particularmente la edafología de la zona urbana se encuentra provista por xerosol, regosol, castañozem y litosol. Solo suelos conglomerados compuestos por diferentes procesos edafológicos que han ido evolucionando con el tiempo.

Por otro lado, la zona de estudio solo cuenta con un tipo de suelo que es muy característica de las zonas desérticas como lo es Chihuahua, este se llama xerosol, este es un material poco susceptible a la erosión, no alcanza profundidades considerables se puede encontrar alrededor de 10 a 12 cm de profundidad.

A continuación, se realiza una breve descripción de los suelos encontrados de mayor relevancia haciendo uso de la Guía de Interpretación Edafológica del INEGI.

Litosol: suelo de piedra, se caracterizan por su profundidad menor 10 cm, limitada por la presencia de roca (INEGI, 2004).

Regosol: capa de material suelto que cubre a la roca. Generalmente estas vinculados a con los litosoles y con afloramientos de roca y caliche (INEGI, 2004).

Castañozem: Tierra castaña que su ubican en zonas semiáridas, presenta una colorazon de color pardo o rojizo. Es un suelo de alto contenido de materia organica y en gran parte pose acumulacion de caliche.

Xerosol: es un suelo seco, se localiza en zonas áridas son los suelos tipos en Chihuahua y Coahulila. Son suelos que presentan aglomeraciones de cal, cristal de yeso o caliche¹⁴.

¹⁴ Caliche: es un capa cementada por carbonatos secundarios de calcio y magnesio. (Gobierno de Canarias, 2019)

EDAFOLOGÍA **AVENIDA NIÑOS HÉROES ENTRE AVENIDA OCAMPO Y AVENIDA CARRANZA**

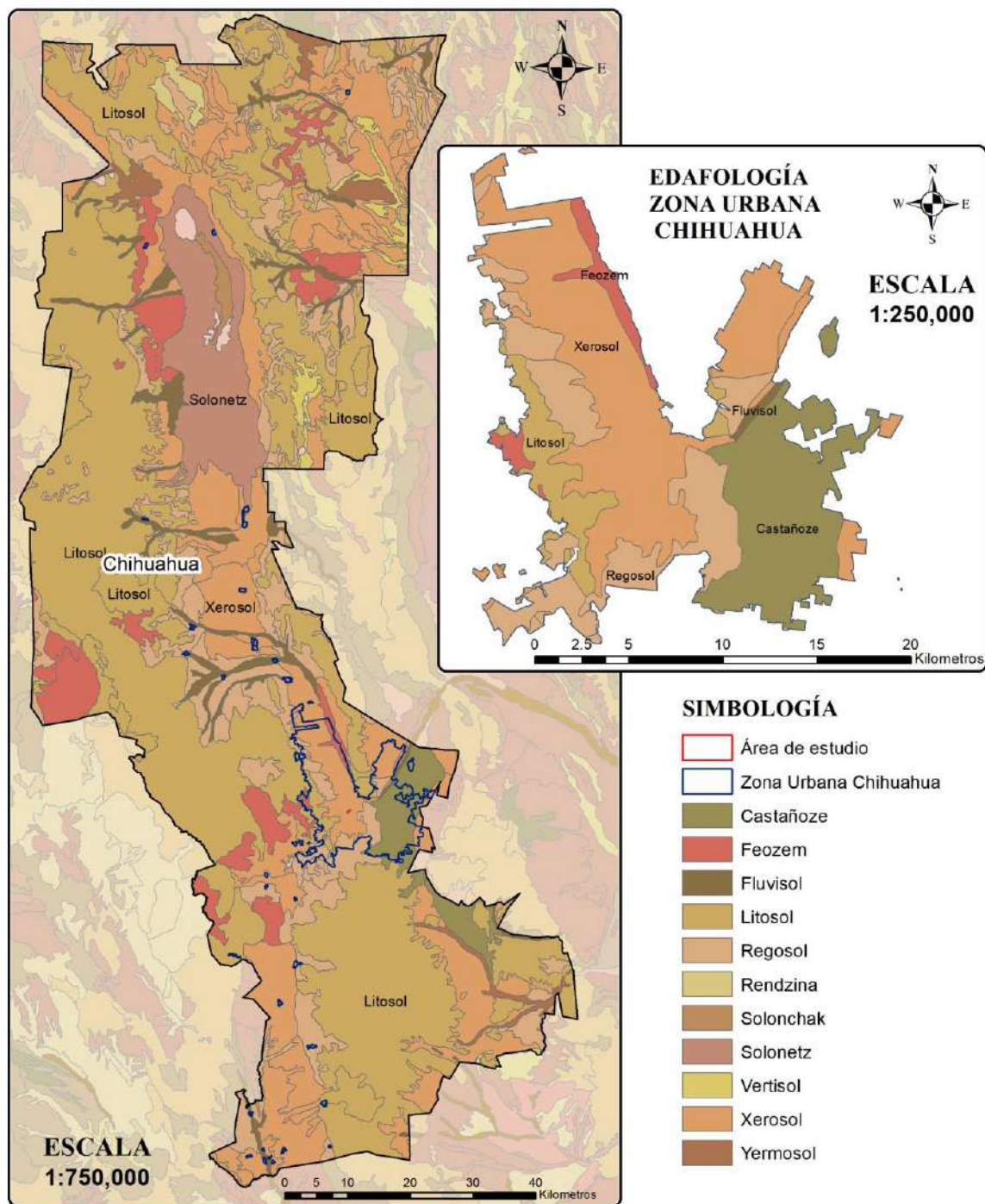


Figura 86. Mapa de edafología - zona urbana Chihuahua.

Nota: Mapa edafología zona urbana procesado en ArcMap con información del INEGI
 realizado por Ing.Nicolas Sanabria

EDAFOLOGÍA **AVENIDA NIÑOS HÉROES ENTRE AVENIDA OCAMPO Y AVENIDA CARRANZA**

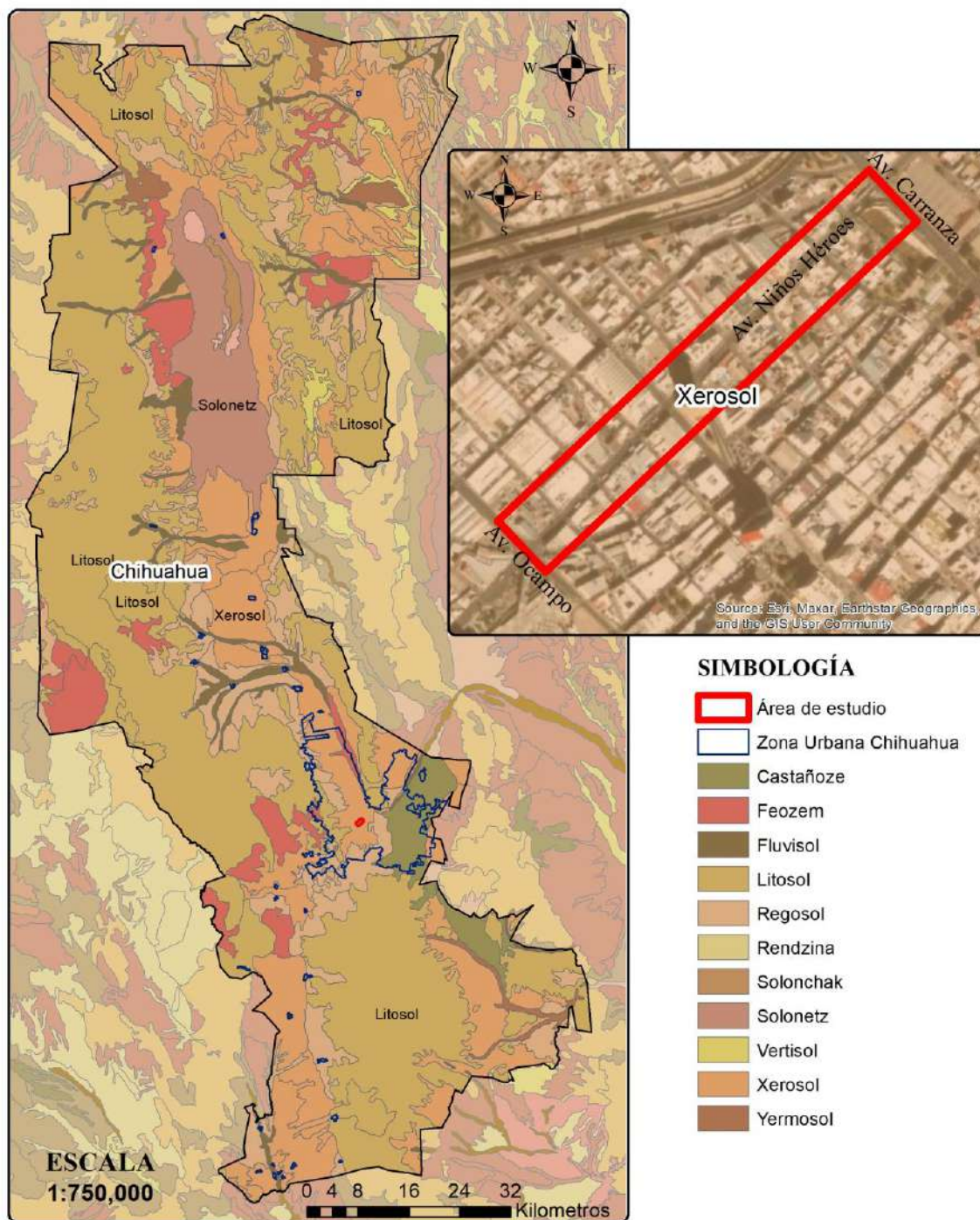


Figura 87. Mapa de Edafología - Chihuahua - zona de estudio

Nota: Mapa edafología zona urbana procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

3.7 Geología

El estado de Chihuahua principalmente se caracteriza por contar con una cadena montañosa previamente formadas por procesos y sucesos de secuencias marinas mesozoicas. El espacio entre las montañas regularmente cuenta con grandes llanuras que fueron formadas por un proceso de sedimentos continentales y en algunas ocasiones derrames lávicos¹⁵, esto dio origen a diferentes cuencas dentro del estado (INEGI, 1990).

Las rocas sedimentarias se encuentran plegadas por todo el estado, han ido evolucionando sobre un basamento paleozoico y precámbrico que afloran en distintos lugares (INEGI, 1990). El estado cuenta con rocas ígneas extrusivas. Estas rocas son formadas por la solidificación del magma y normalmente se encuentra en la superficie (ver Figura 88).

Por lo general en la zona urbana se encuentran los siguientes tipos de materiales caliza, conglomerados, basalto, toba ácida, arenisca y aluvial. Dentro de esta zona se descartan los mismo tipos de roca sedimentarias y ígneas extrusivas (ver Figura 89).

Finalmente, el material y tipo de roca encontrado en la zona de estudio fue un conglomerado, este material es color café claro, está compuesto por areniscas que regularmente cuentan con un grano fino y en ocasiones de grano grueso. Esta unión con areniscas hacen que sean los fragmentos mal calificados de calizas dando forma a los conglomerados (ver Figura 90) (INEGI, 2003).

¹⁵ Lávico: perteneciente o relativo a lava. (RAE)

GEOLOGÍA MUNICIPIO DE CHIHUAHUA

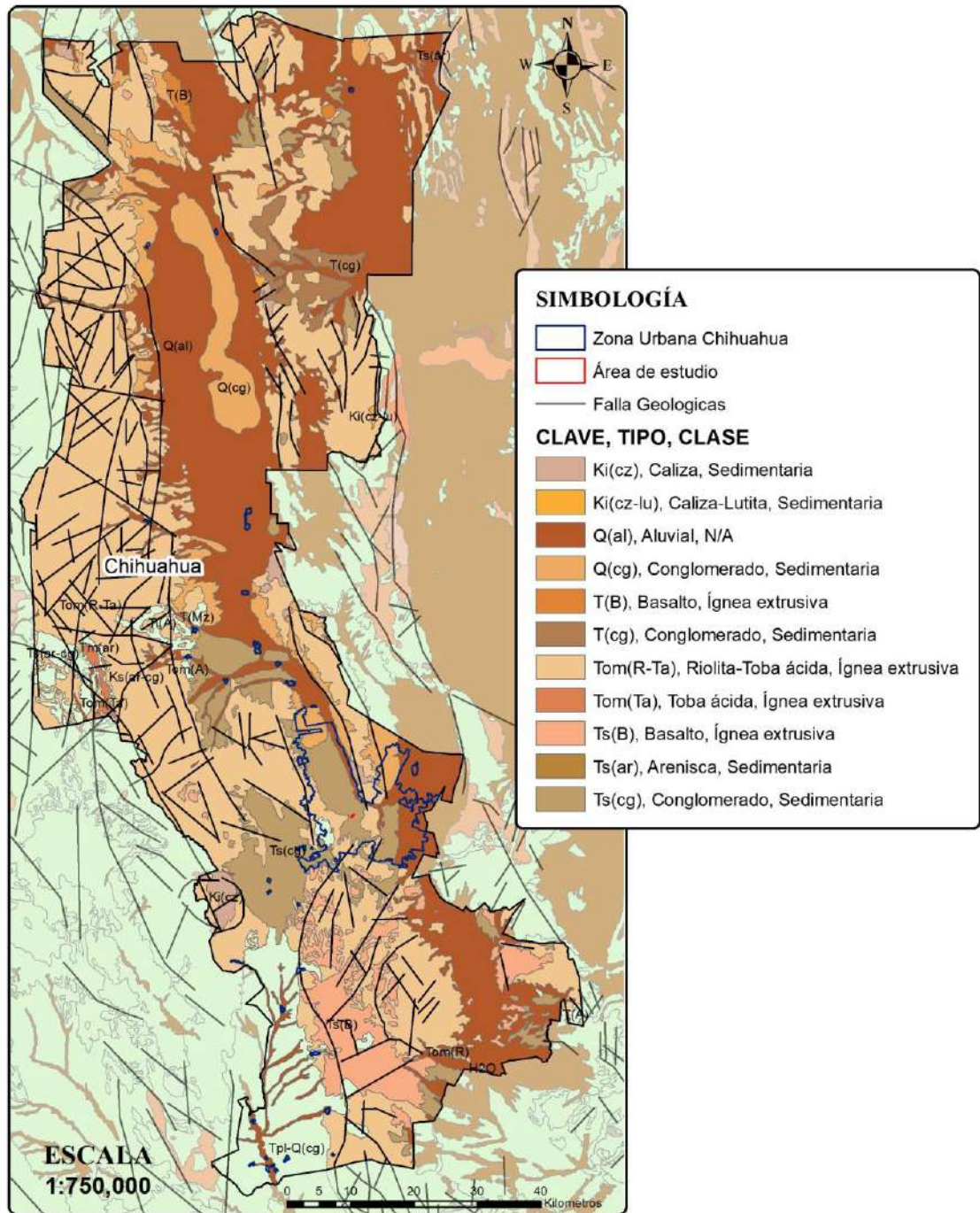


Figura 88. Mapa Geología Municipio de Chihuahua

Nota: Mapa Geología Municipio de Chihuahua procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

GEOLOGÍA AVENIDA NIÑOS HÉROES ENTRE AVENIDA OCAMPO Y AVENIDA CARRANZA

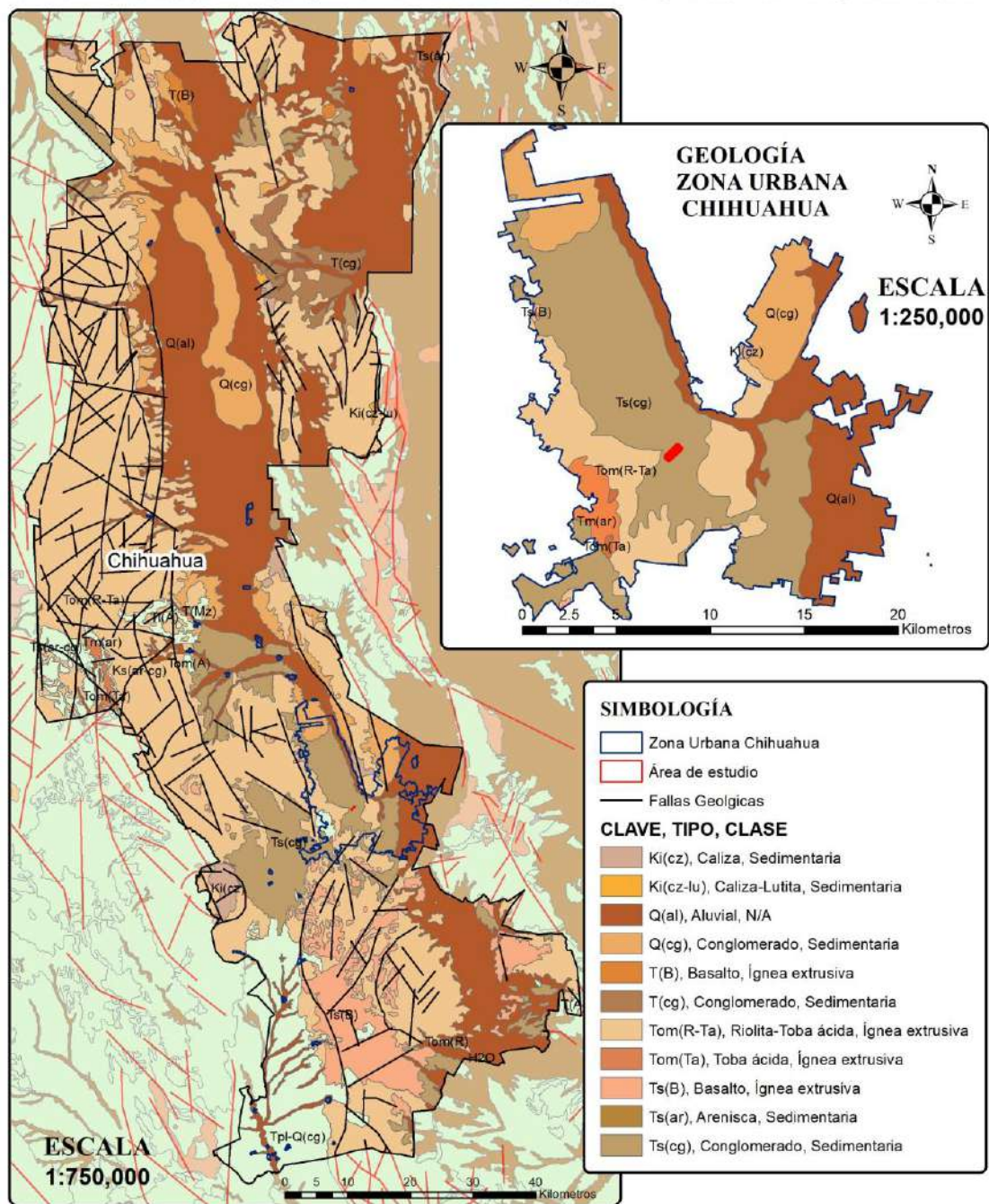


Figura 89. Mapa Geología - zona Urbana Chihuahua

Nota: Mapa Geología Zona Urbana Chihuahua procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

GEOLOGÍA

AVENIDA NIÑOS HÉROES ENTRE AVENIDA OCAMPO Y AVENIDA CARRANZA

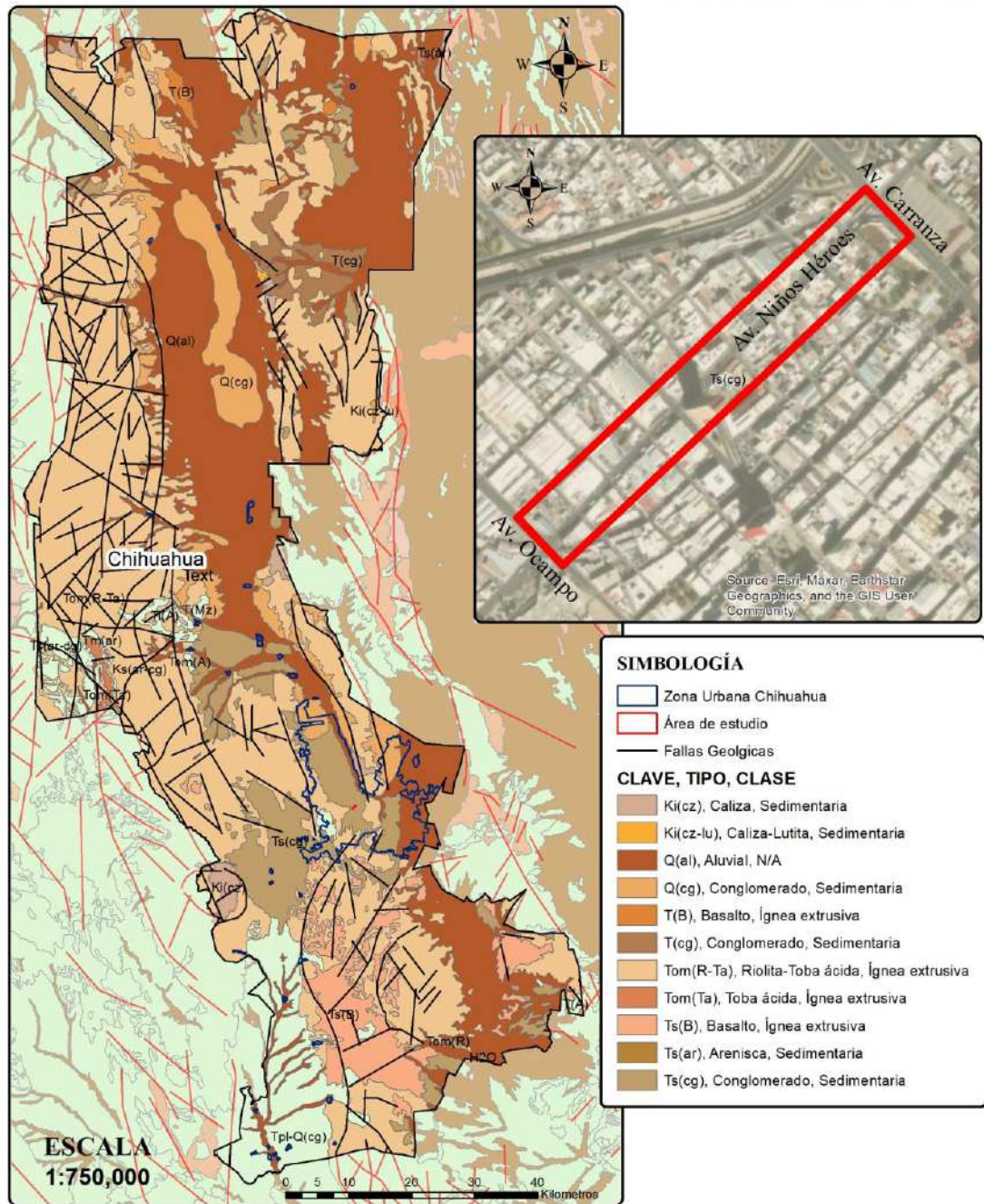


Figura 90. Mapa Geología - zona de estudio.

Nota: Mapa Geología Zona de estudio procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

3.8 Hidrografía

En el municipio de Chihuahua existe una muy baja presencia de cuerpos de agua, debido a que su posición geográfica se encuentra sobre una zona seca, desértica y árida. Las dos corrientes más importantes dentro del municipio son el Río Chuvistar y Sacramento. Estas corrientes se unen al Río Conchos, y desembocan en el Río Bravo. Su sistema de composición de presas está constituido por Chuvistar, Rejón, San Marcos y Chihuahua (Municipio de Chihuahua, 2014).

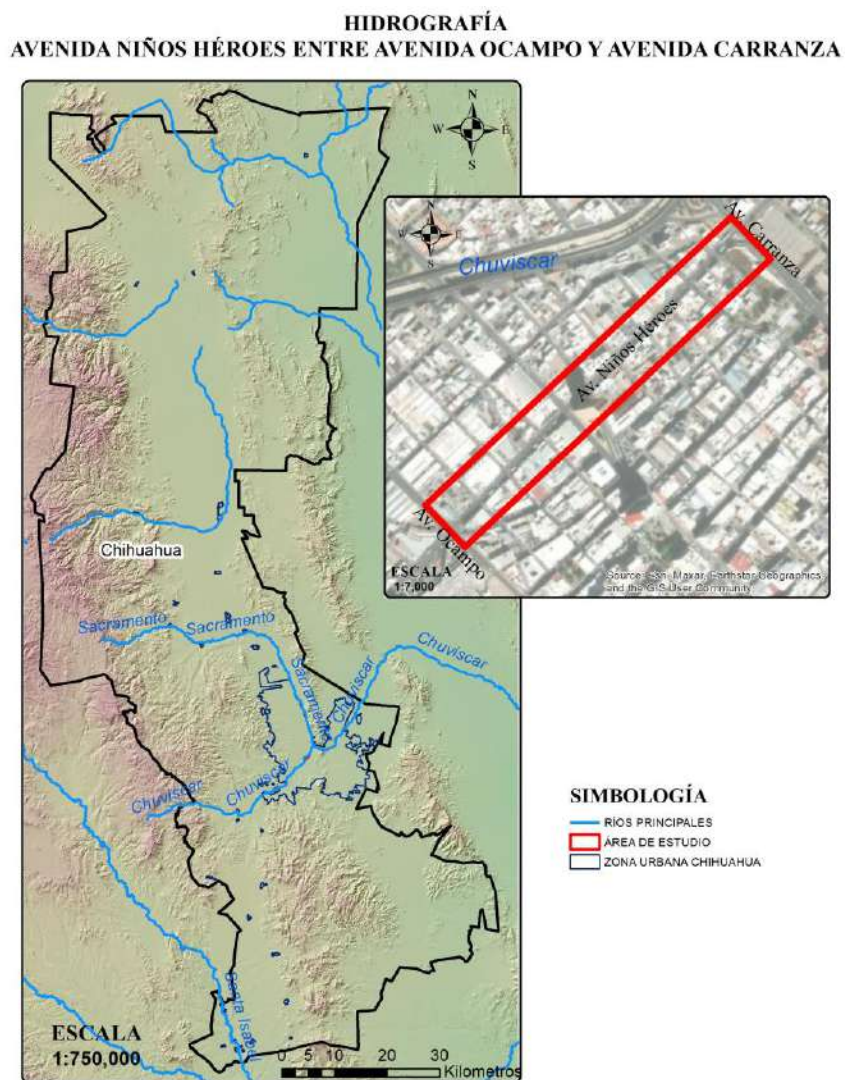


Figura 91. Mapa de Hidrografía – Municipio de Chihuahua – zona de estudio.

Nota: Mapa Hidrografía y zona de estudio procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

HIDROGRAFÍA

AVENIDA NIÑOS HÉROES ENTRE AVENIDA OCAMPO Y AVENIDA CARRANZA

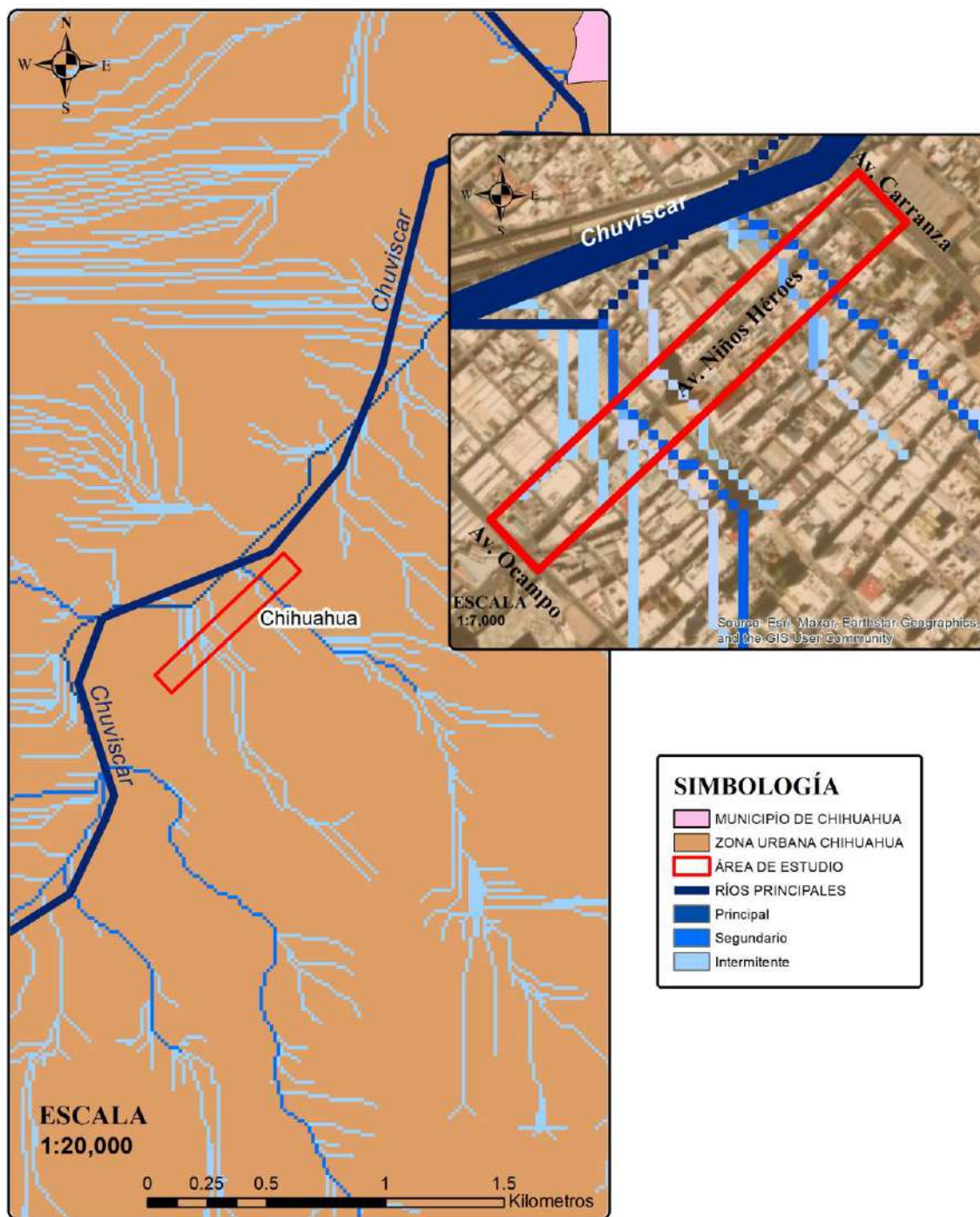


Figura 92. Mapa de Hidrografía - zona urbana Chihuahua – zona de estudio.

Nota: Mapa Hidrografía zona urbana y zona de estudio procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

3.9 Hidrología

La región hidrológica a la que pertenece el Estado de Chihuahua es la Cuenca Cerrada del Norte (RH-34), la Cuenca Bravo Conchos (RH-24), Cuenca Sinaloa (RH-10) y Cuenca Sonora Sur (RH-09). Las dos primeras son la que ubican mayor parte del estado (Para Todo México, 2013).

Para la región hidrológica del municipio se descanta la cuenca del Río Bravo (RH-24) y la Cuenca Cerrada del Norte (RH 34), estas cuencas se subdividen en otras subcuenca. Para comprender mejor es importante observar la figura.

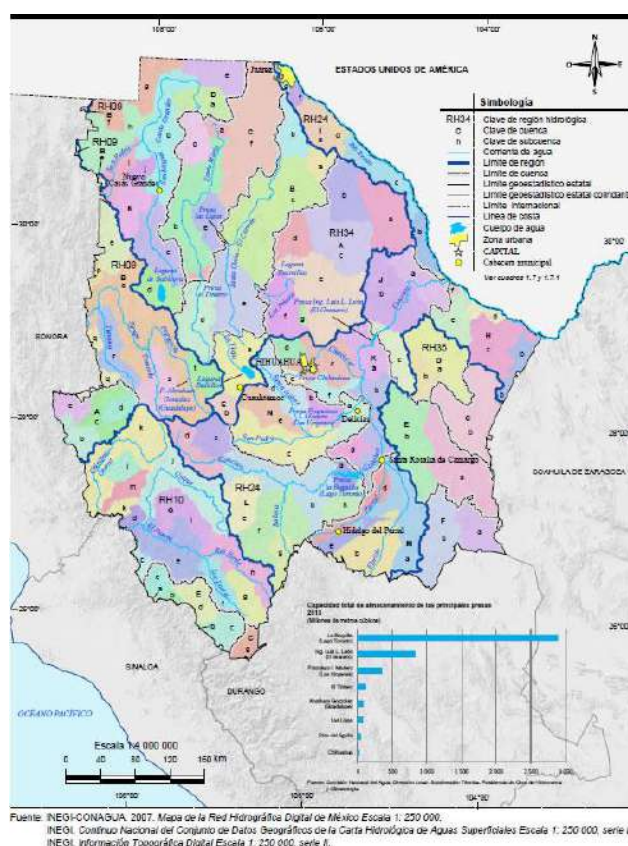


Figura 93. Mapa de Regiones Hidrológicas de Chihuahua (Para Todo México, 2013).

Para este documento se realiza un análisis de las subcuencas presentes en el Municipio de Chihuahua, posteriormente es importante detallar una microcuenca del Río Chuvistar lo más cerca posible a la zona de estudio. Esto con el fin de realizar una aproximación de los afluentes principales, secundarios e intermitentes.

HIDROLOGÍA SUBCUENCAS DEL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA Y DETALLES AV. NIÑOS HÉROES ENTRE AV. OCAMPO Y AV. CARRANZA

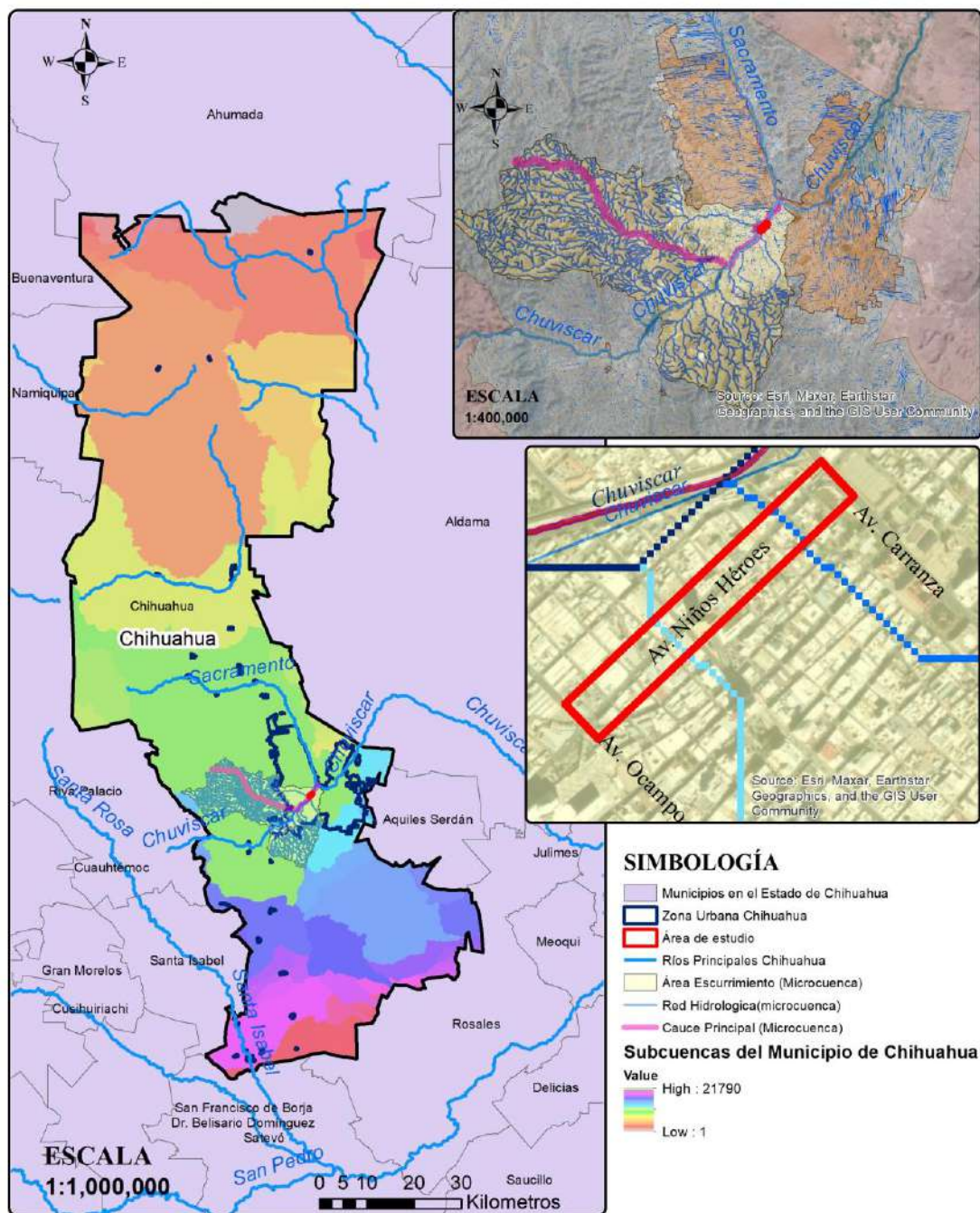


Figura 94. Mapa de hidrología - Subcuencas del Municipio de Chihuahua – Microcuenca Chuvixcar – Detalle de zona de estudio.

Nota: En el detalle de la zona de estudio de los colores azules representan los afluentes: primario (oscuro), secundario (medio) y terciario (claro)

3.10 Análisis de inundación en la zona del proyecto

En este apartado se realizó un procesamiento de información extraída del INEGI, haciendo uso del modelo digital de elevaciones de Chihuahua, este fue llevado a ArcMap. Allí se usó la herramienta de Hidrología la cual permite determinar las zonas de inundación. Para este documento se realizó un mapa en el cual se encuentra el Municipio de Chihuahua, zona urbana de Chihuahua y la zona de estudio.

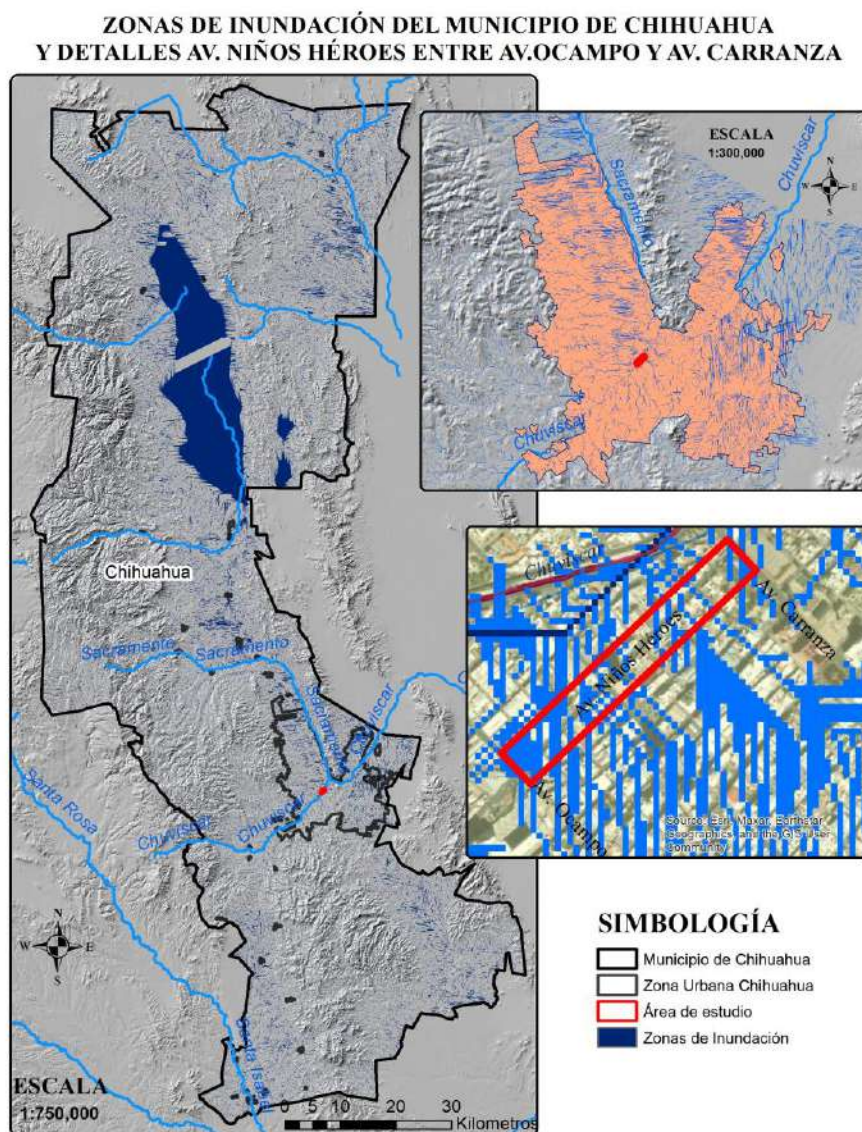


Figura 95. Mapa de zonas de inundación.

Nota: Mapa Hidrología procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

3.11 Uso del suelo y vegetación

El municipio de Chihuahua posee distintas características en cuanto a su vegetación se refiere; esto es debido a que se encuentra ubicado en medio de dos cadenas montañosas muy prominentes lo cual indican que se encuentra en una zona bastante plana y presenta distintos tipos de vegetación.

Debido a estas dos condiciones mencionadas el municipio cuenta con una parte sobre la Sierra Madre Occidental y una parte que presenta planicies que en su mayoría son zonas desérticas. En estas zonas se presentan plantas con características acorde con el ambiente desértico. Por ejemplo: matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, pastizal natural, vegetación halófila, mezquital (Municipio de Chihuahua, 2018).

A continuación, se muestra un mapa en el cual se observa la composición del municipio con respecto al uso del suelo y vegetación.

USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN **AVENIDA NIÑOS HÉROES ENTRE AVENIDA OCAMPO Y AVENIDA CARRANZA**

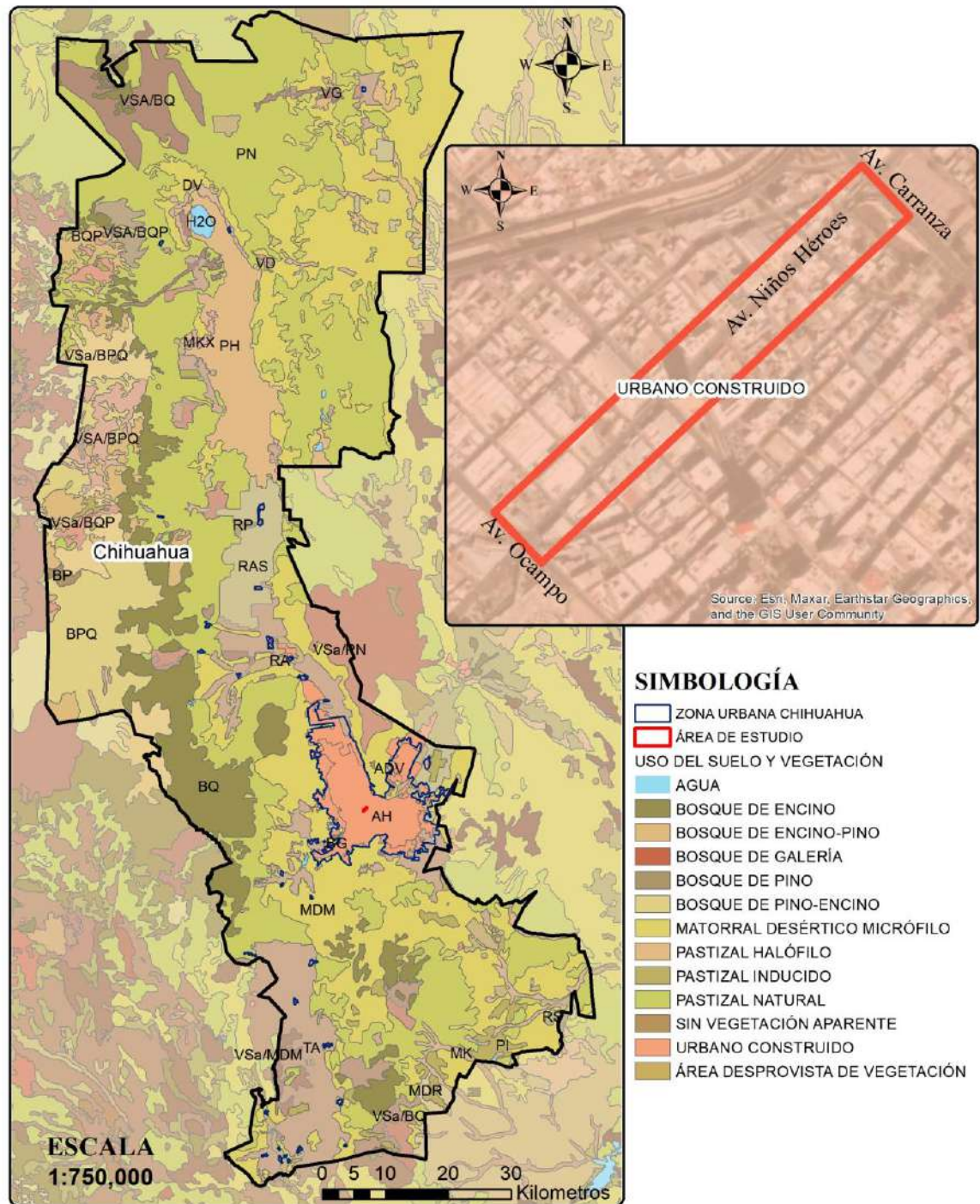


Figura 96. Mapa de Uso del Suelo y Vegetación - Municipio de Chihuahua – zona de estudio.

Nota: Mapa Hidrología procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

3.11.1 Zonificación

La zonificación del proyecto principalmente es determinada por un área urbana, la zonificación secundaria se determina por un área urbana definida como mixta en donde hay ocupación habitacional y comercio.



Figura 97. Zonificación del proyecto - área de mancha urbana – zona centro Chihuahua (SIGMUN, 2020).

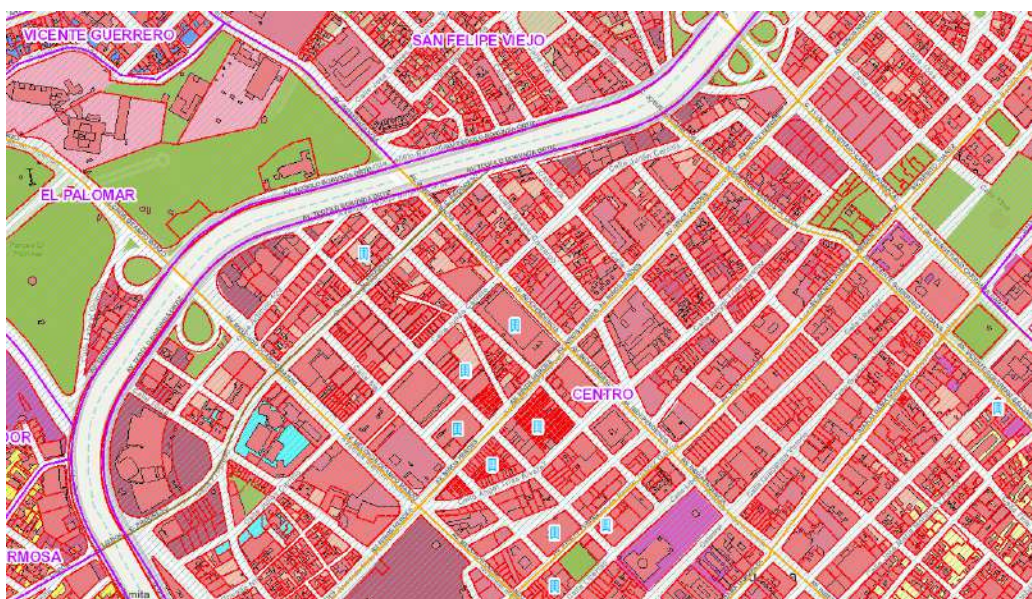


Figura 98. Zonificación del proyecto - Manzanas y zonas comerciales – zona centro Chihuahua (SIGMUN, 2020).

Para obtener una aproximación del análisis sociodemográfico es necesario hacer uso de una herramienta del municipio de Chihuahua, llamada OVIE. A

continuación, se muestra una delimitación de la zona de estudio con un área de influencia de 2 km².

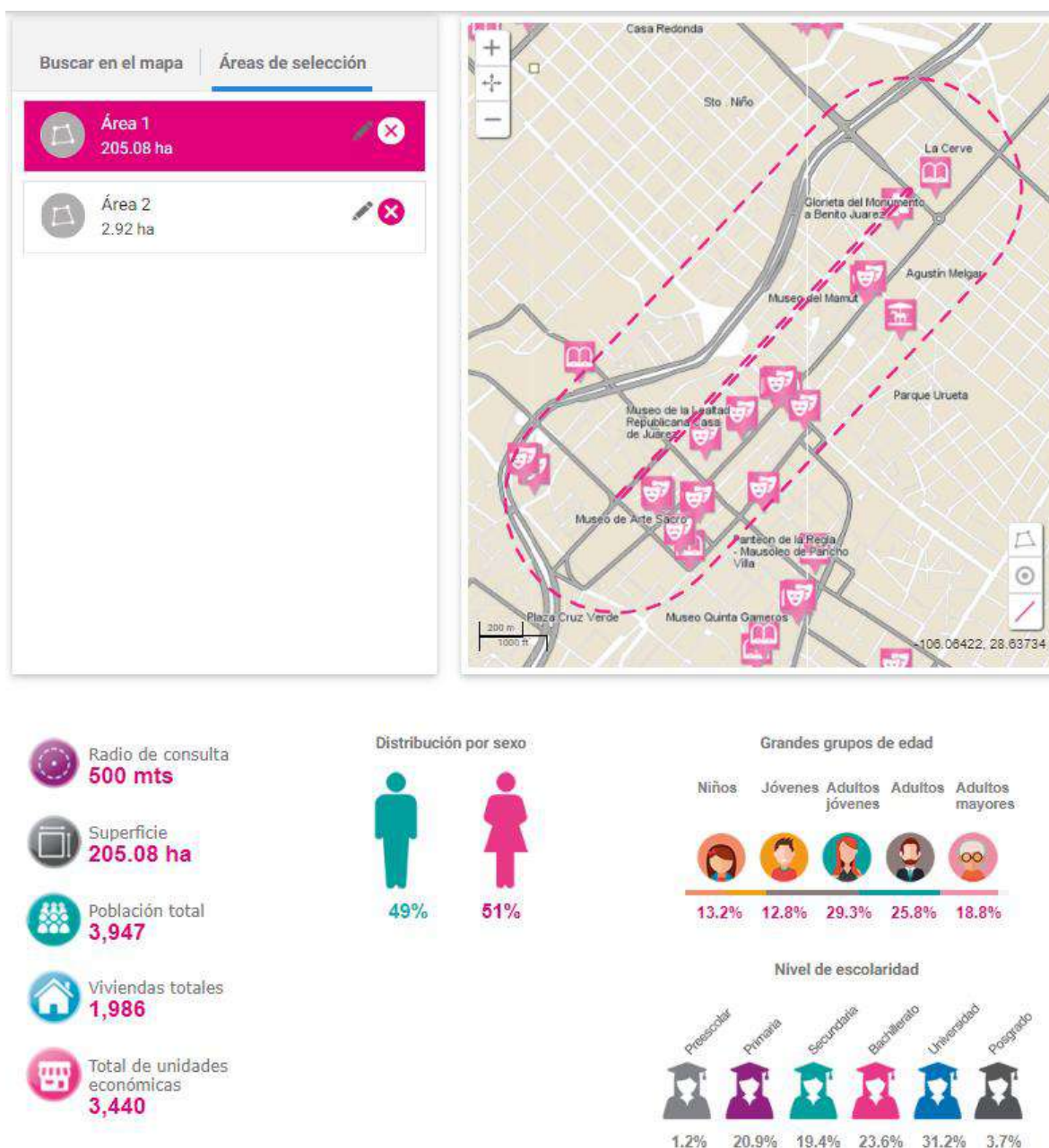


Figura 99. Análisis sociodemográfico de la zona de estudio - área de influencia con radio de 500 metros – zona centro Chihuahua (OVIE Chihuahua, 2020).

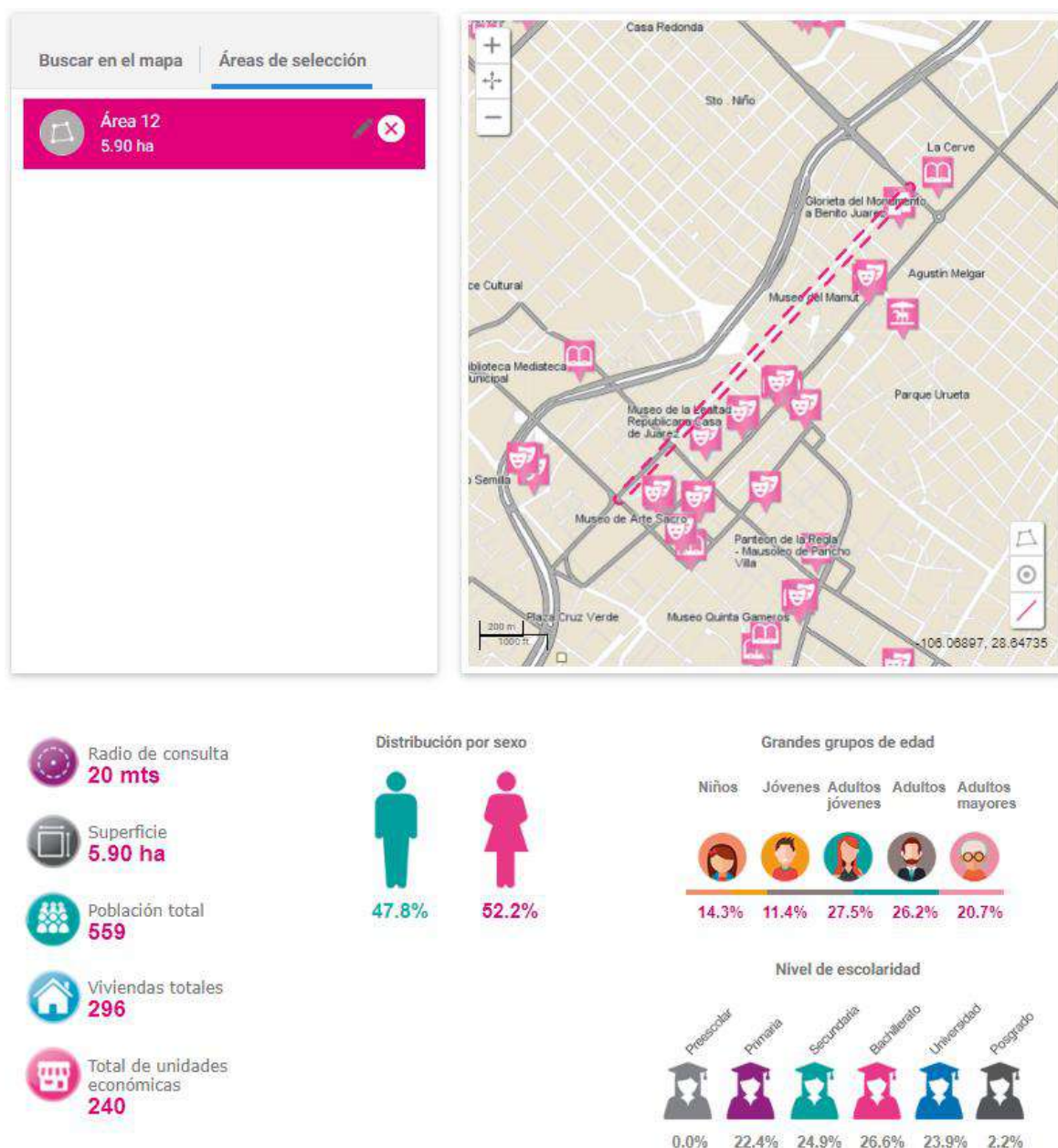


Figura 100. Análisis sociodemográfico de la zona de estudio - área de influencia con radio de 20 metros – zona centro Chihuahua (OVIE Chihuahua, 2020).

Se puede observar por medio de este aplicativo que la zona presenta baja densidad de persona que viven en el lugar, pero tiene población flotante prácticamente todos los días debido al alto movimiento de personas en la zona.

Para obtener una aproximación del análisis económico es necesario hacer uso de una herramienta del municipio de Chihuahua, llamada OVIE. A continuación, se muestra una delimitación de la zona de estudio con un área de influencia de 59000 m².

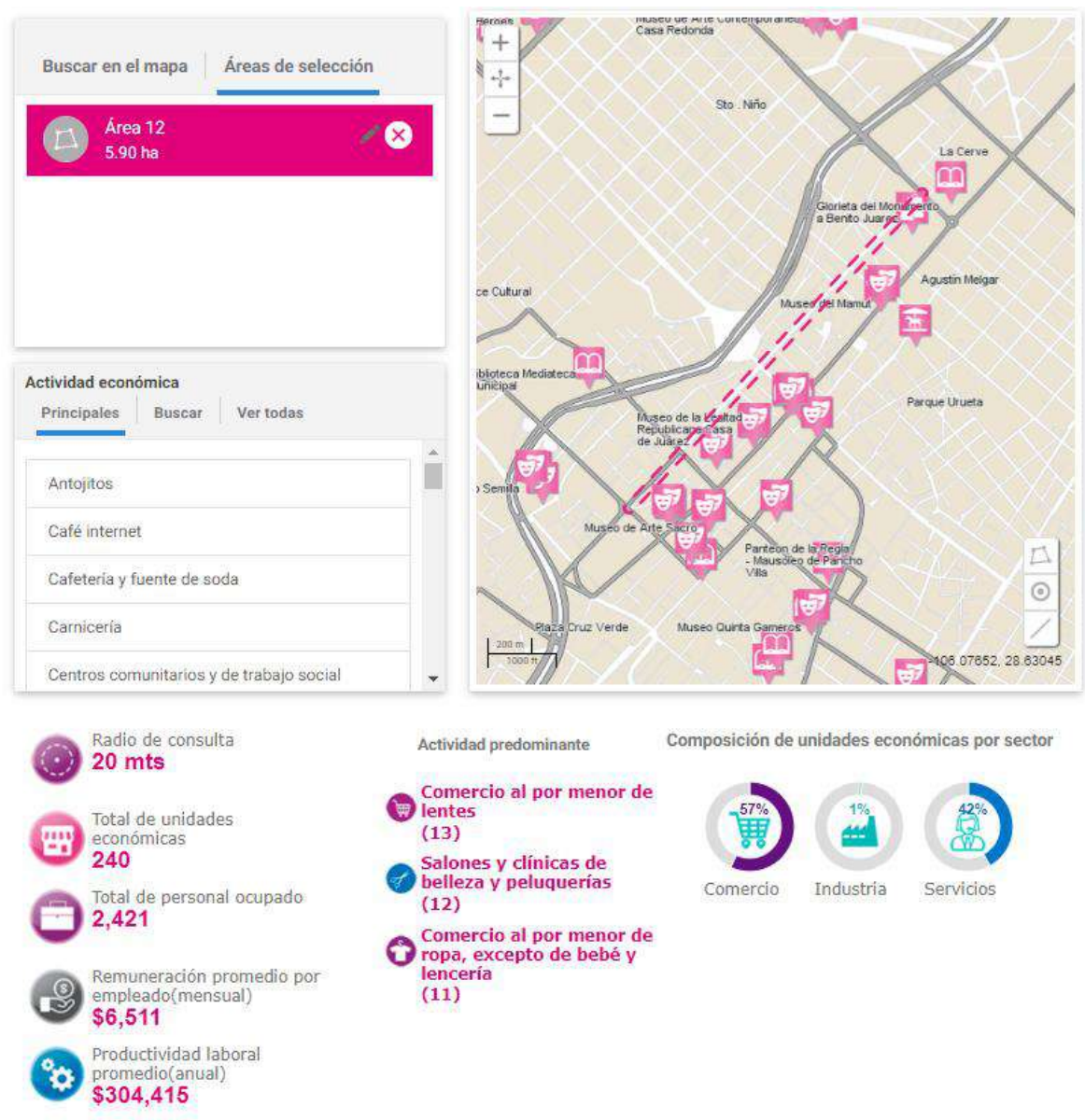


Figura 101. Análisis económico de la zona de estudio (OVIE Chihuahua, 2020).

3.12 Índice de accidentes viales

Analizando la información más actualizada se encontró en el INEGI una base de datos de accidentes viales del 2021, bajo la cual se realizó un detallado trabajo para organizar la información.

Se presentan los datos de accidentes viales en la zona de estudio.

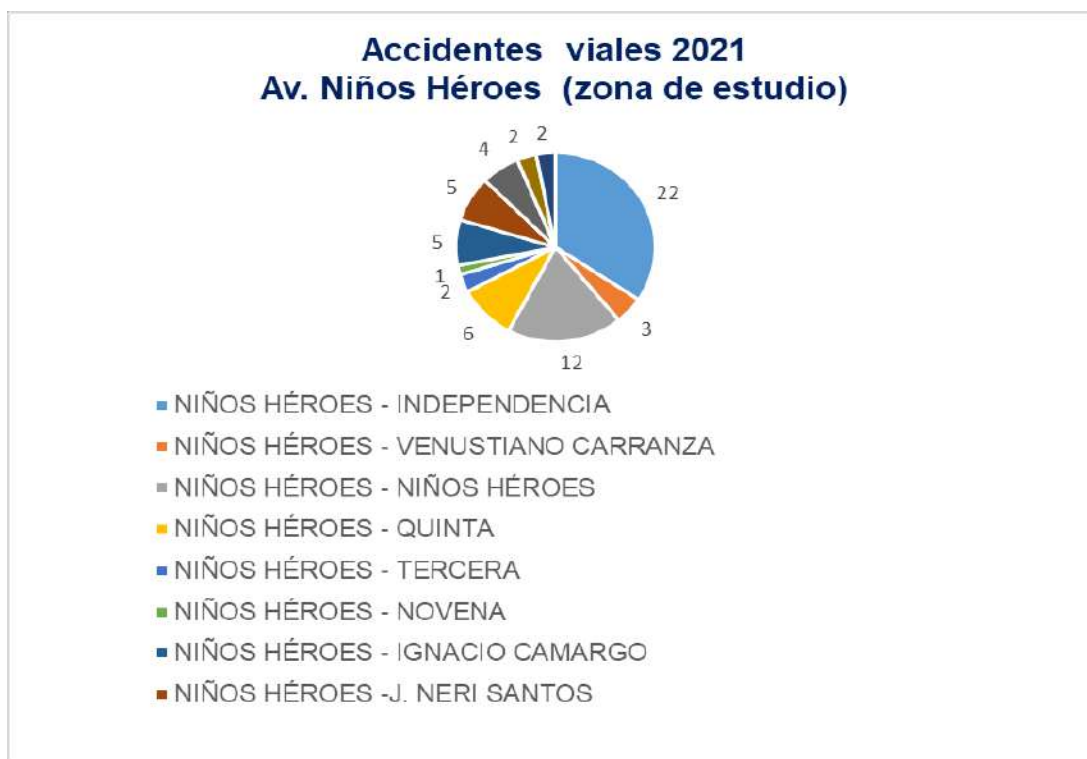


Figura 102. Accidentes viales 2021 Av. Niños Héroes (zona de estudio).

Nota: Representación gráfica de los accidentes viales 2021 de la zona de estudio a partir de la información del INEGI realizada por Ing. Nicolas Sanabria

Como se puede observar en la Figura 102. Accidentes viales 2021 Av. Niños Héroes (zona de estudio). El punto con mayor número de accidentes viales es entre las calles Av. Niños Héroes – Independencia, para entender mejor donde se encuentra el punto se muestra la siguiente Figura 103.

**ACCIDENTES VIALES ZONA URBANA DE CHIHUAHUA Y
ZONA DE ESTUDIO AV. NIÑOS HÉROES ENTRE AV. OCAMPO Y AV. CARRANZA**

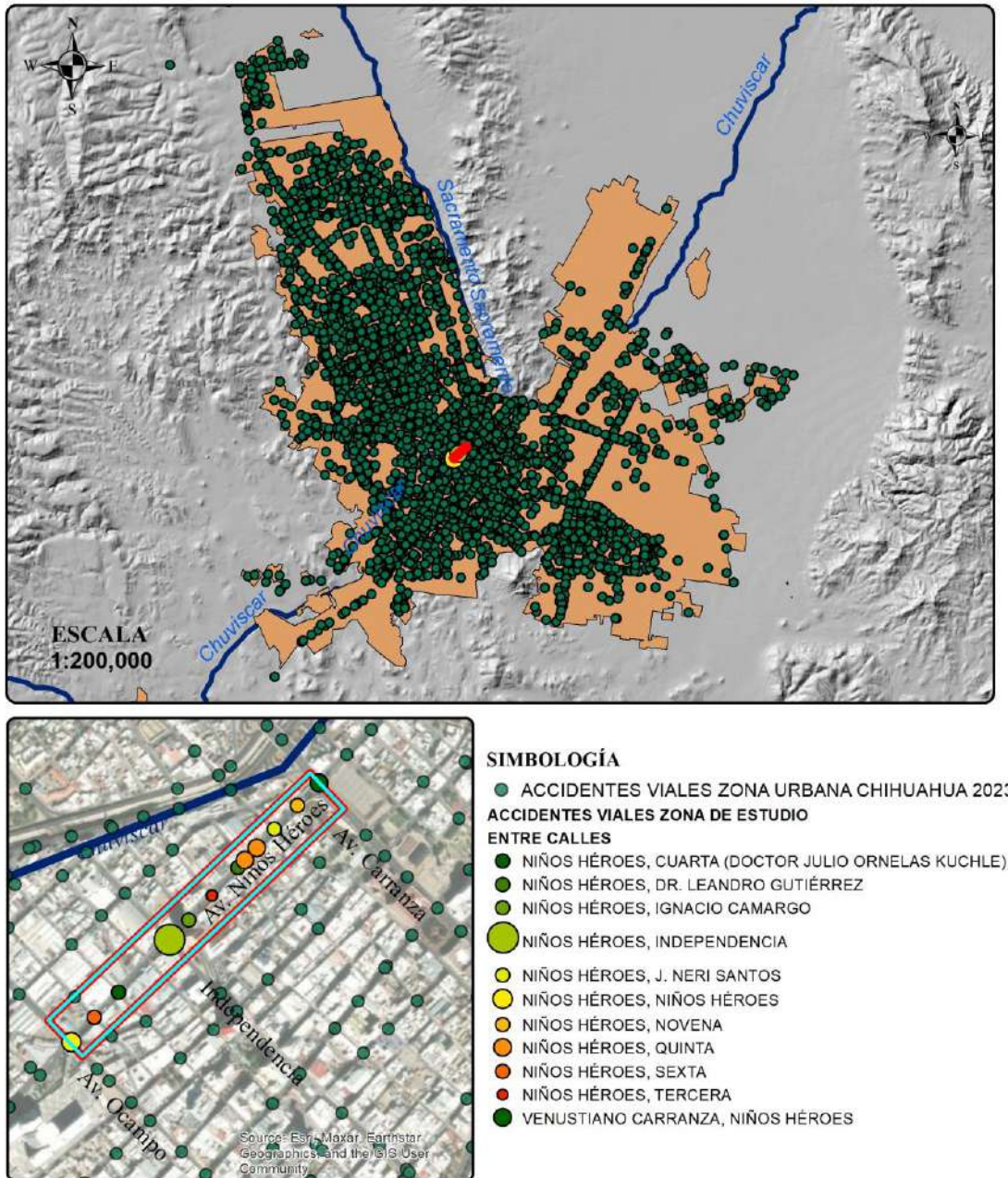


Figura 103. Mapa de Accidentes Viales 2021 zona urbana Chihuahua – zona de estudio.

Nota: Mapa Accidentes Viales 2021 procesado en ArcMap con información del INEGI realizado por Ing.Nicolas Sanabria

4 METODOLOGÍA

La idea principal de este proyecto de investigación es mejorar el sistema de gestión de pavimentos de la ciudad de Chihuahua, partiendo de un estudio de caso práctico sobre el corredor vial Av. Niños Héroes entre Av. Ocampo y Av. Venustiano Carranza. Para esto se debe observar la problemática de la zona: un corredor con diferentes tipos de afectaciones en su capa de rodadura tanto en el tramo de pavimento flexible, como en el tramo exclusivo del sistema de transporte Bowi en pavimento rígido. La primera es una visita de campo para conocer visualmente la funcionalidad, la importancia y las características de afectación que se perciben al momento de realizar una primera exploración para conocimiento de la zona de estudio.

Para esto, es necesario realizar una investigación que parte desde lo más general, explicando conceptos de pavimentos tanto rígidos como flexibles. La composición de la estructura de cada uno de los tipos de pavimento. Luego, realizando una exhaustiva búsqueda de información de los modelos de gestión de pavimentos, determinando generalidades que permitan abordar la temática abiertamente y de fácil entendimiento para el lector.

Continuando con el proceso investigativo, se contempla un levantamiento teórico-práctico de fallas y deterioros dentro del corredor vial a estudiar. Teórico, porque para poder realizar el levantamiento de información es importante entender los conceptos elementales para desarrollar un diagnóstico. Y práctico, porque se requiere obtener información y para esto es necesario recopilar datos visuales y de campo que permitan tener una estimación de fallas y deterioros dentro del corredor vial a estudiar.

Será necesario captar esta información por medio de visitas de campo y un proceso de inspección a partir de un vuelo fotogramétrico para evidenciar mejor la información sobre los daños, fallas y deterioros de la vía.

Luego de obtener esta información, se procede a realizar un análisis del porqué ocurre cada una de estas fallas por medio de un criterio de evaluación de carácter ingenieril, que permita establecer una estimación de los daños y, a partir de ahí, realizar una propuesta para su intervención.

Y finalmente, realizar una propuesta de modelo de gestión de pavimentos para la conservación de la vialidad del estudio de caso en cuestión, que funcione no solo para este proyecto en particular, sino que además funcione para cualquier vialidad en la ciudad de Chihuahua.

4.1 Visita preliminar para identificación de la zona

Las visitas previas o preliminares funcionan muy bien para una identificación rápida y oportuna de los daños sin necesidad de realizar evaluación alguna, simplemente con la experiencia adquirida a través el tiempo. Se puede ir observando el tipo de afectación y una posible solución a determinado daño superficial en los pavimentos. Para esta aproximación, fue necesario realizar tres visitas de reconocimiento de la zona. Cómo funciona su dinámica entre semana y cuál es su movimiento los fines de semana.

Se observó inicialmente que, entre semana, el movimiento de vehículos es bastante constante, tanto de carros particulares, como de autobuses urbanos. Mientras que los fines de semana la operación vehicular se reduce con respecto a los autobuses que circulan de diariamente, pero el flujo vehicular de carros particulares es prácticamente el mismo los fines de semana debido a que se encuentran muchos restaurantes y las familias chihuahuenses suelen visitar estos lugares los fines de semana.



Figura 104. Registro de aplicación SW Maps - Avenida Niños Héroes entre Ocampo y Carranza

Nota: para esta proyección se uso la aplicación SW maps la cual permite capturar fotografías y automáticamente pone su ubicación donde se toma la foto.

4.2 Vuelo en dron

Se realiza la primera exploración por medio de un vuelo fotogramétrico con un dron DJI Phantom 4 Pro V2. Luego, las fotos realizadas con el dron fueron llevadas al programa Agisoft Metashape Professional. Allí, se realiza un detallado procesamiento de la información, para obtener la siguiente orto fotografía.

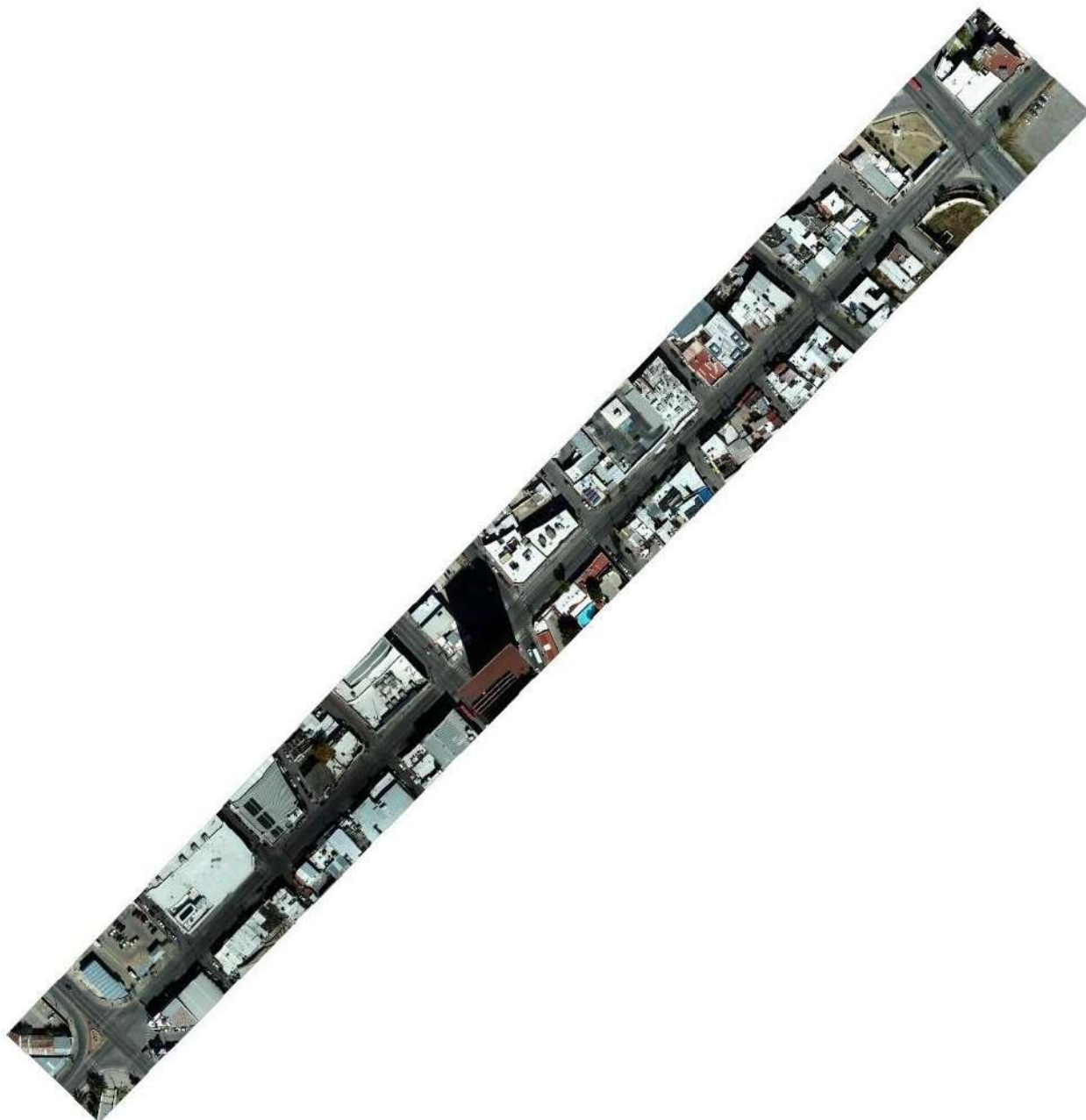


Figura 105. Ortofoto de la zona de estudio (Gómez, 2023)

4.3 Visitas para identificación de deterioros

Para la identificación de deterioros de la zona de estudio fue necesario realizar seis visitas, que se realizaron los sábados en la mañana y otras los domingos en la madrugada entre los meses de febrero a abril del 2023. Algunas fueron realizadas después de la 10 PM entre semana, momento justo cuando ya no se encuentra movimiento vehicular, esto con el fin de poder medir los datos y capturarlos por medio de fotografías.

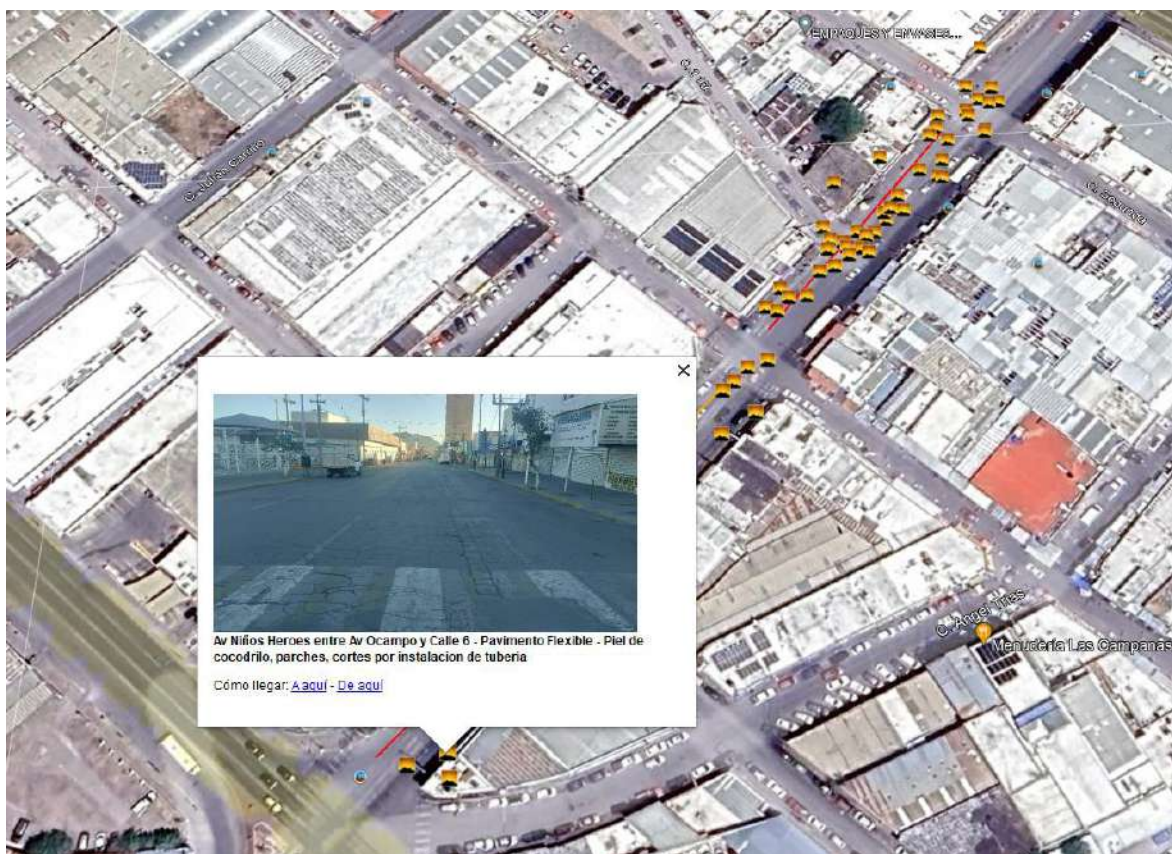


Figura 106. Captura de daños superficiales de la vía de estudio.

Los datos fueron capturados por la app SW Maps para sistema operativo android, la cual permite tomar la foto y adicionar una descripción en donde se almacena la información de posicionamiento, y posteriormente se puede pasar un archivo KML, el cual se puede abrir en Google Earth.

4.4 Clasificación del pavimento encontrados en la vialidad de estudio

Para la clasificación del estado actual de los pavimentos encontrados en la vialidad de estudio, fue necesario realizar una propuesta para su medición y calificación. En particular para los pavimentos rígidos, realizando una modificación en el tipo de pavimento de la metodología PASER. Mientras que para la clasificación del pavimento de pavimentos flexibles se implementa la metodología PCI.

4.4.1 Aplicación del método PCI (ASTM D6433-03) para pavimentos flexibles

Es un método desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, en el cual por medio de una evaluación visual se determina el tipo de fallo superficial y se clasifica el tipo de severidad en alto (high), medio (medium), bajo (low). Para partir de unos valores deducidos de unas tablas propuestas por la normativa, luego será necesario realizar una corrección de los valores deducidos. Y así, finalmente, obtener el valor PCI para conocer el estado de una unidad de muestra¹⁶.

Se suele usar para la evaluación de pavimentos flexibles.

A continuación, se realiza una descripción del procedimiento con un ejemplo.

¹⁶ Unidad de muestra o de trabajo: es un área determinada por el evaluador que permite realizar un muestreo dentro de un rango o un límite preestablecido para poder realizar la medición en tramos con la metodología PCI.

Tabla 10. Formato desarrollado para evaluación PCI Pavimentos flexibles (ASTM D6433-03, 1993) (Sanabria, 2023).

 METODO PCI INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE 							Esquema:		
Nombre de la vía:				Abscisa Inicial:					
Ciudad:				Abscisa Final:					
Ejecutor(es):				Area(m²):					
Fecha:									
FALLAS 1. Piel de cocodrilo 6. Depresión 11. Parches y parches de cortes utilitarios 16. Fisura parabólica o por deslizamiento 2. Exudación 7. Fisura de borde 12. Agregado pulido 17. Hinchamiento 3. Fisuras en bloque 8. Fisura de reflexión de junta 13. Baches 18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados 4. Abultamientos y hundimientos 9. Desnivel carril-berma 14. Ahuellamiento desprendimiento de agregados 5. Corrugación 10. Fisuras longitudinales y transversales 15. Desplazamiento									
FALLA	CANTIDAD						TOTAL (m²)	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO

Nota: Este formato fue adaptado de la normativa ASTM D6433-03

Inicialmente es necesario establecer unas unidades de trabajo (Ver nota al pie 16), para esta evaluación se implementaron las siguientes unidades:

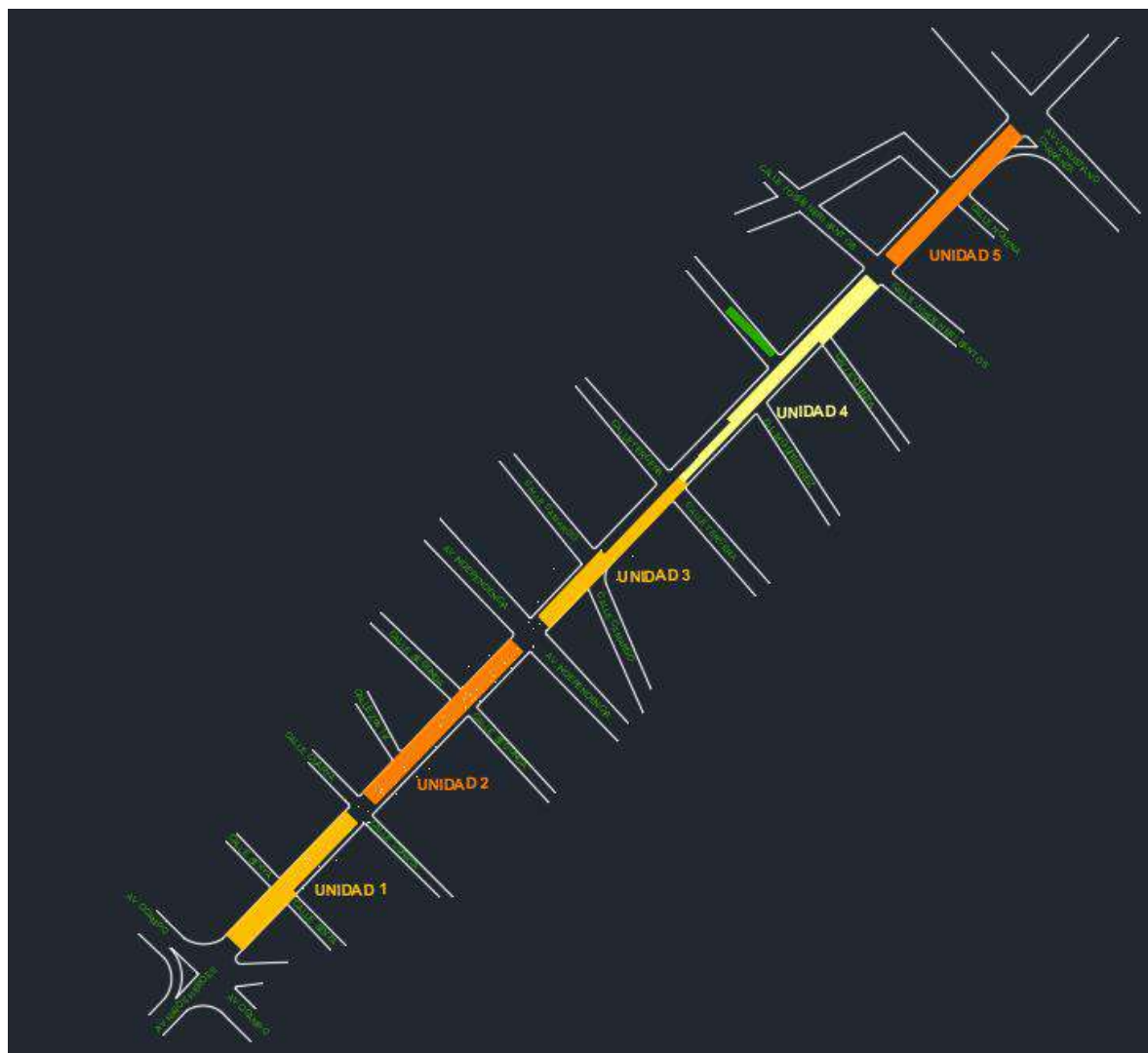


Figura 107. Unidades de muestreo para metodología PCI.

4.4.1.1.1 Procedimiento para el cálculo de PCI

Para las mediciones de las áreas unitarias dentro de cada una de las muestras, se realizó medición en campo y se hizo una proyección en la ortofoto, la cual permitió realizar las mediciones de las áreas.

Tabla 11. Ejemplo del cálculo de PCI.



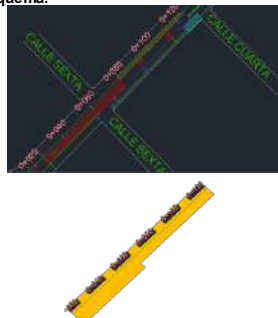
MÉTODO PCI
ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS
EN VÍAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES



Adaptación del método por
Ing. Nicolas Sanabria

Nombre de la vía: **Av. Niños Heroes entre Avenida Melchor Ocampo - Calle Cuarta**
Ciudad: **Chihuahua**
Ejecutor(es): **Ing. Nicolas Sanabria**
Fecha: **19/07/2023**

Abscisa Inicial: **0+020**
Abscisa Final: **0+120**
Area(m²): **1265.22**
2 Carriles

Esquema:


FALLA

1. Piel de cocodrilo
2. Exudación
3. Fisuras en bloque
4. Abultamientos y hundimientos
5. Corrugación

6. Depresión
7. Fisura de borde
8. Fisura de reflexión de junta
9. Desnivel carril-berma
10. Fisuras longitudinales y transversal

11. Parches y parches de cortes utilitarios
12. Agregado pulido
13. Baches
14. Ahuellamiento desprendimiento de agregados
15. Desplazamiento

16. Fisura parabolica o por deslizamiento
17. Hinchamiento
18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados

Columna 1
Se indica tipo de falla y severidad (H,M,L)

Columna 2-7
Se establecen las mediciones por áreas medidas en M²

Columna 8
Es la sumatoria de las áreas medidas en M²

Columna 9
Es la operación de la sumatoria del área medida m² dividido el área de unidad x 100%

Columna 10
Es un valor estimado por método gráfico según el tipo de falla y grado de severidad (los graficos se encuentra en la ASTM D6433-03)

FALLA	CANTIDAD						TOTAL (m²)	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1H	17.029	219.27					236.299	18.68	66
3M	12.12						12.12	0.96	5
7M	0.1275						0.1275	0.01	0
10M	0.01044						0.01044	0.00	0
11 H	37.13						37.13	2.93	30
13H	1.12						1.12	0.09	20
14H	41.78	1.18					42.96	3.40	45
15H	10.48						10.48	0.83	21
18M	6						6	0.47	18

Luego de ingresar las medidas en la tabla y los valores deducidos, se realiza una clasificación de la columna 9 de mayor a menor, descartando los valores 0 dentro de la columna.

Tabla 12. Valores deducidos PCI de mayor a menor

Valor deducido						
66	45	30	21	20	18	5

Posteriormente, se realiza la tabla para realizar la corrección del valor deducido, usando los valores obtenidos al realizar la estimación con los gráficos de la normativa ASTM D6433-03, según el tipo de falla.

Tabla 13. Tabla de valores deducidos para proyección de valor por corrección del valor deducido.

#	Valor deducido							
1	66	45	30	21	20	18	5	
2	66	45	30	21	20	18		
3	66	45	30	21	20			
4	66	45	30	21				
5	66	45	30					
6	66	45						
7	66							

Una vez organizada la tabla de mayor a menor con los números de mayor a menor, llenando las casillas según como corresponda su nivel, se procede a realizar el lleno de los espacios vacíos en todos los niveles donde se ubicó número en cada nivel. Para esto es necesario llenar la parte inferior con un 2 como indica la normativa.

Tabla 14. Valores deducidos con el lleno de casillas vacías según la ASTM D6433-03.

#	Valor deducido							
1	66	45	30	21	20	18	5	
2	66	45	30	21	20	18	2	
3	66	45	30	21	20	2	2	
4	66	45	30	21	2	2	2	
5	66	45	30	2	2	2	2	
6	66	45	2	2	2	2	2	
7	66	2	2	2	2	2	2	

Ahora se debe proceder a determinar el número de deducciones permisibles “m” empleando la ecuación

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98} \right) * (100 - HCV) \leq 10$$

Ecuación 3 Número de deducciones permisibles

m= número máximo admisible de valores deducidos incluyendo fracciones (para aplicar al procedimiento debe ser menor o igual que 10)

HDV= el mayor valor deducido por la unidad de muestra.

Entonces para este procedimiento se realiza

HDV 66

Determinar el numero de deducciones permisibles "m"

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * (100 - HCV) \leq 10$$

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * (100 - 66) \leq 10$$

$$m = 4.12$$

Ahora el valor "m" se le resta el valor entero, para este caso $4.12 - 4 = 0.12$. Este valor obtenido será multiplicado por el menor valor deducido por el método gráfico, para este caso, como se muestra en la gráfica en color rojo, es el valor de 5.

Tabla 15. Valor "m" estimado por valor deducido menor

#	Valor deducido							
1	66	45	30	21	20	18	5*0.12= 0.6122	
2	66	45	30	21	20	18	2	
3	66	45	30	21	20	2	2	
4	66	45	30	21	2	2	2	
5	66	45	30	2	2	2	2	
6	66	45	2	2	2	2	2	
7	66	2	2	2	2	2	2	

Se procede a realizar la sumatoria total y así mismo determina el nivel (q) de entrada para poder posteriormente calcular el valor CDV (Valor deducido Corregido)

#	Valor deducido								TOTAL	q
1	66	45	30	21	20	18	0.612244898		200.61	7.00
2	66	45	30	21	20	18	2		200.00	6.00
3	66	45	30	21	20	2	2		186.00	5.00
4	66	45	30	21	2	2	2		168.00	4.00
5	66	45	30	2	2	2	2		149.00	3.00
6	66	45	2	2	2	2	2		121.00	2.00
7	66	2	2	2	2	2	2		78.00	1.00

El paso a seguir es ingresar por medio de los valores (q) y la sumatoria de los valores de deducidos usando la Figura 108.

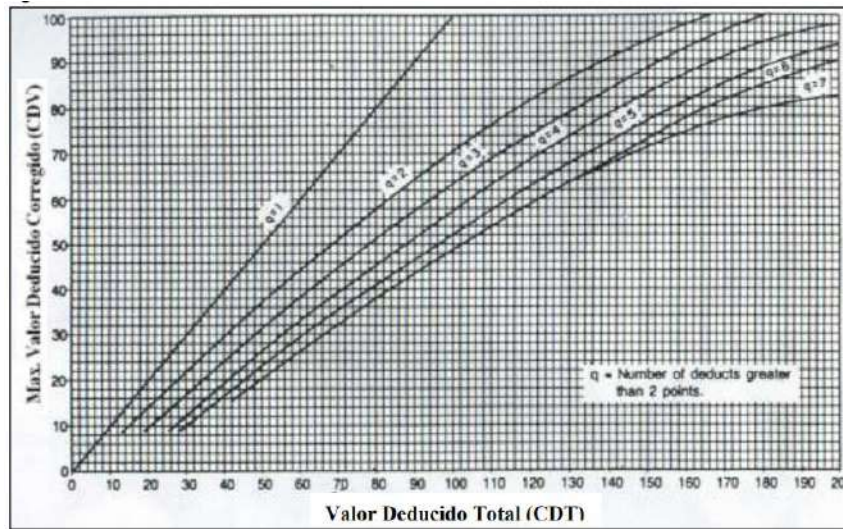


Figura 108. Valores deducidos totales con ingreso q (nivel) para corrección de valor deducido (ASTM D6433-03, 1993).

A continuación, se relaciona todo el cálculo respectivo de la unidad de muestra para el ejemplo, los demás cálculos puede encontrar en el anexo 10.5.1.

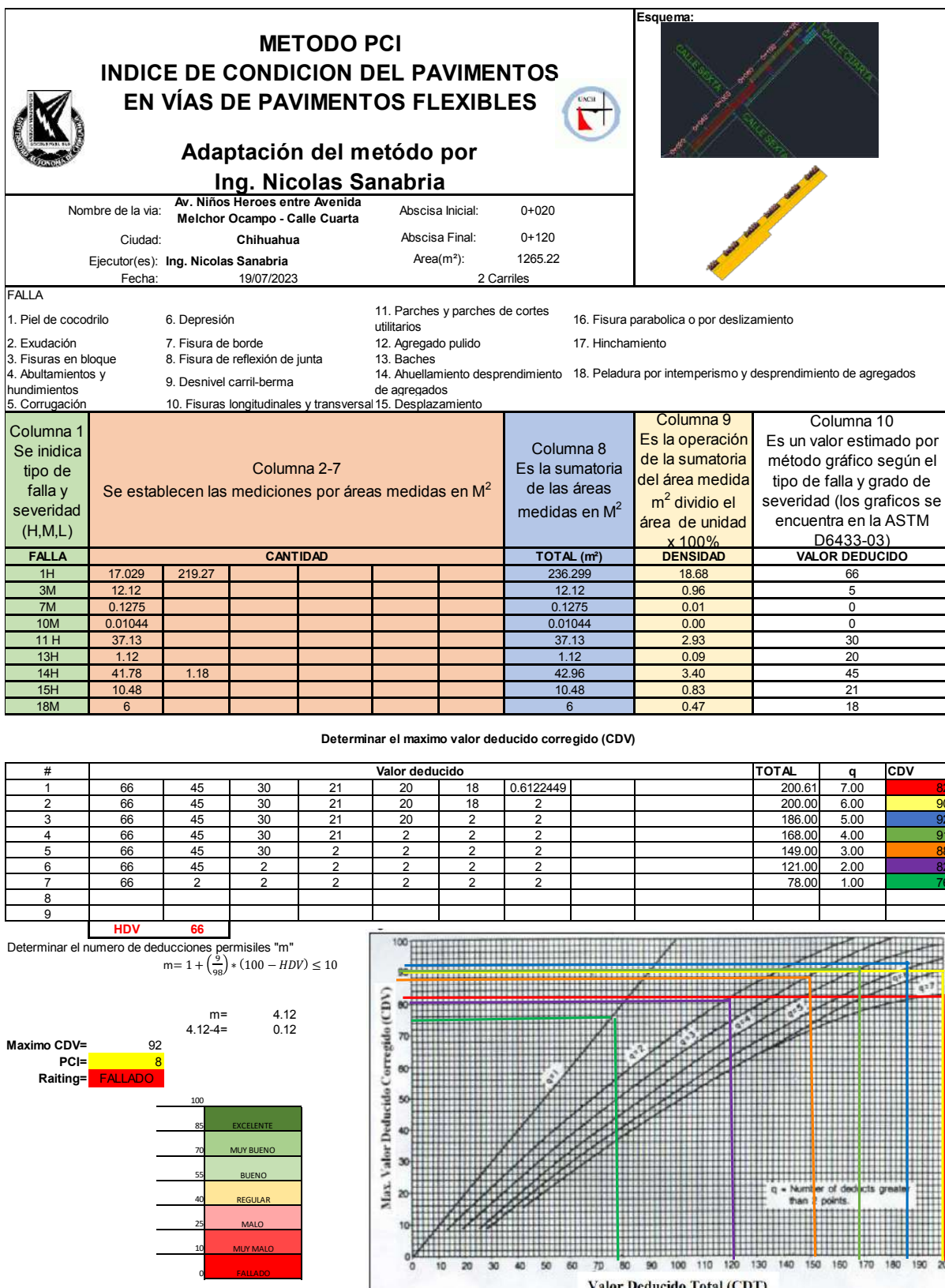


Figura 109. Cálculo completo de PCI (Sanabria, 2023).

4.4.2 Aplicación del método PASER para pavimentos rígidos

Para la metodología de evaluación de pavimentos rígidos fue necesario realizar una adaptación del método PASER usado normalmente para pavimentos flexibles implementando un cambio para pavimentos rígidos y estableciendo una medición similar a la metodología original.

4.4.2.1 Adaptación del metodo PASER para Pavimentos Rígidos

A continuación, se presenta el formato para evaluación para pavimentos rígidos adaptado.

Tabla 16. Formato para evaluación de pavimentos rígidos.

MÉTODO PASER ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria													Esquema:		
 															
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Avenida Ciudad: Chihuahua Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria Fecha: Abscisa Inicial: Abscisa Final: Area(m²):															
TIPO FALLA (T.F) 1. Grietas de esquina 2. Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4. Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separación de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o escamado													CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10. Excelente		
T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE AREA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	A (m²)		
Total															0.000%

Nota: para la afectacion por Grietas se usa una estimacion de ancho de 0.3m para poder determinar un area de afectación considerable para el estudio

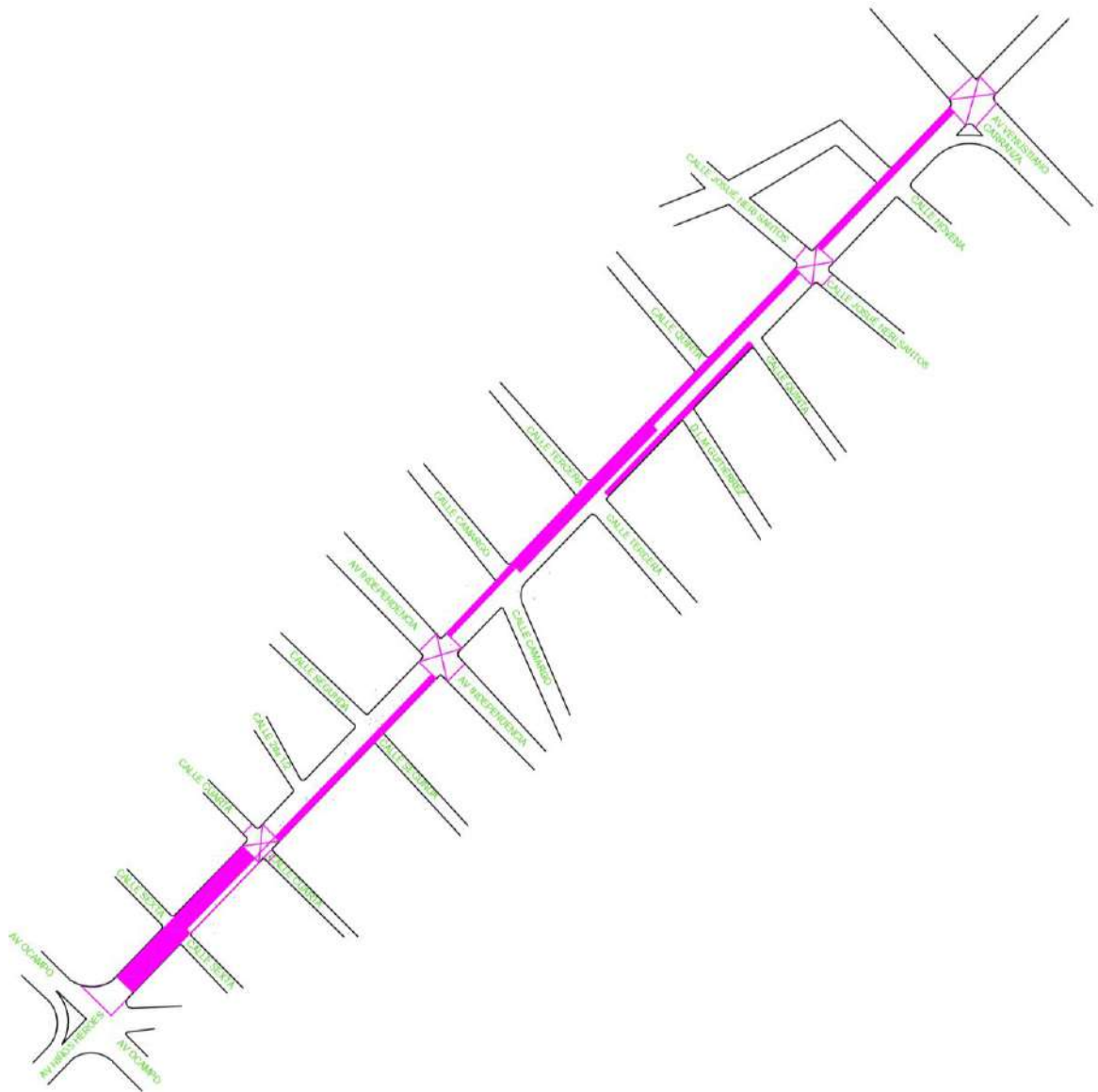


Figura 110. Identificación de pavimentos rígidos en la zona de estudio.

Nota: Con color morado los carriles en concreto hidráulico y con una X de color morado se presentan las intersecciones en concreto hidráulico.

Inicialmente se realiza la ortofoto para la identificación de las zonas en concreto hidráulico dentro de las cuales se aprecian de un color más claro en

relación con los pavimentos flexibles. Para la identificación de fallas se muestra un ejemplo de cómo se hace el levantamiento a continuación:

Tabla 17. Ejemplo del levantamiento de información para pavimentos rígidos

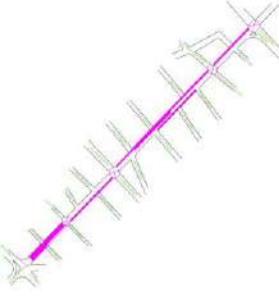
MÉTODO PASER ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Adatación del método por Ing. Nicolas Sanabria													Esquema: 	
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Calle Sexta y Calle Cuarta Ciudad: Chihuahua Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria Fecha: 19/07/2023 Abscisa Inicial: 0+060 Abscisa Final: 0+120 Area(m²): 210.52														
TIPO FALLA (T.F) 1. Grietas de esquina 2. Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4. Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separacion de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o e:													CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10. Excelente	
T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE AREA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	A (m²)	
1	1										2	0.3	0.6	0.285%
2		2									18	0.3	5.4	2.5651%
4			3								5	3.6	18	8.5503%
8			3										1.5	0.7125%
9					5								1.3	0.6175%
11			3										34.78	16.5210%
17											Total			29.251%

Nota: para la afectacion por Grietas se usa una estimacion de ancho de 0.3m para poder determinar un area de afectación considerable para el estudio

Se debe identificar cada una de las zonas afectas dentro de la unidad de muestra, para este caso en partículas fue en las abscisas 0+060 a 0+120. Se identificaron 6 tipos de fallas. Inicialmente indica que los rangos de clasificación se encuentran bajos y que requiere una atención porque su condición en general, es bastante pobre o muy pobre.

Sin embargo, como complemento para esta evaluación es importante analizar todas las zonas de concreto con respecto a las fallas en general dentro de todas las unidades afectadas. Y para esto, es necesario realizar un levantamiento en cada unidad de muestra, y posteriormente recopilar toda esta información en una sola tabla que contenga la información con abscisado con el inicio y fin del tramo. Indicando cual tipo de falla está presentando. Se muestra Tabla 18.

Tabla 18. Formato método PASER adaptado y organizado.

 MÉTODO PASER INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RIGIDOS Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria 														Esquema:			
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Avenida Melchor Ocampo - Venustiano Carranza Ciudad: Chihuahua Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria Abscisa Inicial: 0+000 Abscisa Final: 0+020 Area(m²): 4079.23																	
Fecha: 25/07/2023																	
TIPO FALLA (T.F) 1. Grietas de esquina 2. Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4. Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separación de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o escamado 11. Parches CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10. Excelente																	
K Inicial	K Final	T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE AREA	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	A (m²)		
0+000	0+020	1			3									3	0.3	0.9	0.022%
		2			3									23.31	0.3	6.993	0.1714%
		11					5									28.94	0.7094%
0+060	0+120	1	1											2	0.3	0.6	0.015%
		2		2										18	0.3	5.4	0.1324%
		4			3									5	3.6	18	0.4413%
		8			3											1.5	0.0368%
		9					5									1.3	0.0319%
		11			3										34.78	0.8526%	
0+120	0+140	4		2									4.5	3.6	16.2	0.397%	
		11			3										15.75	0.3861%	
0+140	0+280	1	1											1.05	0.3	0.315	0.008%
		2			3									117.27	0.3	35.181	0.8624%
		8		2										3.8	0.2	0.76	0.0186%
		9	1												66.07	1.6197%	
		11		2											66.07	1.6197%	
0+280	0+300	1	1										2.5	0.3	0.75	0.018%	
		11					5								30.8	0.7550%	
0+300	0+420	2		2									15.47	0.3	4.641	0.114%	
		8		2											1.61	0.0395%	
0+420	0+600	1				4								5	0.3	1.5	0.037%
		2		2										89.17	0.3	34.84	0.8541%
		4			3									7	3.45	24.15	0.5920%
		6			3									39.5	0.3	11.85	0.2905%
		8			3											0.4	0.0098%
		11				4									123.68	3.0319%	
0	0+720	2					5						30.86	0.3	9.258	0.227%	
Total																	13.293%

Nota: para la afectación por Grietas se usa una estimación de ancho de 0.3m para poder determinar un área de afectación considerable para el estudio

Una vez identificadas todas las fallas presentes sobre las unidades de muestra como se indica en la Tabla 18, es importante verificar que no se halla desplazado ningún dato.

Tabla 19. Resumen de todas las fallas de pavimento rígido presentes en la vía.

K Inicial	K Final	T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE AREA
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	A (m²)	
0+000	0+020	1			3								3	0.3	0.9	0.022%
		2			3								23.31	0.3	6.993	0.1714%
		11					5								28.94	0.7094%
0.+060	0+120	1	1										2	0.3	0.6	0.015%
		2		2									18	0.3	5.4	0.1324%
		4			3								5	3.6	18	0.4413%
		8			3										1.5	0.0368%
		9					5								1.3	0.0319%
		11				3									34.78	0.8526%
0+120	0+140	4		2									4.5	3.6	16.2	0.397%
		11			3										15.75	0.3861%
0+140	0+280	1	1										1.05	0.3	0.315	0.008%
		2			3								117.27	0.3	35.181	0.8624%
		8		2									3.8	0.2	0.76	0.0186%
		9	1												66.07	1.6197%
		11		2											66.07	1.6197%
0+280	0+300	1	1										2.5	0.3	0.75	0.018%
		11					5								30.8	0.7550%
0+300	0+420	2		2									15.47	0.3	4.641	0.114%
		8		2											1.61	0.0395%
0+420	0'+600	1				4							5	0.3	1.5	0.037%
		2		2									89.17	0.3	34.84	0.8541%
		4			3								7	3.45	24.15	0.5920%
		6			3								39.5	0.3	11.85	0.2905%
		8			3										0.4	0.0098%
		11				4									123.68	3.0319%
0	0+720	2					5						30.86	0.3	9.258	0.227%
															Total	13.293%

En color amarillo se presentan las celdas de clasificación del daño dentro de cada unidad de muestra. Y en color verde, el área afectada por cada tipo de falla de la unidad de muestra. Se han resaltado estos colores para la explicación de la metodología.

Se debe sumar cada calificación con respecto al mismo tipo de fallas, a continuación se indican los valores para este ejemplo:

Tabla 20. Identificación de falla 1 y su respectiva calificación por unidad de muestra

3	1	1	1	4
---	---	---	---	---

Una vez se tengan estos números se debe realizar un promedio para determinar la clasificación general del tramo de vía completo. Y después, si el valor da una aproximación en 0.5 se debe proyectar a redondear a la calificación más deplorable para la condición del pavimento. Se muestra en ejemplo con el tipo de falla 1:

Tabla 21. Promedio de tipo de falla 1 para el tramo completo

	3	1	1	1	4
suma	10				
Promedio	2				

Cuando el promedio 0.5 haya dado como resultado 2.5 se debe redondear hacia la condición más desfavorable. Es decir, se aproximaría al 2. Pero si en otro caso se presentara un número superior a 0.6 es conveniente aproximar ese promedio al entero superior siguiente, es decir si fuese 2.6 se aproximaría al 3 de calificación en deterioro.

Después de haber obtenido estos datos, es importante mencionar que se debe estimar un área de afectación con respecto al área global del tramo de estudio. Sin embargo, también se debe detallar el tipo de afectación por unidad de muestra. Esto permitirá saber cuál es el tramo que presenta mayor deterioro en pavimentos rígidos. Para este ejemplo, se sumarán los valores en verde presentes en la Tabla 19. Resumen de todas las fallas de pavimento rígido presentes en la vía

Dando como resultado del ejemplo Tabla 22.

Tabla 22. Porcentaje de área afectada del tramo de falla tpo 1

Área tramo (m²)	4079.23				
Área afectada (m²)	0.9	0.6	0.315	0.75	1.5
al tramo	0.022%	0.015%	0.008%	0.018%	0.037%
relación con el	0.100%				

Porcentaje de area afectada del tramo de falla 1

Y así, se realiza el proceso de identificación del tipo de deterioro para cada falla encontrada en todo el tramo de vía analizado según sea su unidad de muestra. Finalmente, se realiza un seguimiento con cada tipo de falla encontrado dentro de las unidades de muestra y se relaciona con el área global del tramo. Se muestra Tabla 23.

Tabla 23. Promedio de clasificación y área afectada del tramo

T.F	SUMA CALIFICACIÓN	PROMEDIO CALIFICACIÓN		SUMADE ÁREA AFECTADA
1	10	2	2	0.100%
2	17	2.83	3	2.3611%
3	0	0	0	0
4	5	2.5	2	1.4304%
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	10	2.5	2	0.0652%
9	6	3	3	1.6515%
10	0	0	0	
11	20	4	4	7.3548%
		1.45		12.9627%
		PROMEDIO GENERAL DE CALIFICACIÓN DEL TRAMO		SUMATORIA DEL AREA AFECTA GLOBAL DEL TRAMO

4.5 Identificación de deterioros

Para la identificación de los deterioros es importante tener una referencia de la ubicación del daño, en especial para las personas que van a realizar el procedimiento de mantenimiento. Posteriormente saber en qué lugar se encuentra ubicado el daño. Para esto se usó la aplicación SW MAPS. Una app que permite capturar la imagen del daño, dar un posicionamiento del daño y realizar una descripción en la cual se indica entre que calles, tipo de pavimento, daño presente visualmente y en algunas ocasiones mediciones del área o longitud afectada de determinada falla. Esto es proyectado desde la app por un archivo KMZ que cuenta con toda la información registrada en campo. Se muestra en Figura 111.

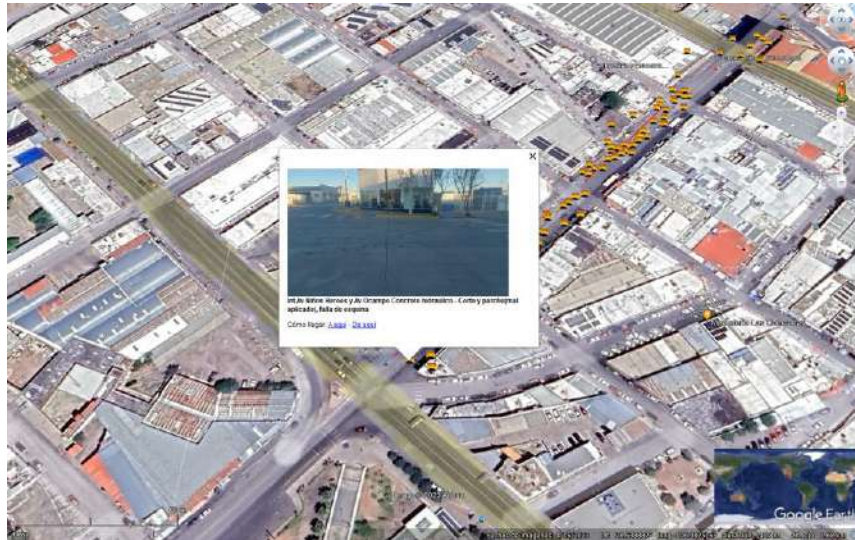


Figura 111. Ejemplo de levantamiento de la información de fallas de pavimento en la zona de estudio.

4.5.1 Identificación de deterioros Pavimentos Flexibles

Para la identificación de deterioros en pavimentos flexibles se evidencia la carencia superficial del pavimento en la vialidad de estudio, se tuvo presente cada falla encontrada para el levantamiento de información e identificación de deterioros de los pavimentos. Se muestra una evidencia de las encontradas al momento de realizar el levantamiento de daño.

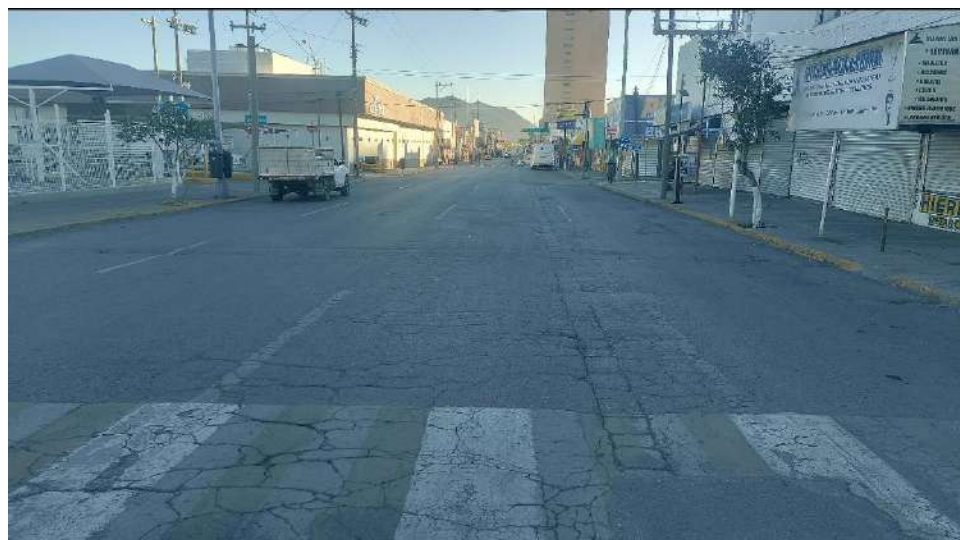


Figura 112. Evidencia de daños superficiales en pavimentos flexibles.

4.5.2 Identificación de deterioros Pavimentos Rígidos

Se realizó el registro de fallas basados en los manuales de inspección visual para pavimento rígidos. Principalmente, la composición de la vialidad cuenta con diferentes sectores de pavimento rígidos, en la intersección, carril de bus urbano y carril especial para el sistema de transporte público masivo tipo BRT (siglas en ingles Bus Rapid Transit), llamado Bowi. Se muestra Figura 113.

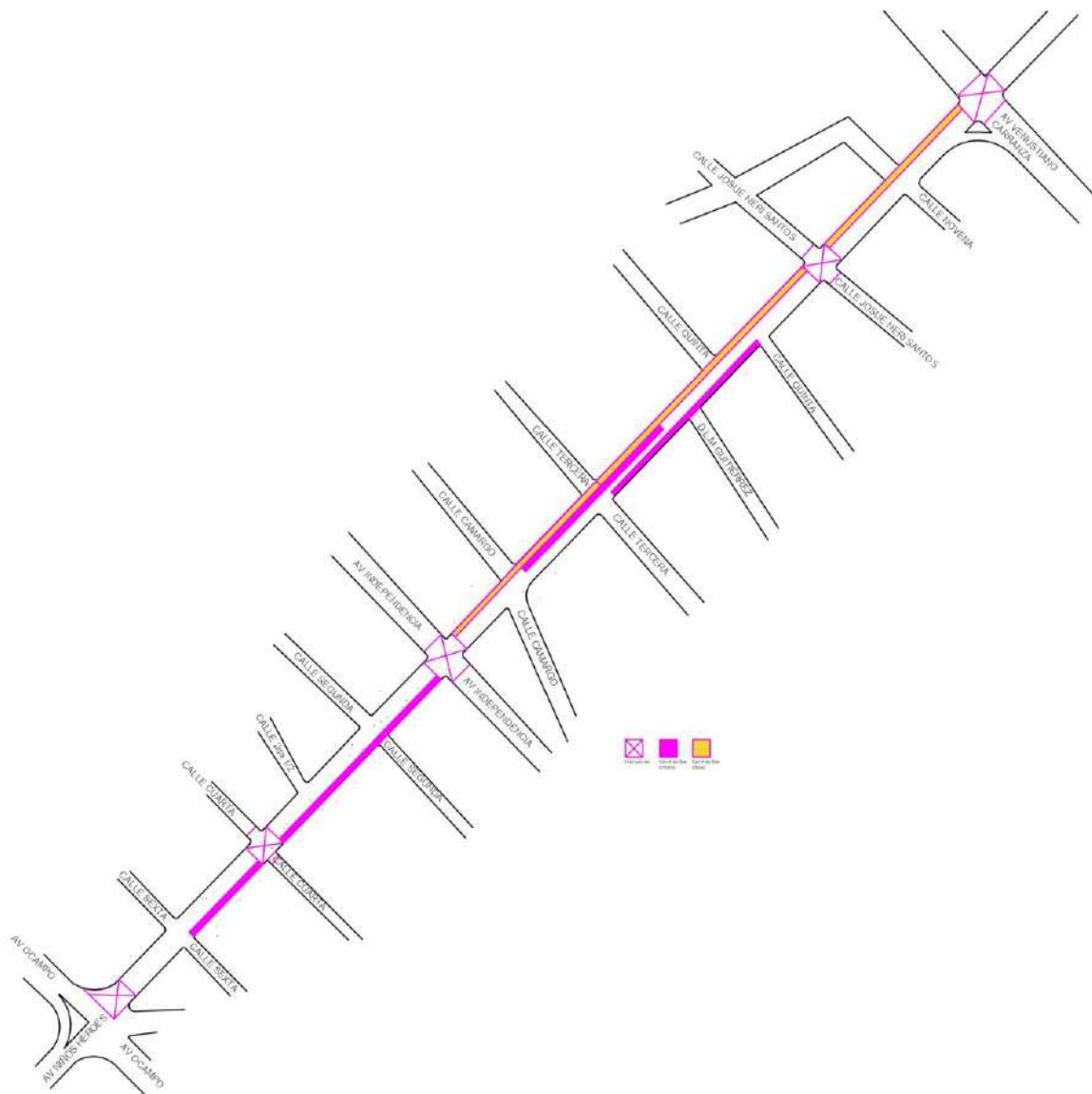


Figura 113. Muestra áreas con concreto hidráulico.

Nota: en morado pavimento rígido para buses y carros, en amarillo carril exclusivo del bowi y en x las intersecciones de la vía.

4.5.2.1 Intersecciones

La vialidad está compuesta por cinco intersecciones en concreto:

- 1) Av. Melchor Ocampo y Av. Niños Héroes
- 2) Calle Cuarta y Av. Niños Héroes
- 3) Av. Independencia y Av. Niños Héroes
- 4) Calle Josué Neri Santos
- 5) Av. Venustiano Carranza y Av. Niños Héroes

Estas intersecciones presentan diferentes tipos de fallas, dentro de las cuales se destacan fallas de esquina, grietas y fisuras en distintos sectores.



Figura 114. Evidencia de daños superficiales en pavimentos rígidos.

4.5.2.2 Carril de bus urbano

El carril del bus urbano es un carril mixto donde tanto vehículos como buses pueden transitar por este sector. Sin embargo, la mayoría de los buses urbanos, suelen ocupar las zonas en pavimento flexible, una vez que es expuesto este tipo de pavimento a sobrecargas como los buses y camiones de transporte. Suele estar propenso a fallar. Evidentemente, ese carril exclusivo funciona bien para las zonas de parada de los pasajeros, pero se está presentando un problema mayor al no hacer uso de las respectivas zonas de buses urbanos al momento de invadir o transitar los carriles que no cuentan con pavimento rígido como se muestra en la

Figura 115. Se muestra una evidencia del estado de uno de los carriles de bus urbano de la ciudad de Chihuahua.



Figura 115. Evidencia del estado de deterioro de uno de los carriles de bus urbano.

Se aprecia una falla en parche y una zona de recarpeteo asfáltico sobre concreto hidráulico. A simple vista se observa que la compactación de estas zanjas no fue la óptima, que siguen ocurriendo hundimientos y daños sobre los parches asfálticos que presentan desprendimiento de agregados debido a las altas cargas a las que son expuestos en esta zona de abordaje de pasajeros.

4.5.2.3 Carril de sistema de transporte (Bowi)

Este carril es un carril exclusivo para el sistema de transporte BRT por sus siglas en inglés (Bus Rapid Transit), es un sistema que actualmente lleva el nombre de Bowi y está compuesto por buses que paran en determinadas estaciones, y particularmente moviliza muchas personas en la zona centro de la ciudad.

4.6 Dictamen técnico del pavimento

Evidentemente la zona de estudio Av. Niños Héroes entre las Av. Ocampo y Av. Carranza viene presentando problemas estructurales en varias zonas del tramo, esto debido a que es una de las avenidas que presenta un mayor número

de actividades de intervención hidrosanitaria, eléctricas o telefónicas. Y esto, hace que en algunas ocasiones, queden mal ejecutadas o mal intervenidas generando problemas en la estructura del pavimento.

Hay otras fallas dentro de lo que se encontró por medio de este análisis de estudio. Se evidencia que, los buses urbanos no suelen ocupar el carril correspondiente para su tipo de vehículo. Suelen cruzarse o cambiar con frecuencia al carril o los carriles que se encuentran en pavimento asfáltico. Y esto, genera hundimientos, desplazamiento y muchas veces presentan una gran formación de piel de cocodrilo que posteriormente evoluciona y se transforma en un desprendimiento parcial o total de la superficie de rodamiento.

4.6.1 Problemática general

Todas las rutas de buses urbanos de la ciudad de Chihuahua, convergen en el punto de estudio. Desde la Av. Niños Héroes entre Av. Melchor Ocampo y Av. Venustiano Carranza, salen buses para el sur y el norte de la ciudad. Esto genera un problema notorio en la zona estudiada, El tipo de tráfico que frecuenta esta avenida es altamente perjudicial para la vía, si esta no se ha diseñado con las características necesarias para cumplir la función de ser un correo arterial de la ciudad. Las excesivas y repetidas cargas a las que está expuesto este corredor. Generan daños permanentes¹⁷ en los dos tipos de pavimentos que se encuentran en el corredor vial. Se analiza que al ser una zona de parada de buses, se desarrolla frenado y acelerado por parte de los vehículos que la transitan. Y esto, deja en evidencia un notorio desgaste de la superficie de rodamiento, haciendo que se vaya degenerando y afectando más cada día.

4.7 Propuestas de intervención

Explorando la situación de la unidad encargada de realizar el mantenimiento de la malla vial en Chihuahua, se han encontrado varias falencias dentro de las cuales vale la pena resaltar especialmente una en particular; y es que, esta sección de mantenimiento de la malla vial considera que con el actual

¹⁷ Daños permanentes: son daños en los cuales se genera una deformación en la superficie y esta no genera

número de residentes, si logra atender todas las necesidades de una ciudad tan grande como lo es Chihuahua.

Sin embargo, este número de residentes es muy reducido para la extensión de la ciudad. Es por eso que por medio de este documento, se sugiere una nueva ayuda a cuantificar y estimar daños superficiales, con la implementación de medios electrónicos como el uso de Smartphone o los mismos auxiliares de vuelo, como lo son los drones. Y para esto, será necesario realizar una división por zonas para la atención de daños en pavimentos. Como recomendación a la observación obtenida en campo se puede optimizar por medio de un área de forma de cuadrante donde a través de dispositivos electrónicos se pueda realizar los inventarios de una manera más precisa y rápida.

Adicional, sería importante utilizar una aplicación que permita capturar una foto y saber en espacio y tiempo el lugar donde se presenta una falla. Y así mismo, ver y resolver el problema de manera oportuna.

Con el apoyo de la tecnología se puede obtener una buena aproximación del estado actual de una vía, pero si en algún momento se requiere, ha de ser necesario involucrar un medio mediante el cual pueda remitir al ente encargado de control y hacer seguimiento para la detección de vías afectadas. Y para esto, se podría usar una línea de atención. Y así, la gente notificaría el problema por medio de este número, para transmitir la información donde se presenta el problema. Esto ayudaría a mejorar el sistema de atención e identificación de daños.

En la actualidad existen diferentes aplicaciones de telefonía móvil que permiten capturar información gráfica y localizada. Una de estas es **SW Maps** (para sistemas operativos Android) en la cual puede la persona tomar su registro fotográfico asignar una nota y posteriormente exportar esta información en formato KML (formato que muestra datos geográficos). Este tipo de formato puede ser abierto en Google Earth y es en este lugar donde se van a encontrar los registros.

Si se implementa una idea como la que se presenta en este documento, se ayudaría a optimizar tiempos de traslado de residentes, y recursos disponibles por zonas dentro de la ciudad. Y al ser de bajo costo podría ser replicado en otras ciudades o municipios.

Para validar esta metodología ha de ser necesario realizar un control bajo bases de datos. Se puede usar (Excel o cualquier otro medio) donde se recopile información de las vías que van siendo atendidas, el tipo de intervención que se realiza con mes y año de la actividad. Esto con el fin de poder ir recopilando la mayor cantidad de información de las vías en la ciudad. Y especialmente, que esta recopilación sea dentro de las respectivas unidades de trabajo. Una vez se tenga esta información. Se podrá ver estas bases y así poder saber qué tipo de intervención podrían realizar para el futuro. Esto se ha aplicado desde hace varios años por la red nacional de carreteras de Estados Unidos en la cual se recopila el tipo de intervención que se realiza y el año en el que se realizó. (Ver [InfoPave](#) en este documento). Esto con el fin de poder saber la historia de la vía y qué tipo de mantenimiento se le ha dado desde su construcción.

Por otro lado, se ha mencionado la importancia de realizar un levantamiento de daños, pero se ha analizado por medio de esta investigación que es algo que requiere demasiado tiempo y no es lo más adecuado para la persona que realiza el inventario. Pero si se llega a implementar un sistema de captura fotográfica y ubicación se ahorraría tiempo y dinero para atender rápidamente las vías de la ciudad de Chihuahua.

Si se crea un método para captar las zonas afectadas donde los mismos ciudadanos puedan ser parte del proceso se estaría ahorrando tiempo y dinero. Porque muchas veces la decisión de intervenir o no en la actualidad está basado solo con el criterio de un experto, pero si seguidamente se tienen en cuenta esos puntos que están viéndose afectados por falta de mantenimiento. Y se logra, que se analice esta información para que se conozcan estos casos e irlos depurando según los criterios de los expertos en la unidad de mejoramiento vial.

En otro orden de ideas, si se ha de intervenir la Av. Niños Héroes entre Av. Ocampo y Av. Carranza es necesario realizar un análisis de la zona que se encuentran en pavimento flexible con una o varias extracciones de núcleos que permitan evidenciar el comportamiento de la estructura. Realizando pruebas de resistencia a la compresión simple, tipo de materiales presentes y su granulometría. Y así mismo, poder determinar cuales se encuentran en fallo

permanente¹⁸ y cuáles pueden ser atendidas con un mejoramiento superficial. Lo más recomendable para este tipo de vías es que se realice un estudio previo para un adecuado diseño de pavimentos y se realice una intervención por parte de las entidades encargadas de realizar reparaciones hidráulicas o sanitarias, eléctricas, o de gas según corresponda.

¹⁸ Fallo permanente: se refiere a la deformación máxima a la que está expuesto un pavimento. Luego de que esta ocurre ya no vuelve a recuperar su forma y generalmente se va transmitiendo capa a capa dentro de la estructura del pavimento.

5 RESULTADOS

Durante el desarrollo de esta investigación se han abordado temas relacionados para la identificación de daños superficiales en pavimento rígidos y flexibles.

Para este trabajo en específico fue necesario realizar una inspección visual para detectar los daños superficiales en los dos tipos de pavimentos que se encuentran en la Av. Niños Héroes entre Av. Ocampo y Av. Carranza.

Para esto se usó una aplicación llamada SW Maps para el sistema operativo Android, la cual funcionó para el levantamiento de información del estado de la vía de estudio. Así mismo, se contó con el apoyo de un vuelo en dron, pero en este visualmente no se alcanza a percibir daños menores por descaramiento o desprendimiento en concreto hidráulico; agregado pulido, peladura por Intemperismo en pavimentos flexibles y tampoco se aprecia profundidad o anchos en grietas y fisuras de los pavimentos rígidos.

Lo anterior debido a que hubo restricciones en la altura de vuelo por un edificio existente al momento de realizar la inspección con el dron, por lo cual fue necesario aumentar la elevación, más allá de lo previsto. Esto, redujo significativamente la calidad de la imagen al momento del procesamiento digital.

Lo esperado para realizar este tipo de levantamientos con vuelo de dron está dentro de un rango entre 30 m y 40 m sobre el nivel de terreno de la vía, pero para esta investigación el vuelo fue realizado aproximadamente a 90 m (Ver Figura 105), sobrevolando¹⁹ el edificio que se encuentra en la mitad del corredor estudiado.

Se buscó la posibilidad de volar a una menor elevación, desde la parte superior del edificio, que se encontraba obstaculizando la zona de estudio, pero no fue posible contactar al dueño de este. Se intentó hablar con el administrador del edificio, y este respondió que no podía acceder nadie, por problemas legales. Finalmente se decidió trabajar con el vuelo a 90 m.

¹⁹ Sobrevolando: volar por encima de alguien o de algo, como lugar, una ciudad o un terreno (RAE).

Para la realización de este vuelo se usó un dron DJI Phantom 4 PRO V2, que es una herramienta que entrega las medidas con precisión necesaria para realizar escaneo de daños superficiales en pavimentos, teniendo un avance de 2.00 km promedio en línea recta con una precisión de 3 cm por pixel con 3 líneas de vuelo para generar un traspale en la fotointerpretación en aproximadamente 16 minutos.

En la actualidad los drones no pueden realizar completamente el levantamiento de información de daños, pero sí pueden dar una buena aproximación de los deterioros superficiales para estimaciones y programaciones de actividades para conservación.

En otras palabras, es una herramienta para los procesos de gestión de pavimentos, que facilita el levantamiento de información y permite conocer a grandes rasgos las fallencias sobre la carpeta de rodadura de los pavimentos. Es importante una buena interpretación de esta información para así poder estimar y determinar puntos a intervenir.

Como se explicó en el capítulo anterior, es importante realizar esta interpretación bajo criterios numéricos. Una forma de realizar este procesamiento es haciendo uso de la metodología PCI para pavimentos flexibles, PASER modificado para pavimentos rígidos o un criterio comparativo bajo algún manual de deterioros superficiales de pavimentos rígidos. Para esta investigación se realizó cada cálculo de PCI y PASER modificado (ver resultados en anexos 10.5).

Los resultados numéricos para pavimentos flexibles determinaron varios tramos en malos estados y otros tramos completamente fallados, lo cual indica que requiere una reconstrucción parcial o total. A continuación se presenta la Tabla 24 en la cual se indica la unidad trabajada y condición de pavimento.

Tabla 24. Condición del pavimento flexible por tramos estudiados (Sanabria, 2023).

Tipo de Pavimento	Abs. Inicial	Abs. Final	Área del tramo(m²)	Condición del pavimento
Pavimento Flexible	0+020	0+120	1265.22	Fallado
Pavimento Flexible	0+140	0+280	1396.32	Fallado
Pavimento Flexible	0+300	0+420	1000	Malo
Pavimento Flexible	0+420	0+600	1176.00	Malo
Pavimento Flexible	0+600	0+720	1135.00	Fallado

Mientras se desarrollaba esta investigación, se notificaron el 7 de julio del 2023 en la unidad en cargada de mantenimiento de la malla vial los problemas de deterioro superficial que se presentaban a la fecha en la zona de estudio. Para la semana siguiente, fueron asignados para la programación de la actividad de fresado y recarpeteo, para regularizar la superficie en la Avenida Niños Héroes entre Avenida Melchor Ocampo y Avenida Venustiano Carranza. En las siguientes figuras se muestra evidencia del proceso realizado en la zona de estudio; en la Figura 116 se puede ver el estado en el que se encontraba un tramo la vía antes del proceso de fresado, en la Figura 117 se observa el proceso de fresado, en la Figura 118 se ve el barrido que se debe realizar luego del fresado, en la Figura 119 se observa el espesor fresado 3.5 cm y finalmente en Figura 120 se observa la regularización de la superficie de rodadura de uno de los tramos de la zona de estudio.



Figura 116. Av, Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos – Av. Carranca – antes de fresado – Julio 11 del 2023 (Sanabria, 2023).



Figura 117. Av, Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos – durante el fresado – Julio 11 del 2023 (Sanabria, 2023).



Figura 118. Av, Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos – Proceso de barrido – Julio 11 del 2023(Sanabria, 2023).



Figura 119. Av, Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos – Proceso de barrido – Julio 11 del 2023 (Sanabria, 2023).



Figura 120. Av, Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos – Superficie regularizada – Agosto 23 del 2023 (Sanabria, 2023).

Para este proceso realizaron una intervención superficial con una recicladora quitando 3.5 cm de superficie y aplicando mezcla densa en caliente con el mismo espesor que fue retirado. Los resultados presentados por la unidad encargada fueron los que se encuentran en la Tabla 25. Resultados entregados por la unidad encargada de mantenimiento de la malla vial en Chihuahua.

Tabla 25. Resultados entregados por la unidad encargada de mantenimiento de la malla vial en Chihuahua.

PARTIDA SEGUN CATALOGO DE CONCEPTOS						
CONCEPTO	OPERACIONES ARITMETICAS					
FRESADO	CADENAMIENT Q	ANCHO	A1 + A2	D/2	AREA	AREA ACUM
AV. NIÑOS HEROES TRAMO 1, TRAMO 2 Y TRAMO 3	TRAMO 1 AV. NIÑOS HEROES ENTRE AV. OCAMPO Y C. 4TA.					
	0+000.00	7.02m				
	0+020.00	6.97m	14.00	10.00	140.00	140.00
	0+040.00	6.86m	13.83	10.00	138.30	278.30
	0+060.00	6.90m	13.76	10.00	137.60	415.90
	0+080.00	6.90m	13.80	10.00	138.00	553.90
	0+104.00	6.90m	13.80	12.00	165.60	719.50
	TRAMO 2 AV. NIÑOS HEROES ENTRE C. 4TA. Y AV. INDEPENDENCIA					
	0+000.00	6.90m				
	0+020.00	6.90m	13.80	10.00	138.00	138.00
	0+040.00	6.60m	13.50	10.00	135.00	273.00
	0+060.00	6.48m	13.08	10.00	130.80	403.80
	0+080.00	6.70m	13.38	10.00	131.80	535.60
	0+100.00	6.82m	13.52	10.00	135.20	670.80
	0+120.00	6.66m	13.48	10.00	134.80	805.60
	0+125.40	6.50m	13.16	2.70	35.53	841.13
	TRAMO 3 AV. NIÑOS HEROES ENTRE C. NERI SANTOS A AV. CARRANZA					
	0+000.00	6.27m				
	0+020.00	6.35m	12.62	10.00	126.20	126.20
	0+040.00	6.43m	12.78	10.00	127.80	254.00
	0+060.00	6.55m	12.98	10.00	129.80	383.80
	0+080.00	6.89m	13.44	10.00	134.40	518.20
	0+100.00	7.00m	13.89	10.00	138.90	657.10
	0+112.00	6.29m	13.29	6.00	79.74	736.84
	0+113.40	8.84m	15.10	0.70	10.57	747.41
	TOTAL FRESADO AV. NIÑOS HEROES					2308.04m2

CROQUIS DE LOCALIZACION

Nota: se cortan nombres del personal que realiza la intervención por orden de la unidad encarga.

Esto es una solución provisional debido a que en muchas zonas se encuentran piel de cocodrilo y fallas en bloque (ver Figura 121), lo cual indica que esta estructura no se encuentra en buen estado. En otras palabras, así se cambie una parte de carpeta superficial, las capas inferiores van a continuar en mal estado y por tanto se va a volver a deteriorar rápidamente la carpeta asfáltica.



Figura 121. Evidencia de fallas en capas inferiores a la capa tratada (Sanabria, 2023).

El estado de la vía analizada por el método PCI presentó una condición bastante deficiente, que requería otro tipo de tratamientos para recuperar el estado de serviciabilidad de la vía estudiada.

Los resultados numéricos para pavimentos rígidos se determinaron bajo un área afecta por tramo en relación con el área de cada uno de los tramos. A continuación se presenta la Tabla 26 resumen de estos resultados.

Tabla 26. Porcentajes de área afectada por tramo (Sanabria, 2023).

Tipo de Pavimento	Abs. Inicial	Abs. Final	Área del tramo(m²)	Porcentaje de área afecta por tramo
Concreto Hidráulico	0+000	0+020	315.45	11.67%
Concreto Hidráulico	0+060	0+120	210.52	29.25%
Concreto Hidráulico	0+120	0+140	302.72	10.55%
Concreto Hidráulico	0+140	0+280	475.97	35.38%
Concreto Hidráulico	0+280	0+300	471.58	6.69%
Concreto Hidráulico	0+300	0+420	637.38	0.981%
Concreto Hidráulico	0+420	0+600	1237.36	15.87%
Concreto Hidráulico	0+600	0+720	428.25	2.16%



Figura 122. Falla en concreto hidráulico – ejemplo 1 (Sanabria, 2023)

Se aprecia en la Figura 122, parte superior, un deterioro en parche de trabajo con mezcla densa en caliente sobre una zona de concreto hidráulico. Gran parte de este carril por todo el tramo de estudio se encuentra de la misma forma. Mientras que en la parte inferior de la Figura 122, se muestra una falla en bloque debido a la unión de grietas que le fueron dando esta forma.

Para analizar los resultados obtenidos fue necesario realizar una comparativa entre un levantamiento en campo y un levantamiento por medio de un vuelo de dron. Se esperaría contar con buenas condiciones de vuelo en cuanto a clima y posicionamiento del sol para evitar sombras en el procesamiento. Sin embargo, para efectos de este vuelo realizado se encontraron sombras en el costado derecho de la vía, lo cual dificultó el proceso de levantamiento de información digital por medio de vuelo en dron (ver Figura 105).

A continuación, se presentan en la Tabla 27 y Tabla 28, en las cuales se observa una comparación de correlación entre metodología tradicional medida en campo y moderna a partir de vuelo en dron, para cada tipo de pavimento.

Tabla 27. Comparativa de mediciones para concreto hidráulico.

Tipo de fallas en concreto hidráulico	Medición			
	En campo	Unidad	Vuelo en dron	Unidad
1. Grietas de esquina	13.46	ml	3.95	ml
2. Grietas longitudinales y transversales	146.42	ml	83.52	ml
3. Losas divididas	-	-	-	-
4. Grietas en Bloque	50	m ²	-	-
5. Grietas de durabilidad (tipo D)	-	-	-	-
6. Separación de juntas Longitudinales	210.4	ml	165	ml
7. Deterioro de sello de Junta	-	-	-	-
8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde	2.4	m ²	1.8	m ²
9. Descascaramiento o desprendimiento	1.6	m ²	-	-
10. Desintegración o escamado	-	-	-	-
11. Parches	296.84	m ²	202.63	m ²
Subtotal m ²	348.44		204.43	
*ml x 0.3m (equivalencia para m ²)	107.05	m ²	75.74	m ²
**ml x1 m (equivalencia para falla de esquina m ²)	13.46	m ²	3.95	m ²
Área total afectada concreto hidráulico	468.95	m²	280.17	m²

Se ve con dron, pero no habia ese tipo de falla

Se ve con dron, pero con sombra no se visualiza

No se visualiza con vuelo de dron

Nota 1: para esta comparativa se realizaron cálculo de cantidades totales del tramo de estudio.

Nota 2: la visualización por medio de grietas por medio de dron da ubicación y longitud pero no indica ancho y profundidades de estas.

Nota 3: el punto es indicador decimal

En efecto, en la Tabla 27 de comparativa concreto hidráulico, se aprecia una falencia en el levantamiento de vuelo en dron debido a los problemas con la posición del sol al momento de realizar el vuelo. Sin embargo, para levantamiento de información de deterioros y procesos de gestión de pavimentos, facilita y da una buena aproximación, si se realiza con buenas condiciones en cuanto a posicionamiento del sol se refiere, si se encuentra realizando un levantamiento en zonas urbanas que es donde se presenta este suceso.

Tabla 28. Comparativa de mediciones para pavimentos flexibles.

Tipo de fallas en Concreto hidráulico	Medición			
	En Campo	Unidad	Vuelo en dron	Unidad
1. Piel de cocodrilo	627.46	m ²	-	-
2. Exudación	52.11	m ²	51.91	m ²
3. Fisuras en bloque	13	m ²	-	-
4. Abultamientos y hundimientos	127.12	m ²	38.7	m ²
5. Corrugación	-	-	-	-
6. Depresión	-	-	-	-
7. Fisura de borde	13.78	ml	10.55	ml
8. Fisura de reflexión de junta	10.22	ml	-	-
9. Desnivel carril-berma	-	-	-	-
10. Fisuras longitudinales y transversales	114.05	ml	89.07	ml
11. Parches y parches de cortes utilitarios	158.26	m ²	141.9	m ²
12. Agregado pulido	21	m ²	-	-
13. Baches	4.5	m ²	2.35	m ²
14. Ahuellamiento o desprendimiento de agregados	336.05	m ²	307.3	m ²
15. Desplazamiento	111.35	m ²	77.9	m ²
16. Fisura parabólica o por deslizamiento	-	-	-	-
17. Hinchamiento	-	-	-	-
18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados	16.95	m ²	-	-
Subtotal m ²	1467.80		620.06	
**ml x 0.3m (equivalencia para m ²)	41.42	m ²	29.89	m ²
Área total afectada pavimento flexible	1509.22	m²	649.95	m²

Se ve con dron, pero no habia ese tipo de falla

Se ve con dron, pero con sombra no se visualiza algunas zonas

No se visualiza con vuelo de dron

Nota 1: para esta comparativa se realizaron cálculo de cantidades totales del tramo de estudio.

Nota 2: la visualización por medio de grietas por medio de dron da ubicación y longitud, pero no indica ancho y profundidades de estas.

Nota 3: el punto es indicador decimal

El resultado de la comparación de metodologías para levantamiento de información de deterioros en pavimentos flexibles presenta una buena proyección de un método a otro, si se buscan parches, o identificación de ubicaciones de fisuras o grietas. Para poder obtener mejores resultados conviene entonces

sobrevolar a una altura entre los 30 m y 40 m sobre la altura más alta de la vía. Para este caso, la altura de vuelo fue de 90 m, por los inconvenientes anteriormente expuestos. Sin embargo, para levantamientos de información que requieran rapidez y no se pueda realizar un levantamiento a detalle, se pueden mejorar las condiciones de operación y vuelo para obtener mejores resultados.

Para establecer porcentajes de afectación por área y tipo de pavimento se presenta la Tabla 29.

Tabla 29. Áreas de afectación por cada tipo de pavimento.

Vehículo	Ubicación	Área m²
Mixto	Intersección Av Niños Héroes y Av Ocampo	315.45
Autobus	Carril (Av Niños Héroes entre Calle 6ta-4ta)	209.11
Mixto	Intersección Av Niños Héroes y Calle 4ta	302.72
Autobus	Carril (Av Niños Héroes entre Calle 4ta - Av Independencia)	475.97
Mixto	Intersección Av Niños Héroes y Av Independencia	471.58
Bowi	Carril (Av Niños Héroes entre Av Independencia - Calle Josué Neri Santos)	824.83
Mixto	Carril (Av Niños Héroes Calle Camargo - DLM Guitiérrez)	413.39
Autobus	Carril (Av Niños Héroes Calle 3ra - 5ta)	412.52
Mixto	Intersección Av Niños Héroes y Calle Josué Neri Santos	348.97
Bowi	Carril (Av Niños Héroes entre Calle Josué Neri Santos-Av Venustiano Carranza)	428.19
Área en concreto hidráulico		4203
Área total de Av Niños Héroes entre Av Ocampo - Av Venustiano Carranza		10164
Área en pavimento flexible		5961

Para efectos de apreciación del daño por afectación de deterioros superficiales, se obtiene la Figura 123. En la cual se observa que la afectación por pavimentos flexibles es mayor que la de los concretos hidráulicos. Sin embargo, las dos requieren procesos completamente diferentes para su atención y para esto conviene revisar la literatura del anexo 10.6 en la cual se explican los diferentes tipos de intervención según su tipo de pavimento.

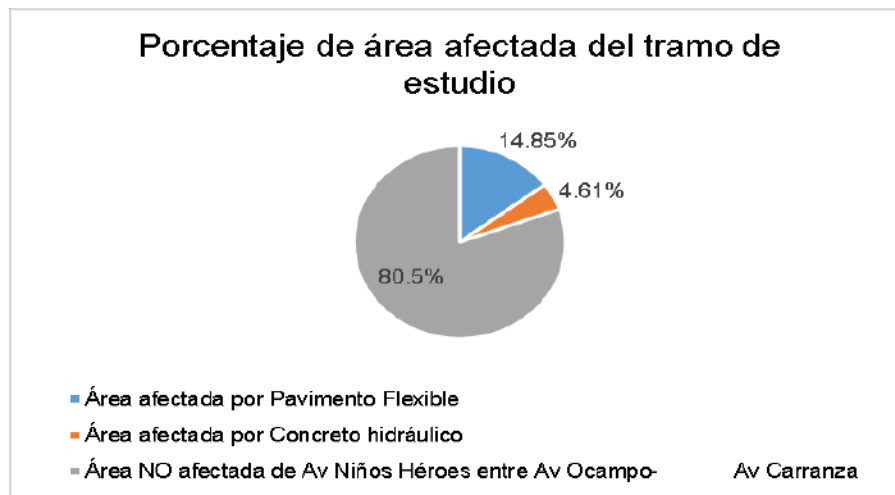


Figura 123. Porcentaje de área afectada del tramo de estudio.

Con esto se obtiene una idea a priori de cómo se encuentra afectada la vía, pero para determinar el estado de la vía de estudio se realizó un cálculo numérico usando calificación PCI y metodología PASER, se puede revisar en el anexo 10.5. Donde se encuentran los resultados obtenidos por tramos de la zona de estudio.

Finalmente, se debe enfatizar en este punto que el uso de aplicaciones como SW Maps pueden facilitar la tarea de levantamiento de información, así como facilitar la tarea de residentes y auxiliares de obra encargados de realizar levantamientos de información de deterioros superficiales. Adicionalmente, se realizan labores con apoyo de vuelos no tripulados como los drones, se podría complementar la gestión de pavimentos, para optimizar tiempos de proyecciones futuras, estimando las vías que requieren ser intervenidas por medio de vuelos de dron.

6 CONCLUSIONES

Se puede concluir que a partir de un levantamiento de daños a través de una aplicación móvil llamada SW Maps, se pudo organizar la información para establecer un análisis de daños tanto para pavimentos rígidos como para pavimentos flexibles.

A partir de este documento, quedó demostrado que realizando un levantamiento de daños a través de aplicaciones móviles que permiten un registro georreferenciado de imágenes con sus respectivas notas de campo, se pueden realizar evaluaciones de daños superficiales que afectan la movilidad vehicular de la zona de estudio.

Para determinar las condiciones del estado actual de la vía fue necesario aplicar el método PCI para pavimentos flexibles y el método PASER modificado para pavimentos rígidos. El primero permite conocer bajo una calificación cuál es el estado actual de la unidad de muestra; mientras que el segundo clasifica de acuerdo al tipo falla bajo la condición del estado del pavimento y finalmente da un área estimada de afectación por cada tramo evaluado.

Para esta vía en específico, la Avenida Niños Héroes entre Avenida Melchor Ocampo y Avenida Venustiano Carranza, se encontró que el carril más afectado en concreto hidráulico está dentro de la abscisa 0+060 m y 0+120 m. Este tramo cuenta con un área de 210.52 m² y un porcentaje del área afectada de 29.25%, en donde, se encontraron problemas superficiales por instalaciones de tubería. Dichos problemas se produjeron debido a que se realizó la actividad, pero al momento de nivelar la última capa del pavimento no usaron concreto hidráulico, sino mezcla densa en caliente (pavimento flexible). En la actualidad, toda la franja se encuentra en mal estado, al lado de esta franja se encuentra agrietamiento y fallas de esquina en distintas zonas. La franja en cuestión, se extiende del abscisado 0+140 m a 0+280 m, presentando el mismo tipo de fallas en el carril de concreto hidráulico.

Sumado a lo anterior, se encontró que el pavimento flexible presentaba problemas de piel de cocodrilo, desprendimiento de agregados, desplazamientos, ondulaciones, protuberancias, en algunas zonas exudación y ahuellamiento. Al

momento de realizar el cálculo de PCI por unidades de muestra, dieron como resultado zonas falladas. Dentro de las que se destacan están tres zonas; la primera entre la abscisa 0+020 m y 0+120 m, la segunda entre la 0+140 m y 0+280 m, y la tercera de la abscisa 0+600 m a +0+720 m.

Habiendo notificados estos deterioros superficiales con la entidad encargada de mantenimiento de la malla vial, realmente no se espera una respuesta de atención rápida para esta zona de estudio. Para fortuna de esta investigación, se contó con una intervención que sí mejoró las condiciones en las que se encontraba la vía, regularizando la superficie con un fresado y recarpeteo de 3.5 cm.

Con las evidencias de la Figura 121, se observa que la solución que se dio a la vialidad estudiada es a corto plazo, y que requiere otro tipo de intervención, en el cual, se incluya un mejoramiento de las capas inmediatamente inferiores a la carpeta asfáltica.

La vialidad estudiada en este documento presenta fallas estructurales, debido a que en gran parte de la zona de estudio se encuentra piel de cocodrilo en pavimentos flexibles, lo cual evidentemente muestra una falla estructural, porque se realizan mantenimientos superficiales, como se comentó en párrafos anteriores.

Estas soluciones de mantenimiento que se están dando carecen de una correcta planeación por parte del ente encargado de realizar el mantenimiento vial. Por lo tanto, esto se convierte en una solución prorrogativa, más no una solución definitiva.

Lo que se observa es que dan una solución, que en principio es económica, pero que se va a tener que realizar en varias ocasiones, lo que va a incrementar los costos y no dará una solución definitiva al problema.

Sin lugar a duda, esta situación podría cambiar si se atiende de una manera adecuada desde la estructura del pavimento, mejorando las propiedades de la vía. Si se realiza una intervención que cumpla con las especificaciones que requiere la vía, se recuperaría el estado en general de la misma. Posteriormente, deberá dársele continuidad a través de mantenimientos preventivos, para evitar que se

presenten nuevamente daños en la vía. Esto podría aplicarse tanto para pavimentos flexibles como para pavimentos rígidos.

A partir del levantamiento de información haciendo uso de SW Maps, se evidenció que los carriles exclusivos que se encuentran en concreto hidráulico (pavimento rígido) presentan en su mayoría daños por agrietamiento de las losas en distintas zonas, fallas de esquina y en algunos tramos se observa una mala ejecución de intervención luego de reparaciones de tuberías a cargo de la respectiva entidad encargada. En los carriles compartidos de buses y autos (pavimentos flexibles) se ve que las excesivas cargas afectan estos carriles presentando ahuellamiento, desplazamientos, ondulaciones y/o protuberancias que afectan a los conductores al momento de conducir por estos carriles. Además, en otros sectores se evidencian fallas en bloque y piel de cocodrilo que dan paso a presentar problemas estructurales en distintos sectores de la Av. Niños Héroes entre Av. Ocampo y Av. Carranza, ya mencionado en este documento.

Evidentemente, es más fácil cubrir daños superficiales, que tener que invertir más dinero en reparaciones y/o reconstrucciones. Es por eso que, en la Avenida Niños Héroes entre Av. Ocampo y Av. Carranza, conviene más atender superficialmente un pavimento, que reconstruirlo completamente.

Las evaluaciones en campo dan mayor detalle para clasificar la condición de un pavimento. Asimismo, poder determinar cuál o cuáles vías pueden ser atendidas con prontitud. Para complementar estas evaluaciones en campo, en la actualidad existen distintas formas de optimizar tiempos de levantamiento de información a través de aplicaciones móviles con georreferenciación, como la que se usó para esta investigación, llamada SW Maps. O realizando vuelos no tripulados con dron.

A partir de este documento, quedo demostrado que se puede hacer uso de estos complementos, como la aplicación SW Maps, para la realización de levantamiento de daños, como apoyo para la gestión de pavimentos. Permitiendo que se generen los datos casi de manera directa, georreferenciando el lugar de la falla, indicando una nota con medida y tipo de falla vistos. Esto facilita el trabajo

del personal encargado de realizar tanto el levantamiento, como la estimación de daños para su planeación de intervención.

Por otro lado, el apoyo con vuelo de dron, funciona para determinar a grandes rasgos deterioros superficiales. Pero en algunas ocasiones se dificulta la detección de fallas. Debido al clima (lluvia, sol, viento), elevación del vuelo o tipo de dron con baja calidad de píxeles por centímetro.

Para esta investigación se usó un DJI Phantom 4 Pro V2, teniendo un avance de 2.00 km promedio en línea recta con una precisión de 3 cm por pixel con 3 líneas de vuelo para generar un traslape en la fotointerpretación. Lo que dificultó una buena detención de información para este estudio fue la sobreelevación de 90 m de altura a la que se tuvo que realizar el vuelo, por un edificio existente en la zona. Lo cual dificultó la detección de información en la zona de estudio. Sin embargo, si el vuelo se realiza a la altura recomendada de 30 m a 40 m, podría obtener mejores resultados que los que se apreciaron en esta investigación.

La implementación de vuelos de dron funcionó como una buena aproximación para estimaciones y programas de gestión de pavimentos en ciudades donde no se cuente con el personal suficiente para realizar los levantamientos manualmente. Sin embargo, la adquisición de este tipo de drones requiere de una inversión inicial, que a su vez será retribuida en reducción de costos por actividad de registro en campo de forma manual.

Finalmente, para que una vía se encuentre en buenas condiciones nuevamente, será necesario realizar una reconstrucción parcial o total; y luego estar realizando mantenimientos preventivos, antes de que se presente un mayor deterioro de la superficie de rodamiento. Esto ayudaría a reducir costos en la unidad de mantenimiento vial y mejoraría la condición para mantener un estado en equilibrio de confort para los usuarios.

7 RECOMENDACIONES

Con esta investigación se pretende invitar a las unidades encargadas de realizar mantenimiento de conservación a que implementen un modelo de gestión de vías como el que se propone en esta investigación, mediante el cual se realice un inventario de daños superficiales de una manera rápida, que facilite la toma de decisiones, para posteriormente planear los costos de la intervención y programación de obra y finalmente ejecutar intervención la vía para recuperar las condiciones de servicio óptimas para los usuarios.

Para esto se recomienda realizar levantamiento de daños superficiales, haciendo uso de aplicaciones móviles con georreferenciación que permitan capturar una imagen con coordenadas satelitales que facilite la identificación del lugar, incluir una nota con tipo de falla, medición y una observación. Para su posterior visualización se pueden usar programas de uso libre como Google Earth y Google Maps o cualquier software de pago como ArcGIS, QGIS, ArcMap entre otros.

Una vez identificado el tipo de daños, será necesario realizar por medio de un sistema de clasificación las condiciones actuales de la vía (ver [clasificación de pavimentos](#)). Se puede implementar cualquier método de clasificación de pavimentos. Sin embargo, para esta investigación se planteó el uso de PCI para pavimentos flexibles y una evaluación PASER modificada por el autor para pavimentos rígidos. Como recomendación adicional, para este tipo de pavimentos se puede implementar una evaluación comparativa, es más rápido, pero requiere de mayor precisión por parte del evaluador.

Con estos resultados de condición del pavimento, se procede a seleccionar la vía o las vías más afectadas para intervenir o que requieren de una recuperación para mejorar el confort de los usuarios. Esta tarea estará a cargo de personal especializado con conocimientos de procesos de conservación de vías;

serán ellos quienes asignen el tipo de mantenimiento y/u obra que se deba realizar en determinada vía.

Es importante mencionar que se debe ir almacenando una base de datos por zonas en forma de cuadrante o por puntos cardinales. En los cuales se guarde ubicación, tipo de intervención, mes y año en el que se hizo. Esto con el fin de que se pueda ir construyendo una base de datos que facilite los procesos de selección de intervención con el tiempo, y que permita saber cuándo fue la última vez que se realizó alguna actividad en determinada vía. Esto complementa el modelo de gestión de vialidades.

En la ciudad de Chihuahua Capital se realizan dos grandes mantenimientos para conservación y recuperación, uno es un fresado superficial de aproximadamente 3.5 cm, y otro es realizando bacheo en diferentes zonas de la ciudad, esto especialmente para pavimentos flexibles.

Sin embargo, en algunas zonas de la ciudad se encuentran pavimentos rígidos y sobre estos se realiza una práctica poco usual en mantenimientos: aplicando mezcla densa en caliente para recuperar parcialmente la superficie de rodamiento cubriendo los daños presentes en el pavimento rígido.

Por tal razón, esta es una solución que va a presentar problemas con el pasar de algunos meses. Conviene evitar este tipo de mejoramientos prorrogativos que a la larga hacen que se incrementen los costos de mantenimiento, porque luego de esto, será necesario demoler y reconstruir la losa parcial o totalmente, generando un costo mucho más elevado para su recuperación.

Todas estas intervenciones están sujetas bajo licitaciones públicas supervisadas por el cuerpo de residentes de obra de la unidad en cargada de realizar el manteamiento de la red vial de la ciudad.

Para cerrar la idea de estos temas, se recomienda que se busquen alternativas para mejorar este tipo de mantenimientos y que se implementen estrategias para recuperar el estado de la vía, al punto que no requiera un mantenimiento periódico, sino que se implemente un mantenimiento preventivo para evitar un incremento en los costos de recuperación de la condición de serviciabilidad de la Avenida Niños Héroes entre Av. Melchor Ocampo y Av. Venustiano Carranza.

8 REFLEXIÓN

Reflexión para optimizar el uso de los recursos en proyectos de infraestructura

La falta de planeación en las ciudades ha generado que muchas zonas hayan crecido de una manera inadecuada, en donde consecuentemente no se tienen en cuenta espacios, en especial para las vías de acceso e intervenciones hidráulicas y sanitarias, que al pasar del tiempo generan un reproceso y un incremento en costos para su ejecución.

A lo largo de la historia se ha observado que los políticos de diferentes países suelen enfocarse en su eslogan de salud y educación, dejando rezagado el tema de infraestructura como si no, fuera importante para la sociedad en general. Lo que ocurre es una reducción significativa de presupuesto en donde se debe optimizar cualquier recurso disponible para atención de la infraestructura que sea asignado.

La optimización del recurso en conjunto con una planeación, para un punto en particular que requiera la atención, bien sea por mantenimiento o por reconstrucción. Deberá ser evaluado primero, socializado con el cuerpo de residentes disponibles para que luego la parte administrativa se centre más en la parte de rentabilidad y factibilidad del mismo. Esto con el fin de cubrir una necesidad y, así mismo, poder optimizar el recurso disponible de una manera adecuada.

Será necesario socializar periódicamente con la comunidad cada punto de trabajo y cada posible solución a la problemática que se viene presentando. Dejando claro que el actual recurso es bastante reducido y que se debe manejar un margen financiero para no dejar las obras inconclusas o mal hechas.

9 REFERENCIAS

- AASHTO. (1993). *American Association of State Highway and Transportation Officials*.
Obtenido de Guía Design of Pavement 1993:
<https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>
- Almany. (20 de Julio de 2015). *Supparsorn Wantarnagon / Alamy Foto de stock*. Obtenido de <https://www.alamy.es/foto-obras-en-construccion-permanente-utilizando-equipo-jackhammer-85752162.html?imageid=6121BF85-EEC2-48E6-BF4C-3FE0E3BAA3B8&p=258096&pn=1&searchId=0dd808577677953d6d82a4c0b40d25aa&searchtype=0>
- AMMANN. (2023). *Rodillo neumático con ruedas*. Obtenido de <https://www.ammann.com/la-es/machines/soil-and-asphalt-compactors/pneumatic-rollers>
- ARO. (s.f.). *Asfaltos y riegos de occidente - Tenido de carpetera asfáltica superficial altamente adherida (CASAA)*. Obtenido de <https://aroasfaltos.com/proyectos/112-tendido-de-carpeta-asf%C3%A1ltica-superficial-altamente-adherida-casaa-en-la-autopista-zapotlanejo-guadalajara-del-km-26-000-al-km-4-000-cuerpo-b-para-rco-red-carretera-de-occidente.html>
- ASTM D6433-03. (1993). *Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/409330160/Manual-PCI-ASTM-D-6433-pdf#>
- ATEB. (8 de Septiembre de 2017). *Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas de España. Promovemos técnicas sostenibles en #carreteras y otros sectores con Emulsión Bituminosa*. Obtenido de https://twitter.com/ateb_es/status/906094968858705920
- Barco Araque, J. A. (16 de abril de 2022). *UDOE NEWS - Rasante y subrasante*. Obtenido de <https://udoe.es/rasante-y-subrasante/>
- Barrera Cervantes, C. (2008). *Diseño y construcción de pavimentos tipo stone mastic asphalt en México*. Obtenido de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2146/1/barrera_cervantes.pdf
- Campa, A. (2017). *Material de Apoyo - Clase de conservación de Maestria en Vías Terrestres 2017*. Chihuahua, Chihuahua, Chihuahua. Recuperado el Junio de 2023
- Carmany, R. M. (1948). *The factors underlying the rational Design of pavments*. California Division of Highways. Materials and Research Department.
- carreteras, M. d. (21 de Marzo de 2013). *Blogspot - Mantenimiento de carreteras*. Obtenido de <https://mantenimientocarreterasvyvias.blogspot.com/2013/03/fisuras-y-grietas-de-esquina.html>
- CAT.MX. (2023). *Caterpillar*. Obtenido de https://www.cat.com/es_MX/
- Cerón, V. (2006). *Evaluación y comparación de metodologías Vizir y PCI Sobre el tramo de vía en pavimento flexible y rígido de la vía: Museo Quimbaya - Armenia Quindío (PR 00+000 - PR '2+600)*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2487/vivianaceronbermudez.2006.pdf?sequence=1>
- Chihuahua Gobierno del Estado. (2023). *Chihuahua Gobierno del Estado - Municipios*. Obtenido de <https://chihuahua.gob.mx/info/municipios>

Civil, C. (13 de Abril de 2011). *Agrietamiento del pavimento rígido*. Obtenido de <https://www.elconstructorcivil.com/2011/04/agrietamiento-del-pavimento-gadientes.html>

Civilgeeks.com. (5 de Febrero de 2016). Obtenido de <https://civilgeeks.com/2016/02/05/la-estructura-del-pavimento/>

CMIC Veracruz. (s.f). *Cámara Mexicana de la industria de la construcción*. Obtenido de Tratamientos superficiales: https://www.cmicveracruz.org/filesWeb/kimikao_CMICVER_.pdf

-CMT-2-02-002/19. (2019). Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-002-19.pdf>

Costa, A., Loma, J., Hidalgo , M., Hergueta, J., Sánchez, F., Lanchas, S., . . . Potti, J. J. (13 de Mayo de 2014). *Mezclas SMA (Stone Mastic Asphalt) sostenibles y medioambientalmente amigables*. Obtenido de <https://asefma.es/wp-content/uploads/2014/06/08.-Mezclas-SMA-v1.pdf>

Crafco. (2023). *Soluciones de pavimento para grietas y juntas (menos de 1.5 " de ancho)*. Obtenido de <https://es.crafco.com/pavement-preservation/cracks-joints/>

DIRCAIBEA. (2002). *DIRCAIBEA - Consejo de Directores de Carreteras Iberia e iberoamerica*. Obtenido de M 5.2. Catálogo de Deterioros en Pavimentos Rígidos.

El Herald de Juárez. (18 de Noviembre de 2022). *Municipio exige reconstrucción del concreto en la avenida División del Norte*. Obtenido de <https://www.elheraldodejuarez.com.mx/local/juarez/municipio-exige-reconstruccion-del-concreto-en-la-avenida-division-del-norte-9211913.html>

ENCAP. (Agosto de 2022). *ENCAP - "Escuela Nacional de Capacitación y Actualización Profesional"*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=f51Ua9gFUrE>

Engineered solutions. (s.f). *Engineered Solutions of Georgia - foundation - pressure grouting*. Obtenido de <https://www.esogrepair.com/residential/foundation/pressure-grouting/>

es.411answers. (2023). *es.411answers*. Obtenido de <https://es.411answers.com/a/que-es-el-concreto-magro.html>

Euroconsult. (3 de Julio de 2012). *EuroConsult Nuevas Tecnologías*. Obtenido de http://www.euroconsult.es/pdf/Scrim_multiidioma.pdf

García, A. (2016). *slideshare.net - Esfuerzo y deformaciones en pavimentos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/RibBrian/0400-esfuerzos-y-deformaciones-en-pavimentos-flexibles>

Garnica, P. (20 de Agosto de 2022).

Garnica, Paul. (2022). *Gestión de Vialidades por Estándares de Desempeño*. Guanajuato: AMVTAC Guanajuato.

Gobierno de Canarias. (Marzo de 2019). *Vocabulario de Edafología*. Obtenido de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/proyecto/38010967-0007/wp-content/uploads/sites/385/2019/11/vocabulario-edafologia.pdf>

Gobierno de México. (16 de Diciembre de 2020). *Gobierno de México - Auscultación de carreteras*. Obtenido de <https://www.gob.mx/imt/es/articulos/auscultacion-en-carreteras-nacionales-y-evaluacion-superficial-en-carreteras?idiom=es>

Gobierno Matamoros. (19 de Diciembre de 2022). *Realiza Gobierno de Matamoros trabajos de bacheo en avenidas y accesos a colonias*. Obtenido de <https://www.matamoros.gob.mx/noticias/realiza-gobierno-de-matamoros-trabajos-de-bacheo-en-avenidas-y-accesos-a-colonias.html>

Gómez, J. M. (2023). *Procesamiento de vuelo de drone*. Chihuahua, Chihuahua, México.

- Graco. (s.f.). *Máquina para pintar líneas viales thermolazer*. Obtenido de <https://www.graco.com/es/es/contractor/products/pavement-maintenance/thermoplastic-marking-equipment.html>
- Griptester. (2014). *Griptester - equipo griptester mk2*. Obtenido de <https://griptester.us/>
- Grupo MC. (s.f). *Grupo MC - Whitetopping*. Obtenido de http://www.grupomc-acabadosdeconcreto.com/archivos_grupo-mc/secciones/construccion/whitetopping.php
- Grupo Súrfax. (02 de Agosto de 2017). *Presentación Por Damián Martínez Vargas - Auscultación superficial y estructural*. Obtenido de <https://www.facebook.com/watch/?v=1981221695442970>
- Guaman Padilla, M. P., & Caldero Cordonez, O. M. (2012). *Estudio de las causas del deterioro prematuro de la estructura del pavimento asfáltico de la avenida canónigo ramos desde la avenida 11 de noviembre a la avenida monseñor leonidas proaño- by pas*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/501/1/UNACH-EC-IC-2012-0003.pdf>
- GV. (2020). *Geotecnia y vías terrestres*. Obtenido de <https://www.geotecniayvias.mx/disenio-de-pavimentos.php#:~:text=a%20largo%20plazo.-,Vida%20remanente,las%20opciones%20de%20conservaci%C3%B3n%20pertinentes>
- Hidalgo Andrade, F. (Abril de 2007). *Escuela Politécnica del ejercito - Definicion moderna de los parametros del diseño de pavimentos*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1578/1/T-ESPE-014822.pdf>
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and design*. Upper Saddle River, NJ 0745 8, Estados Unidos: Pearson.
- IMPLAN. (2021). *Institutos Municipales de Planeación Urbana-IMPLAN Chihuahua - Plan de Desarrollo Urbano*. Obtenido de https://implanchihuahua.org/IMPLAN-Datos/pdf/anexo_71-2021_acuerdo_nde_111-2021_plan_de_desarrollo_urbano_de_la_ciudad_de_chihuahua.pdf
- IMPLAN CHIHUAHUA. (2020). *IMPLAN Chihuahua - Características del entorno*. Obtenido de <https://implanchihuahua.org/Entorno.html>
- IMPLAN CUU. (2020). *IMPLAN Chihuahua - Catastro*. Obtenido de <https://implancuu.carto.com/builder/e4055796-fbbb-40b1-927a-949a0e9a1b0e/embed?state=%7B%22map%22%3A%7B%22ne%22%3A%5B28.63406514274232%2C-106.08869433403017%5D%2C%22sw%22%3A%5B28.643038855279652%2C-106.06886744499208%5D%2C%22center%22%3A%5B28.638552094950>
- IMT - Documento Técnico No. 72. (2018). *Instituto Mexicano del Transporte - Documento Técnico No. 72*. Sanfandila, Qro: SCT. Obtenido de Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: un enfoque mecanicista .
- IMT. (Diciembre de 2020). *Auscultación en carreteras nacionales y evaluación superficial en carreteras*.
- IMT. (2020). *Normativa IMT - Conservación - Carreteras - Macrotextura*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-1-03-006-20.pdf>
- IMTMexico. (2 de Septiembre de 2020). Herramienta para la evaluación estructural de pavimentos flexibles. Queretaro, Queretaro, México.
- INEGI. (1990). *Geología de la Región Norte y Noreste de México*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvin/egi/productos/historicos/1329/702825230968/702825230968_5.pdf

- INEGI. (2003). *Síntesis de Información geográfica del estado de Chihuahua*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvin/inegi/productos/historicos/2104/702825224240/702825224240_8.pdf
- INEGI. (2004). *Guía para la interpretación de cartografía - Edafología*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvin/inegi/productos/historicos/1329/702825231736/702825231736_1.pdf
- INEGI. (2010). *Comprendido de Información geográfica municipal 2010*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825292959>
- INEGI. (2020). *Cuentame - Superficie - Chihuahua*. Obtenido de <https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chih/territorio/default.aspx?tema=me&e=08>
- Interempresa. (10 de Octubre de 2018). *Estudio comportamiento Estructural explanada firme*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/223257-Estudio-comportamiento-estructural-explanada-firme-ejecutada-refuerzo-mediante-Columnas.html>
- interempresas.net. (13 de Septiembre de 2017). *Reciclaje en frío con betún espumado: una receta pionera*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/195354-Reciclaje-en-frio-con-betun-espumado-una-receta-pionera.html>
- Interempresas.net. (30 de Agosto de 2019). *Una fresadora compacta Wirtgen W 150 CF destaca en México por su mayor productividad y rendimiento*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/253404-fresadora-compacta-Wirtgen-W-150-CF-destaca-Mexico-su-mayor-productividad-rendimiento.html>
- INVIAS. (2008). *Guía Metodológica para el Diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*. Bogotá, Colombia: República de Colombia - Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías.
- INVIAS. (11 de Abril de 2013). *Manual para inspección visual de pavimentos flexibles*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles>
- INVIAS. (2013). *Manual para inspección visual de Pavimentos Rígidos*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/664-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-rigidos/file>
- INVIAS. (2020). *linkedin - company - inviasoficial*. Obtenido de <https://co.linkedin.com/company/inviasoficial>
- Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., Romama, M., Blanco, V. S., & Ángel del Val, M. (2004). *Ingeniería de Carreteras* (Vol. 2). Madrid, España: McGRAW-HILL.
- Loría Salazar, L. G. (24 de Noviembre de 2019). *Fan Pages Facebook del Ing. Luis Guillermo Lórica Salazar*. Obtenido de https://www.facebook.com/luisguillermoloriasalazar/photos/todas-las-capas-de-un-pavimento-flexible-juegan-un-papel-importante-en-la-resist/1213890308801572/?_rdr
- Lorica Salazar, L. (25 de Mayo de 2017). *Candal de Youtube Ing. Luis Guillermo Lorica Salazar*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=L5f7RjVA_rE
- MAPSES. (Noviembre de 2018). *MAPSES airless mx*. Obtenido de Maquinaria Pinturas y Señales: <https://www.youtube.com/watch?v=hEjdnAGaEXI>

- MAV. (2012). *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica MAV-2012*.
Obtenido de <https://docplayer.es/54073943-Manual-de-auscultacion-visual-de-pavimentos-de-costa-rica-mav-2012.html>
- Mercado , R., Bracho, C., & Avendaño, J. (2008). *Cuaderno FIRP S365-A Emulsiones asfálticas*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/06/S365A.pdf>
- Miranda, R. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. Valdivia, Chile: Universidad de Chile.
- Miteco.gob.es. (s.f.). *Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico*.
Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/neumaticos/>
- Mizusawa, D. (2009). *Road Management Commercial Off-The-Shelf Systems Catalog Version 2.0*. Washington DC, Estados Unidos.
- Mohorte, A. (18 de Junio de 2020). *Magnet - Nota periodística de Andres Mohorte*.
Obtenido de <https://magnet.xataka.com/un-mundo-fascinante/red-carreteras-imperio-romano-ilustradas-al-modo-mapa-metro>
- MP Software. (Septiembre de 2022). *MP Software - Diferencia entre mantenimiento preventivo y correctivo*. Obtenido de <https://mpsoftware.com.mx/diferencias-entre-mantenimiento-preventivo-y-correctivo/>
- MTC-PMS. (2016). *Metropolitan Transportation Commission Pavement Management System*. Obtenido de <https://mtc.ca.gov/tools-resources/technical-assistance/streetsaverr/pavement-management-program-pmp-certification>
- Municipio de Chihuahua. (2014). *Municipio de Chihuahua - Atlas de Riesgos - Hidrografia*.
Obtenido de <http://www.municipium.mx/atlasderiesgos/municipiochihuahua/hidrografia.php>
- Municipio de Chihuahua. (2018). *Programa de Ordenamiento Ecológico local del municipio de chihuahua, chihuahua*. Obtenido de https://www.municipiochihuahua.gob.mx/Downloads/Bitacoras%20Ambientales/2018_8/ETAPA%20DE%20CARACTERIZACI%C3%93N%20COMPONENTE%20NATURAL%201.pdf
- Municipio Chihuahua. (2020). <http://www.municipiochihuahua.gob.mx/>. Obtenido de PLAN SECTORIAL DE MOVILIDAD URBANA SUSTENTABLE DE CHIHUAHUA: [http://www.municipiochihuahua.gob.mx/transparenciaarchivos/1er%20Trimestre%202017/Art%2079%20fracc.%20VI/Inciso%20A/PDU%202040%20\(2009\)/PMUS/1%20DIAGNOSTICO/Cap%204_DIAGNOSTICO%20DE%20TR%C3%81NSITO.pdf](http://www.municipiochihuahua.gob.mx/transparenciaarchivos/1er%20Trimestre%202017/Art%2079%20fracc.%20VI/Inciso%20A/PDU%202040%20(2009)/PMUS/1%20DIAGNOSTICO/Cap%204_DIAGNOSTICO%20DE%20TR%C3%81NSITO.pdf)
- Murotecmx. (20 de Enero de 2020). *Murotecmx - Estabilización con polimeros*. Obtenido de <https://www.murotecmx.com/estabilizacionconpolimeros.html>
- N-CMT-2-02-001/02. (2002). *Normativa IMT - Materiales para concreto hidráulico - Calidad del cemento Pórtland*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-001-02.pdf>
- N-CMT-2-02-002/19. (2019). *Normativa IMT - Materiales para concreto hidráulico - Calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-002-19.pdf>
- N-CMT-2-02-004/18. (2018). *Normativa IMT - Materiales para concreto hidráulico - Calidad aditivos químicos para concreto hidráulico*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-004-18.pdf>
- N-CMT-2-02-005/04. (2004). *Normativa IMT - Materiales para concreto hidráulico - Calidad del concreto hidráulico*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-005-04.pdf>

- N-CMT-4-01/02. (2002). *Normativa IMT - Característica de los materiales - Materiales para pavimentos - Materiales para revestimiento*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-01-02.pdf>
- N-CMT-4-02-001/21. (2021). *Normativa IMT - Característica de los materiales - Materiales para pavimentos - Materiales para subbases y bases*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-02-001-21.pdf>
- N-CMT-4-02-002/22. (2022). *Normativa IMT - Característica de los materiales - Materiales para pavimentos - Materiales para Bases Hidráulicas*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-02-002-22.pdf>
- N-CMT-4-02-003/21. (2021). *Normativa IMT - Característica de los materiales - Materiales para pavimentos - Materiales para Bases tratadas*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-02-003-21.pdf>
- N-CMT-4-04/17. (2017). *Normativa IMT - Característica de los materiales - Materiales para pavimentos - Materiales pétreos para mezclas asfálticas*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-04-17.pdf>
- N-CMT-4-05-001/22. (2022). *Normativa IMT - Materiales asfálticos, aditivos y mezclas - Calidad de materiales asfálticos*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-001-22.pdf>
- N-CMT-4-05-002/06. (2006). *Normativa IMT - Materiales asfálticos, aditivos y mezclas - Calidad de materiales asfálticos modificados*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-002-06.pdf>
- N-CMT-4-05-003/16. (2016). *Normativa IMT - Materiales asfálticos, aditivos y mezclas - Calidad de mezclas asfáltica para carreteras*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-003-16.pdf>
- N-CMT-4-05-004/18. (2018). *Normativa IMT - Materiales asfálticos, aditivos y mezclas - Calidad de Cementos asfálticos según su grado de desempeño*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-004-18.pdf>
- N-CMT-4-05-005/22. (2022). *Normativa IMT - Materiales asfálticos, aditivos y mezclas - Calidad de materiales asfálticos*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-005-22.pdf>
- N-CMT-4-05-007/22. (2022). *Normativa IMT - Materiales asfálticos, aditivos y mezclas - Calidad de cal para mezclas asfálticas*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-007-22.pdf>
- N-CMT-6-01-004/13. (2013). *Normativa IMT - Materiales diverso - Geotextiles para mezclas asfálticas en caliente*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-6-01-004-13.pdf>
- N-CSV-CAR-1-03-004/16. (2016). *Normativa IMT para Determinar del Índice de regularidad Internacional*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-1-03-004-16.pdf>
- N-CSV-CAR-2-02-001/10. (2010). *Normas IMT - Trabajos de conservación rutinaria - Pavimentos - Limpieza de la superficie de Rodadura y acotamientos*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-2-02-001-10.pdf>
- N-CSV-CAR-2-02-002/15. (2015). *Normativa IMT - Trabajo de conservación rutinaria - Sellado de grietas aisladas en carpetas asfálticas*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-2-02-002-15.pdf>
- N-CSV-CAR-2-02-003/16. (2016). *Normativa IMT - Trabajos de conservación rutinaria - Bacheo superficial aislado*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-2-02-003-16.pdf>

- N-CSV-CAR-2-02-004/15. (2015). *Normativa IMT - Trabajos de conservación periódica - Capas de rodadura de mortero asfáltico*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-004-15.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-001/15. (2015). *Normativa IMT - Trabajos de conservación periódica - Renivelaciones locales en pavimentos asfálticos*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-001-15.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-002/22. (2022). *Norma IMT - Trabajos de conservación periódica - Capas de rodadura de un riego*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-002-22.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-003/15. (2015). *Normativa IMT - Trabajos de conservación periódica - Capas de rodadura de granulometría abierta*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-003-15.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-004/15. (2015). *Normativa IMT - Trabajos de conservación periódica - Capas de rodadura de mortero asfáltico*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-004-15.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-004/15. (2015). *Normativa IMT - Trabajos de conservación rutinaria - Bacheo profundo aislado*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-2-02-004-15.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-005/20. (2020). *Normativa IMT - Trabajos de conservación periódica - Carpeta asfáltica de granulometría densa*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-005-20.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-006/20. (2020). *Normativa IMT - Trabajos de conservación periódica - Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos Asfálticos*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-006-20.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-007/10. (N-CSV-CAR-3-02-007/10 de 2010). *Normativa IMT - Trabajos de conservación periódica - Recorte de carpetas asfálticas*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-007-10.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-008/03. (2003). *Normativa IMT - Trabajo de conservación periódica - Recuperación en caliente de carpetas asfálticas*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-008-03.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-009/06. (2006). *Normativa IMT - Trabajos de conservación periodica - Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos de concreto hidráulico*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-009-06.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-010/03. (2003). *Normativa IMT - Trabajo de conservación periódica - Reposición total o parcial de losas de concreto hidráulica*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-010-03.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-011/03. (2003). *Normativa IMT - Trabajos de conservación periódica - Reparación de desconchaduras en losas de concreto hidráulico*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-011-03.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-012/01. (2001). *Normativa ITM - Trabajo de conservación periódica - Estabilización de losas de concreto hidráulico*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-012-01.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-013/03. (2013). *Normativa IMT - Trabajos de conservación rutinaria - Estabilización o refuerzo de estabilización de revestimientos con cloruro de calcio*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-013-03.pdf>
- N-CSV-CAR-3-02-014/15. (2015). *Normativa IMT - Trabajos de conservación periódica - Capas de rodadura de granulometría discontinua tipo SMA*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-02-014-15.pdf>

- N-CVS-CAR-3-02-015/15. (2015). *Normativa IMT - Trabajos de conservación Periódica - Capas de rodadura de granulometría discontinua Tipo CASAA*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CVS-CAR-3-02-015-15.pdf>
- N-CVS-CAR-4-02-001/03. (2003). *Normativa IMT - Trabajos de reconstrucción - Recuperación en frío de pavimentos asfálticos*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CVS-CAR-4-02-001-03.pdf>
- N-CVS-CAR-4-02-002/03. (2003). *Normativa IMT - Trabajos de reconstrucción - Demolición de losas de concreto hidráulico*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CVS-CAR-4-02-002-03.pdf>
- N-CVS-CAR-4-02-003/03. (2003). *Normativa IMT - Trabajos de reconstrucción - Recorte de pavimentos*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CVS-CAR-4-02-003-03.pdf>
- N-CVS-CAR-4-02-004/03. (s.f.). *Normativa IMT - Trabajos de reconstrucción - Contrucción de subbases o bases hidráulicas*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CVS-CAR-4-02-004-03.pdf>
- N-CVS-CAR-4-02-005/14. (2014). *Normativa IMT - Trabajos de reconstrucción - Construcción de subbases o bases estabilizadas*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CVS-CAR-4-02-005-14.pdf>
- N-CVS-CAR-4-02-006/03. (Junio de 2003). *Normativa IMT - Trabajos de reconstrucción - Construcción de subbases y bases de concreto compacto con rodillo*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CVS-CAR-4-02-006-03.pdf>
- N-CVS-CAR-4-02-007/03. (2003). *Normativa IMT - Trabajos de reconstrucción - Construcción de carpetas y carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CVS-CAR-4-02-007-03.pdf>
- OMNIA. (20 de Octubre de 2022). *Omnia Machinery*. Obtenido de <https://www.omniamachinery.com/es/2022/10/what-is-asphalt-milling/>
- OVIE Chihuahua. (2020). *Municipio de Chihuahua - OVIE Chihuahua - IMPLAN*. Obtenido de <http://ovie.mpiochih.gob.mx/#!>
- Pacheco, C. (2021). *Diagnóstico de pavimento rígido de la vía del barrio Diamante en etapa 1 Municipio de Cartago, Valle del Cauca, Colombia*. Obtenido de <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/5742/2/2021PachecoColoradoCarlos.pdf>
- Padilla Rodríguez, A. (2004). *Universidad Politécnica de Cataluña - Capítulo 3. Mezclas asfálticas*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14&isAllowed=y>
- Para Todo México. (2013). *Paratodomexico.com - Estado de Chihuahua*. Obtenido de <https://paratodomexico.com/estados-de-mexico/estado-chihuahua/hidrologia-chihuahua.html>
- PASER Manual. (2002). *Pavement Surface Evaluation and Rating*. Obtenido de <https://www.apa-mi.org/docs/Asphalt-PASERManual.pdf>
- PAVCO. (2021). *pavcowavingeosinteticos*. Obtenido de https://pavcowavingeosinteticos.com/wp-content/uploads/2021/12/Geomalla-Fibra-de-Vidrio_FT2021.pdf
- Pavement Interactive. (s.f.). *Pavement Interactive - Índice de capacidad de servicio actual*. Obtenido de <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-management/pavement-evaluation/present-serviceability-index/>
- Pérez, J. A. (2022). Clase de Conservación de Vías. Chihuahua.
- Pía, E. (24 de Julio de 2019). *Concreto asfáltico mejorado: SMA Stone Mastic Asphalt*. Obtenido de Universidad Tecnológica Nacional:

- <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/3861/Proyecto%20Final%20-%20Fracaro%20Elisa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PITRA. (2016). *Programa de infraestructura del transporte - Guía de diseño de mezclas de laboratorio para los sellos de lechada asfáltica (Slurry seals)*. (L. n. estructurales, Ed.) Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/849/Versi%C3%B3n%20final%20Gu%C3%ADa%20Slurry%20Seals.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Porras, M. (2019). Aplicación de Mezcla densa en caliente en Carretera central IRSA Centro (Puente Ricardo Palma - La Oroya), Perú. Perú.
- Portal Comercial Ergon Asfalto. (31 de Agosto de 2012). *Beneficios de las capas de rodadura con riesgo de sello sincronizado*. Obtenido de Portal Comercial Ergon Asfalto México: <https://www.portal-comercial-smm.com/pdf/BENEFICIOS%20RSS.pdf>
- Promsa. (2021). Obtenido de <https://www.promsa.com/es/productos/p/grava-cemento>
- PT107. (2002). *Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México*. (S. d. transporte, Ed.) Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt170.pdf>
- PT108. (1998). *Índice de rugosidad internacional - IMT*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- PW. (s.f.). *PW Public works - Los angeles county*. Obtenido de <https://dpw.lacounty.gov/gmed/lacroads/treatmentslurryseal.aspx>
- RAE. (s.f.). *Real Academia Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/>
- Revitalizate México. (Noviembre de 2017). *Revitalizando la Industria de la Construcción - Subbases y bases*. Obtenido de <https://revitalizatemexico.wordpress.com/2017/11/16/pavimentos-de-concreto-consideraciones-de-diseno-de-subrasante-sub-base-y-base/#:~:text=La%20base%20hidr%C3%A1ulica%2C%20es%20una,las%20cargas%20que%20%C3%A9stas%20le>
- Reyes, F. A. (2022). *Diseño de pavimentos de carreteras y aeropuertos*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Rovem Partner. (s.f.). *Rovem Partner - Ensayo de deflexion con viga Benkelman*. Obtenido de <https://rovempartner.com/es/ensayo-de-deflexion-con-la-viga-benkelman/>
- Ruiz, C. A. (Abril de 2011). *Análisis de los factores que producen el deterioro de los Pavimentos Rígidos*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3033/1/T-ESPE-030924.pdf>
- Sanabria, N. (Marzo de 2023).
- Sánchez Castillo, X. A. (2003). *Repositorio Universidad de los andes*. Obtenido de Diseño de pavimentos articulados para traficos medio y alto: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/20919/u245809.pdf>
- Sanchez Sandoval, F. (2018). *DOCPLAYER - Introducción al diseño de pavimentos*. Obtenido de <https://docplayer.es/14890573-Introduccion-al-diseno-de-pavimentos.html>
- SEIIVCOM. (2020). *Sistema Estatal de Información de Infraestructura Vial y de Comunicaciones (SEIIVCOM) - Glosario*. Obtenido de <http://acvisor.edomex.gob.mx/SECOM/glosario.do#:~:text=JCEM.,%C3%A1reas%20de%20la%20actividad%20econ%C3%B3mica>
- SIGMUN. (2020). *GeoPortal - Municipio de Chihuahua - SIGMUN*. Obtenido de <https://geoportal.mpiochih.gob.mx/sigmun/apps/webappviewer/index.html?id=abab1eab03774ce18c3610b842f11264>

- Solminitac T., H., Echaveguren N., T., & Chamoro, A. (2018). *Gestión de Infraestructura Vial* (Vol. 3). Santiago de Chile: Ediciones UG.
- SSI. (1962). *Surface Systems & Instruments, Inc.* -. Obtenido de <https://www.smoothroad.com/espanol/>
- Toxement. (Enero de 2012). *Toxement - Soluciones expertas para la construcción*. Obtenido de <https://www.toxement.com.co/media/3406/guia-juntas-pavimentos-de-concreto.pdf>
- Toxement. (2018). *Guía Básica para sello de juntas para pisos industriales*. Obtenido de https://www.toxement.com.co/media/3745/spec_gui-a_sello_juntas.pdf
- TRB. (2010). *Transportation Research Board*. Obtenido de <https://trid.trb.org/view/999672>
- Urbanismo.com. (6 de Julio de 2016). *Urbanismo.com - Pavimentos flexibles*. Obtenido de <https://www.urbanismo.com/pavimentos-flexibles/>
- Ussa Caycedo, A. C., & Berrio Correa , L. A. (2012). *Auscultación de pavimentos rígidos mediante interpretación de imágenes*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/9359/BerrioCorreaLauraAndrea2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=La%20auscultaci%C3%B3n%20de%20pavimentos%20es,cu%C3%A1ndo%20realizar%20un%20mantenimiento%20preventivo.>
- WISE. (s.f.). *WISE - Características de las bases estabilizadas*. Obtenido de <https://blog.wise.com.mx/caracter%C3%ADsticas-de-las-bases-estabilizadas#:~:text=Estabilizadas%20con%20asfalto,agrega%20en%20forma%20de%20emulsi%C3%B3n.>
- Weatherpark. (2022). *es.weatherspark.com*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/h/y/3257/2022/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2022-en-Chihuahua-M%C3%A9xico#Figures-Humidity>
- Wikipedia. (s.f). *wikipedia - Heurística*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Heur%C3%ADstica>
- Yepes, V. (2019). *Universidad Politécnica de Valencia - Compactador monocilíndro vibratorio autopropulsado de patas apisonadoras*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/09/16/compactador-monocilindrico-vibratorio-autopropulsado-de-patas-apisonadoras/>

10 ANEXOS

10.1 Normativa Mexicana para mantenimiento rutinario

1. Obras de drenaje y subbdrenaje

- Limpieza de cunetas y contracunetas N-CSV-CAR-2-01-001/01
- Limpieza de canales N-CSV-CAR-2-01-002/01
- Limpieza de alcantarillas N-CSV-CAR-2-01-003/01
- Limpieza de colectores N-CSV-CAR-2-01-004/01
- Limpieza de lavaderos N-CSV-CAR-2-01-005/01
- Limpieza de registros N-CSV-CAR-2-01-006/01
- Limpieza de subdrenes N-CSV-CAR-2-01-007/01
- Limpieza de vados N-CSV-CAR-2-01-008/01
- Limpieza de obras especiales de control y protección N-CSV-CAR-2-01-009/01

2. Pavimentos

- Limpieza de superficie de rodadura y acotamientos N-CSV-CAR-2-02-001/10
- Sellado de grietas aisladas en carpetas asfálticas N-CSV-CAR-2-02-002/15
- Bacheo superficial aislado N-CSV-CAR-2-02-003/16
- Bacheo profundo aislado N-CSV-CAR-2-02-004/15
- Sellado de grietas y juntas en losas de concreto hidráulico N-CSV-CAR-2-02-005/02

3. Puentes y estructuras

- Limpieza de juntas de dilatación N-CSV-CAR-2-03-001/01
- Limpieza de parapetos, banquetas y camellones N-CSV-CAR-2-03-002/01
- Limpieza de drenes N-CSV-CAR-2-03-003/01
- Limpieza de estribos, pilas, columnas y aleros N-CSV-CAR-2-03-004/01

4. Túneles

- Impermeabilización de revestimientos N-CSV-CAR-2-04-001/01
- Limpieza de paredes y bóvedas N-CSV-CAR-2-04-002/01

5. Señalamiento y dispositivos de seguridad

- Reposición de marcas en el pavimento N-CSV-CAR-2-05-001/01
- Reposición de marcas en guarniciones N-CSV-CAR-2-05-002/01
- Reposición de marcas en estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura N-CSV-CAR-2-05-003/01
- Limpieza de vialetas y botes N-CSV-CAR-2-05-004/01
- Limpieza de señales verticales N-CSV-CAR-2-05-005/01
- Limpieza de defensas y barreras centrales N-CSV-CAR-2-05-006/01
- Reposición de vialetas para defensas y barreras centrales N-CSV-CAR-2-05-007/01
- Instalación de señalamiento y dispositivos para protección de obras de conservación N-CSV-CAR-2-05-011/01

10.2 Normativa Mexicana para mantenimiento periódico

1. Obras de drenaje y subdrenaje

- Reparación de cunetas y contracunetas N-CSV-CAR-3-01-001/02
- Reparación de canales N-CSV-CAR-3-01-002/02
- Reparación de alcantarillas N-CSV-CAR-3-01-003/02
- Reparación de colectores N-CSV-CAR-3-01-004/02
- Reparación de lavaderos N-CSV-CAR-3-01-005/02
- Reparación de registros N-CSV-CAR-3-01-006/02
- Reparación de subdrenes N-CSV-CAR-3-01-007/02
- Reparación de vados N-CSV-CAR-3-01-008/02
- Reparación de obras especiales de control y protección N-CSV-CAR-3-01-009/02

2. Pavimentos

- Reniveleaciones locales en pavimentos asfálticos N-CSV-CAR-3-02-001/15

- Capas de rodadura de un riego N-CSV-CAR-3-02-002/22
- Capas de rodadura de granulometría abierta N-CSV-CAR-3-02-003/15
- Capas de rodadura mortero asfáltico N-CSV-CAR-3-02-004/15
- Carpeta asfáltica de granulometría densa N-CSV-CAR-3-02-005/20
- Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfálticos N-CSV-CAR-3-02-006/20
- Recorte de carpetas asfálticas N-CSV-CAR-3-02-007/10
- Recuperación en caliente asfálticas N-CSV-CAR-3-02-008/03
- Fresado de la superficie en pavimentos de concreto hidráulico N-CSV-CAR-3-02-009/06
- Reposición total o parcial de losas de concreto hidráulico N-CSV-CAR-3-02-010/03
- Reparación de desconchaduras en losas de concreto hidráulico N-CSV-CAR-3-02-011/03
- Estabilización de losas de concreto hidráulico N-CSV-CAR-3-02-012/03
- Estabilización o refuerzo de estabilización de revestimiento con cloruro de calcio N-CSV-CAR-3-02-013/03
- Capas de rodadura de granulometría Discontinua Tipo SMA
N-CSV-CAR-3-02-014/15
- Capas de rodadura de granulometría discontinua TIPO CASAA
N-CSV-CAR-3-02-015/10

3. Puentes y estructuras

- Calafateo de fisuras N-CSV-CAR-3-03-001/02
- Reparación de grietas N-CSV-CAR-3-03-002/02
- Reparación y resanes en elemento de concreto N-CSV-CAR-3-03-003/02
- Reparación del sello de juntos de dilatación N-CSV-CAR-3-03-004/02
- Reparación de parapetos y banquetas. N-CSV-CAR-3-03-005/02

4. Túneles

- Relleno de oquedades N-CSV-CAR-3-04-001/02
- Reposición de drenes longitudinales N-CSV-CAR-3-04-002/02

5. Señalamiento y dispositivos de seguridad

- Reposición parcial de defensas N-CSV-CAR-3-05-001/02
- Reparación de barreras centrales de concreto hidráulico N-CSV-CAR-3-05-002/02
- Reposición aislada de vialetas y botones N-CSV-CAR-3-05-003/02
- Reposición aislada de señales verticales N-CSV-CAR-3-05-004/02
- Reposición y reparación de reglas y tubos guía para vados N-CSV-CAR-3-05-005/02
- Reposición de indicadores de alineamiento N-CSV-CAR-3-05-006/02
- Reposición y reparación de dispositivos diversos N-CSV-CAR-3-05-007/02

10.3 Normativa mexicana para trabajos de reconstrucción

1. Obras de drenaje y subdrenaje

- Reparación mayor de cunetas y contracunetas N-CSV-CAR-4-01-001/02
- Reparación mayor de canales N-CSV-CAR-4-01-002/02
- Reparación mayor de alcantarillas N-CSV-CAR-4-01-003/02
- Reparación mayor de registros N-CSV-CAR-4-01-004/02
- Reparación de subdrenes N-CSV-CAR-4-01-005/02

2. Pavimentos

- Recuperación en frío de pavimento asfálticos N-CSV-CAR-4-02-001/03
- Demolición de losas de concreto hidráulico N-CSV-CAR-4-02-002/03
- Recorte de pavimentos N-CSV-CAR-4-02-003/03
- Construcción de subbases o bases hidráulicas N-CSV-CAR-4-02-004/03

- Construcción de subbases o bases estabilizadas N-CSV-CAR-4-02-005/14
- Construcción de subbases y bases de concreto compactado con rodillo N-CSV-CAR-4-02-006/03
- Construcción de carpetas y carpetas ultra delgadas de concreto hidráulico N-CSV-CAR-4-02-007/03

3. Puentes y estructuras

- Remoción de carpeta asfáltica en puentes N-CSV-CAR-4-03-001/02
- Reposición de juntas de dilatación de grietas N-CSV-CAR-4-03-002/02

4. Túneles

- Reparación del sistema de iluminación N-CSV-CAR-4-04-001/02
- Reparación del sistema de ventilación N-CSV-CAR-4-04-002/02

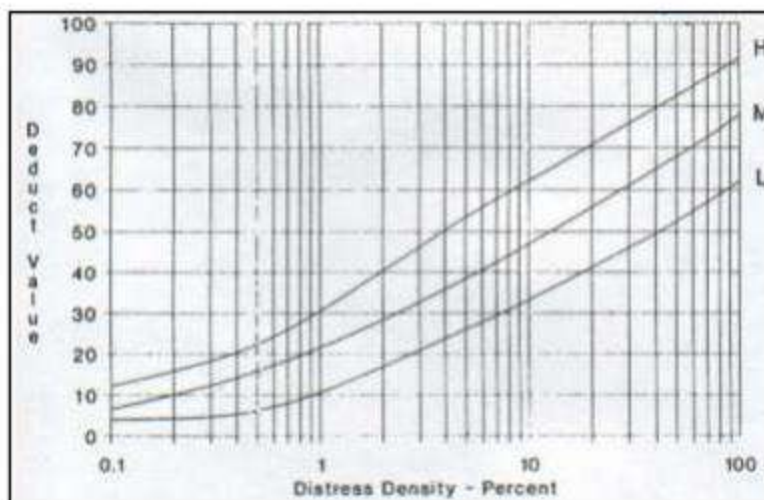
5. Señalamiento y dispositivos de seguridad

- Reposición total de vialetas y botones N-CSV-CAR-4-05-001/02
- Reposición total de señalamiento vertical N-CSV-CAR-4-05-002/02
- Reposición total de defensas N-CSV-CAR-4-05-003/02
- Reposición total de barreas centrales de concreto hidráulico N-CSV-CAR-4-05-004/02

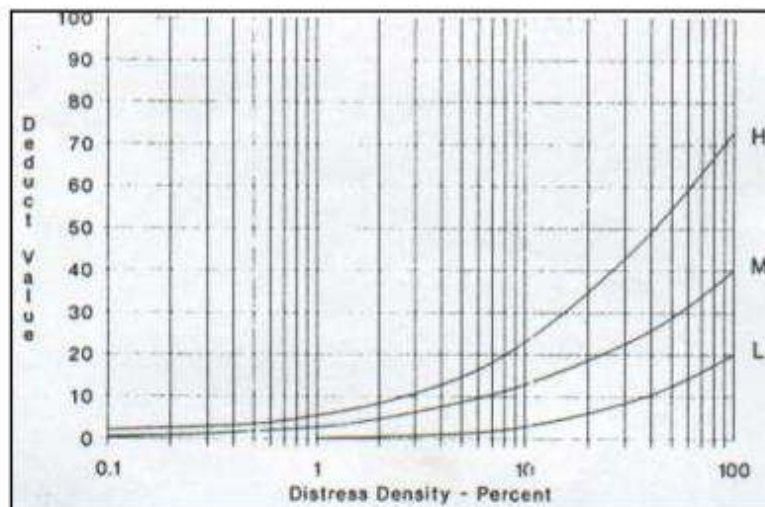
10.4 Figuras para cálculo de valor deducido según la normativa ASTM

D6433-03

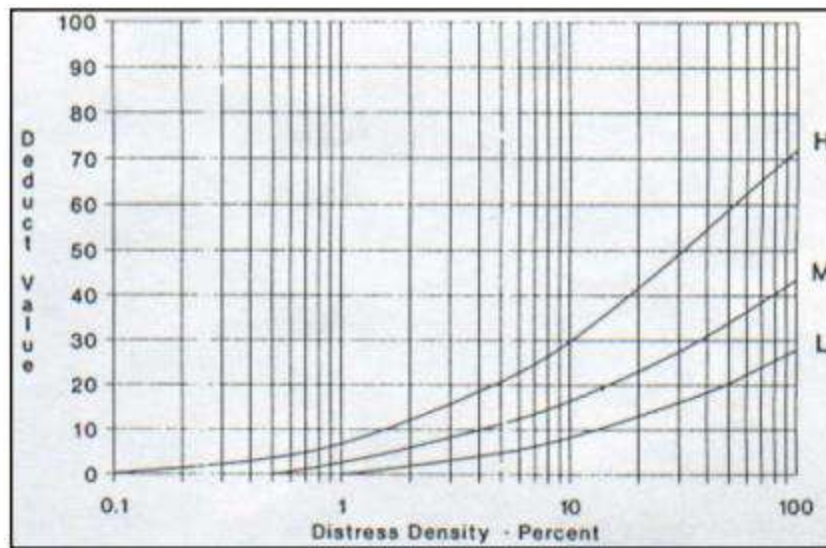
1. Piel de Cocodrilo



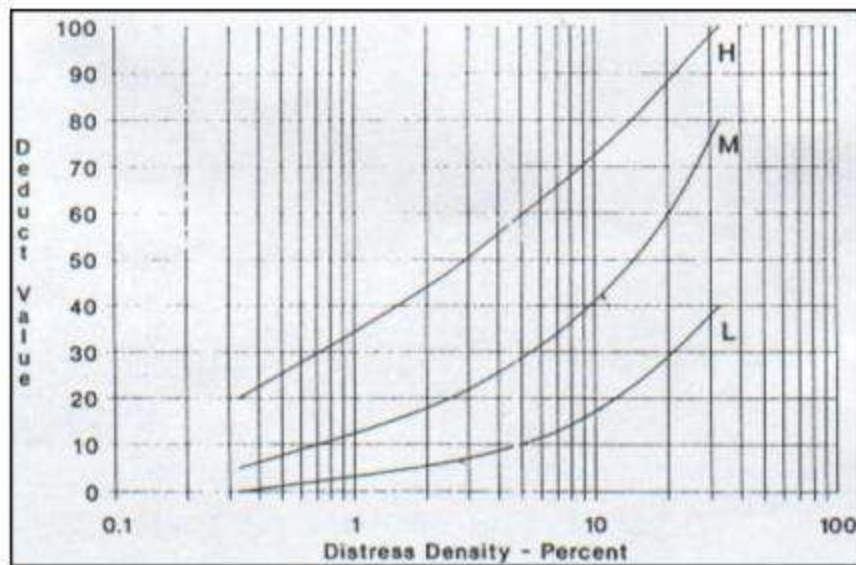
2. Exudación



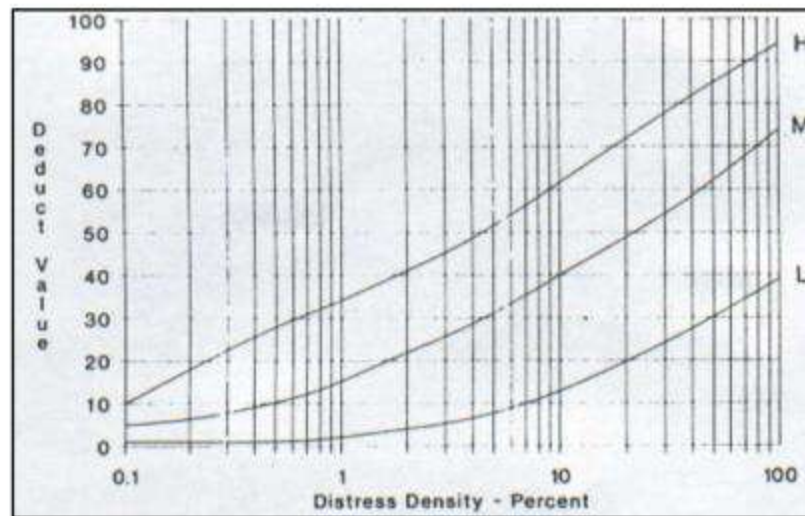
3. Fisuras en bloque



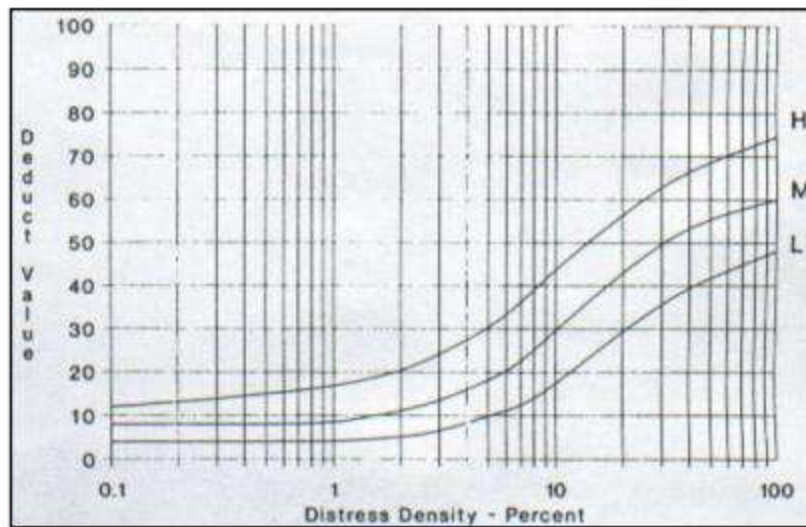
4. Abultamientos y hundimientos



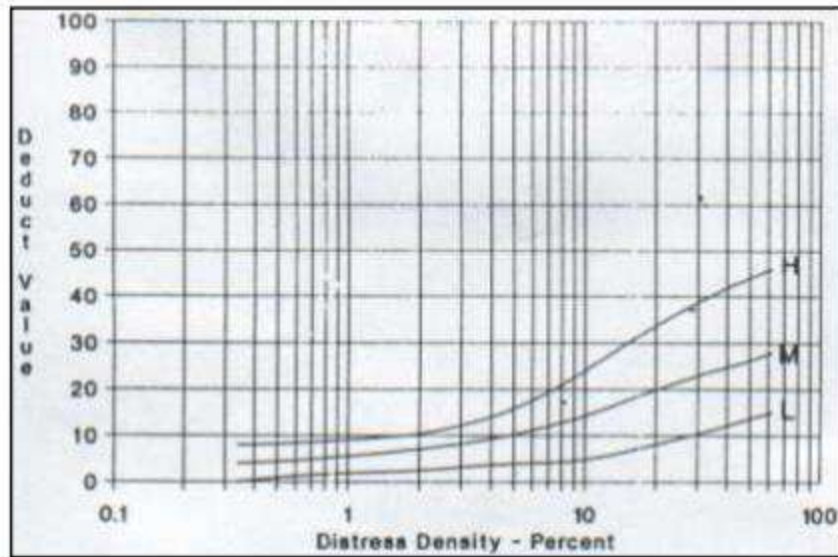
5. Corrugación



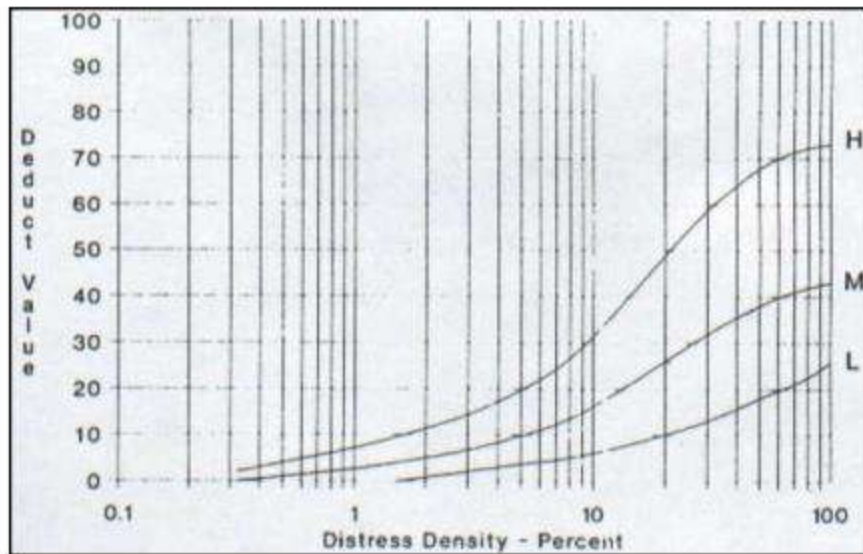
6. Depresión



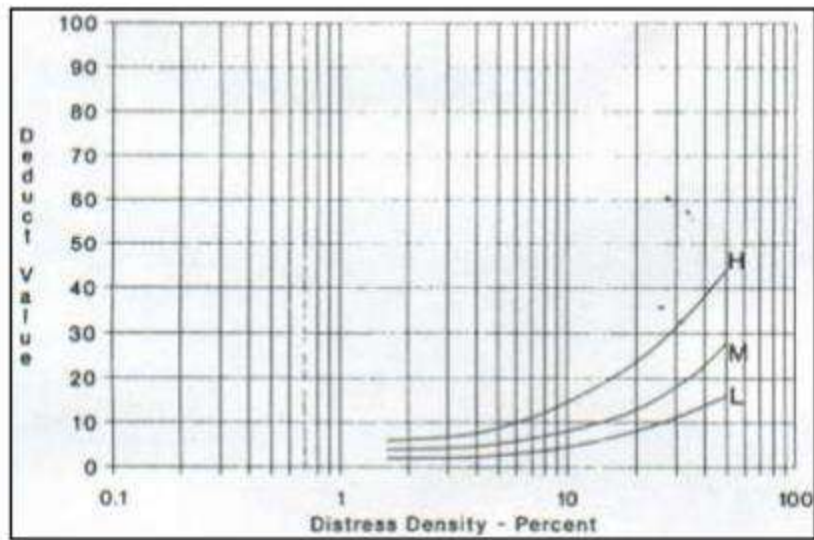
7. Fisuras de borde



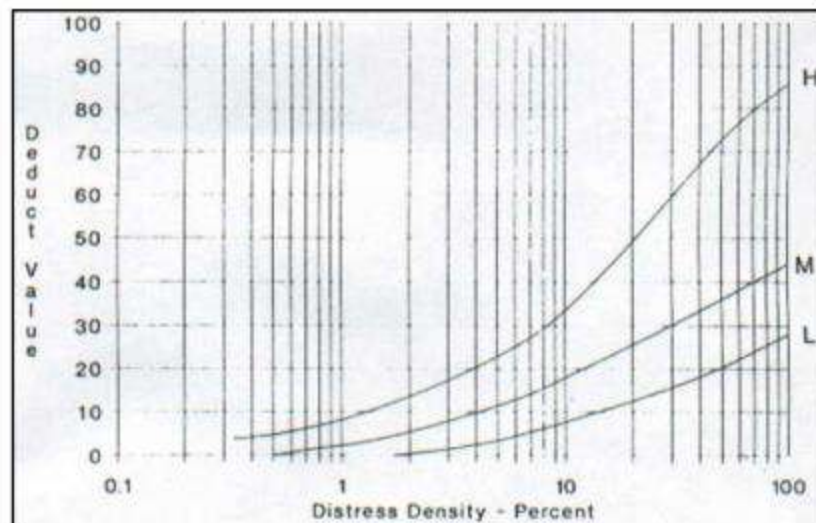
8. Fisuras de reflexión de junta



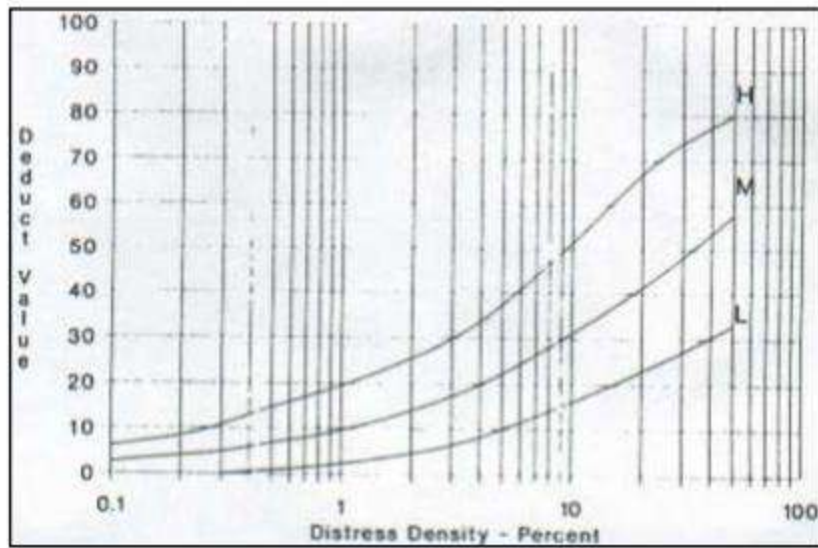
9. Desnivel carril - berma



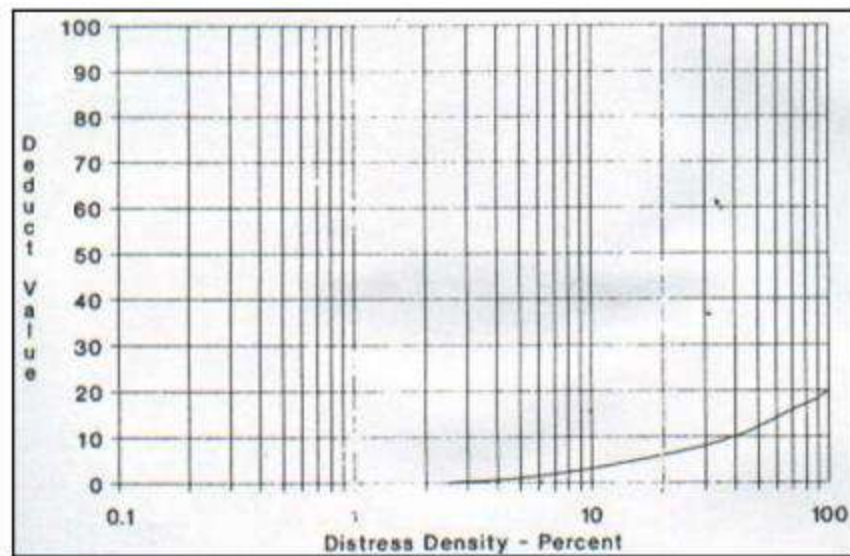
10. Fisuras longitudinales y transversales



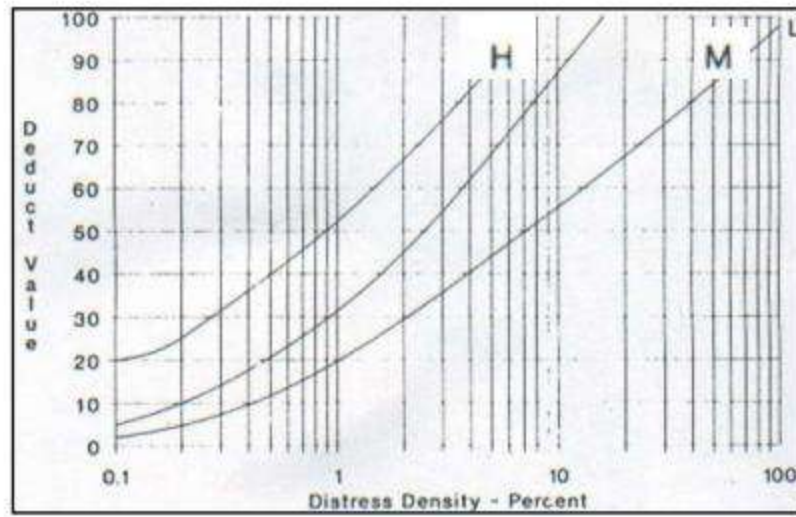
11. Parches y parches de cortes utilitarios



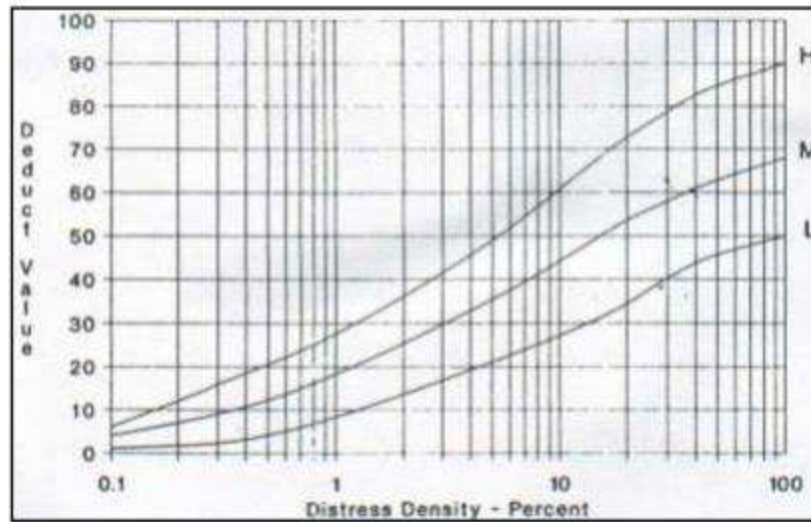
12. Pulimiento de agregados



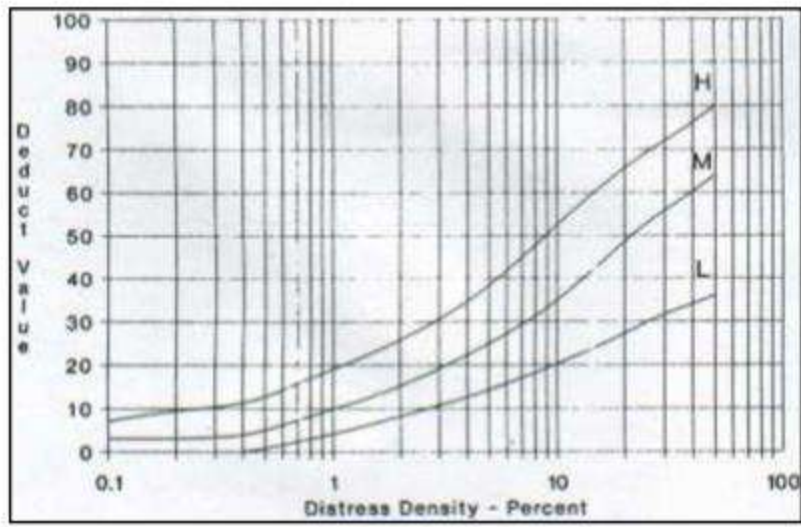
13. Baches



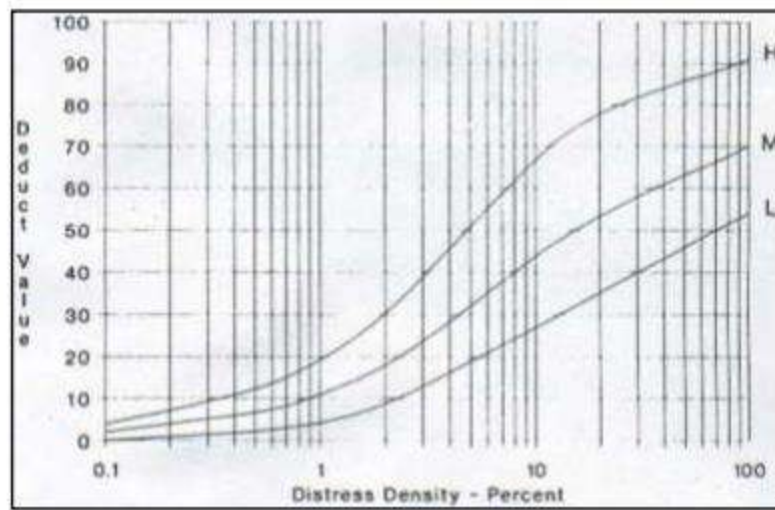
14. Ahuellamiento



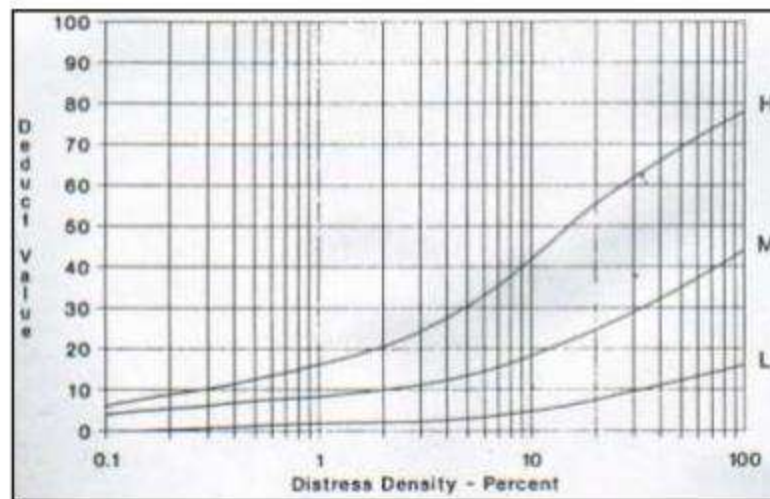
15. Desplazamiento



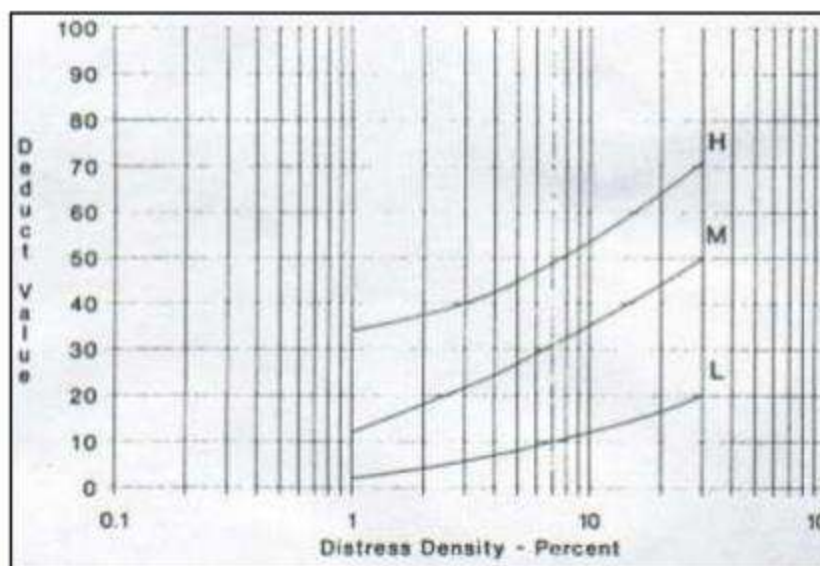
16. Fisura parabólica



17. Peladura y desprendimiento



18. Hinchamiento



10.5 Anexos de cálculos realizados para el levantamiento de daños

10.5.1 Cálculo levantamiento de daños – pavimentos flexibles

Tabla 30. Cálculo Método PCI 0+020-0+120

MÉTODO PCI ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES				Esquema:				
Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria								
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Avenida Melchor Ocampo - Calle Cuarta		Abscisa Inicial: 0+020						
Ciudad: Chihuahua		Abscisa Final: 0+120						
Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria		Area(m²): 1265.22						
Fecha: 19/07/2023		2 Carriles						
FALLA 1. Piel de cocodrilo 6. Depresión 11. Parches y parches de cortes utilitarios 16. Fisura parabolica o por deslizamiento 2. Exudación 7. Fisura de borde 12. Agregado pulido 17. Hinchamiento 3. Fisuras en bloque 8. Fisura de reflexión de junta 13. Baches 18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados 4. Abultamientos y hundimientos 9. Desnivel carril-berma 14. Ahuellamiento desprendimiento de agregados 5. Corrugación 10. Fisuras longitudinales y transversal 15. Desplazamiento								
FALLA	CANTIDAD					TOTAL (m²)	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1H	17.029	219.27				236.299	18.68	66
3M	12.12					12.12	0.96	5
7M	0.1275					0.1275	0.01	0
10M	0.01044					0.01044	0.00	0
11 H	37.13					37.13	2.93	30
13H	1.12					1.12	0.09	20
14H	41.78	1.18				42.96	3.40	45
15H	10.48					10.48	0.83	21
						0	0.00	18

Determinar el maximo valor deducido corregido (CDV)

#	Valor deducido								TOTAL	q	CDV
1	66	45	30	21	20	18	0.6122449		200.61	7.00	82
2	66	45	30	21	20	18	2		202.00	6.00	90
3	66	45	30	21	20	2	2		186.00	5.00	96
4	66	45	30	21	2	2	2		168.00	4.00	91
5	66	45	30	2	2	2	2		149.00	3.00	88
6	66	45	2	2	2	2	2		121.00	2.00	82
7	66	2	2	2	2	2	2		78.00	1.00	76
8											
9											
	HDV 66										

Determinar el numero de deducciones permisiles "m"

$$m = 1 + \left(\frac{q}{98} \right) * (100 - HDV) \leq 10$$

$$m = 4.12$$

$$4.12 - 4 = 0.12$$

Maximo CDV= 96

PCI= 4

Raiting= FALLADO

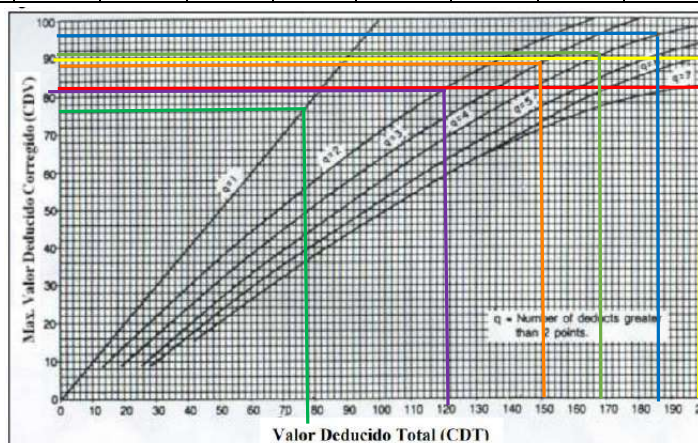


Tabla 31. Cálculo Método PCI 0+140-0+280.



MÉTODO PCI

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS

EN VÍAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Adaptación del método por

Ing. Nicolas Sanabria



Esquema:



Nombre de la vía: **Av. Niños Heroes entre Calle Cuarta y Av. Independencia**

Ciudad: **Chihuahua**

Ejecutor(es): **Ing. Nicolas Sanabria**

Fecha: **19/07/2023**

Abscisa Inicial: **0+140**

Abscisa Final: **0+280**

Area(m²): **1396.32**

3 Carriles

FALLA

1. Piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parches y parches de cortes utilitarios	16. Fisura parabolica o por deslizamiento
2. Exudación	7. Fisura de borde	12. Agregado pulido	17. Hinchamiento
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta	13. Baches	18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados
4. Abultamientos y hundimientos	9. Desnivel carril-berma	14. Ahuellamiento desprendimiento de agregados	
5. Corrugación	10. Fisuras longitudinales y transversal	15. Desplazamiento	

FALLA	CANTIDAD					TOTAL (m²)	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1H	45.47	5.75	15	15.68	33.74	115.64	8.28	60
4M	18.36	3.7				22.06	1.58	17
8M	10.78					10.78	0.77	4
10M	1.29					1.29	0.09	19
11H	22.57					22.57	1.62	22
13H	1.27					1.27	0.09	3
14H	32.29	32.29	32.29			96.87	6.94	55
15M	27.3	20.33				47.63	3.41	21
18H	20.4					20.4	1.46	18

Determinar el maximo valor deducido corregido (CDV)

#	Valor deducido										TOTAL	q	CDV
1	60	55	22	21	19	18	17	4	2.02040816	218.02	9.00	100	
2	60	55	22	21	19	18	17	4	2	218.00	8.00	100	
3	60	55	22	21	19	18	17	2	2	216.00	7.00	82	
4	60	55	22	21	19	18	2	2	2	201.00	6.00	90	
5	60	55	22	21	19	2	2	2	2	185.00	5.00	89	
6	60	55	22	21	2	2	2	2	2	168.00	4.00	90	
7	60	55	22	2	2	2	2	2	2	149.00	3.00	88	
8	60	55	2	2	2	2	2	2	2	129.00	2.00	85	
9	60	2	2	2	2	2	2	2	2	76.00	1.00	76	
	HDV	60											

Determinar el numero de deducciones permisiles "m"

$$m = 1 + \left(\frac{q}{98}\right) * (100 - HDV) \leq 10$$

$$m = 4.67$$

$$4.67 - 4 = 0.67$$

Maximo CDV= 100

PCI= 0

Raiting= FALLADO

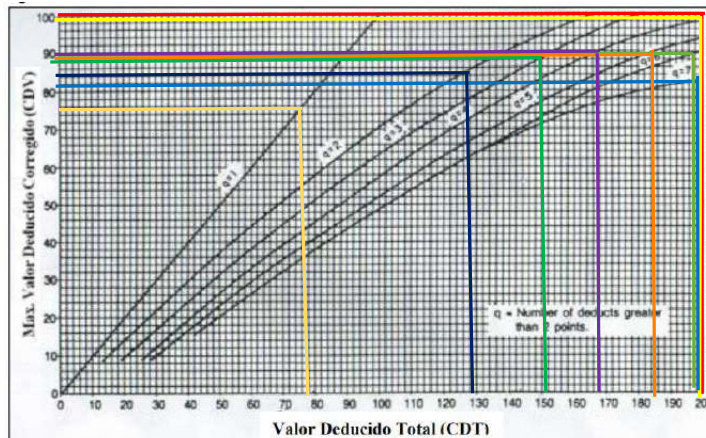


Tabla 32. Cálculo Método PCI 0+300-0+420



MÉTODO PCI

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS

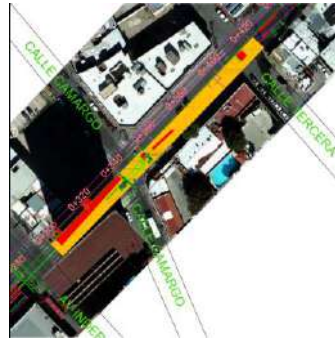
EN VÍAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Adaptación del método por

Ing. Nicolas Sanabria



Esquema:



Nombre de la vía:	Av. Niños Heroes entre Av. Independencia y Calle tercera	Abscisa Inicial:	0+300	
Ciudad:	Chihuahua	Abscisa Final:	0+420	
Ejecutor(es):	Ing. Nicolas Sanabria	Area(m²):	1000.00	
Fecha:	19/07/2023		3 Carriles	

FALLA

1. Piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parches y parches de cortes utilitarios
2. Exudación	7. Fisura de borde	12. Agregado pulido
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta	13. Baches
4. Abultamientos y hundimientos	9. Desnivel carril-berma	14. Ahuellamiento desprendimiento de agregados
5. Corrugación	10. Fisuras longitudinales y transversal	15. Desplazamiento
		16. Fisura parabolica o por deslizamiento
		17. Hinchamiento
		18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados

FALLA	CANTIDAD						TOTAL (m²)	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1H	119.5	11.52	11.5	3.72	11.93	12.38	170.55	17.06	65
7M	0.3						0.3	0.03	3
10M	16.884						16.884	1.69	7
11H	3.5	7.45	0.57	5.64	4.53	4.91	26.6	2.66	25
							0	0.00	0
							0	0.00	0
							0	0.00	0
							0	0.00	0
							0	0.00	0

Determinar el maximo valor deducido corregido (CDV)

#	Valor deducido								TOTAL	q	CDV
1	65	25	7	0.64285714					97.64	4.00	58
2	65	25	7	2					99.00	3.00	62
3	65	25	2	2					94.00	2.00	66
4	65	2	2	2					71.00	1.00	70
5									0.00	0.00	
6									0.00	0.00	0
7									0.00	0.00	0
8									0.00	0.00	0
9									0.00	0.00	0
	HDV	65									

Determinar el numero de deducciones permisiles "m"

$$m = 1 + \left(\frac{q}{98} \right) * (100 - HDV) \leq 10$$

$$m = 4.21$$

$$4.21 - 4 = 0.21$$

Maximo CDV= 70
 PCI= 30
 Rating= MALO

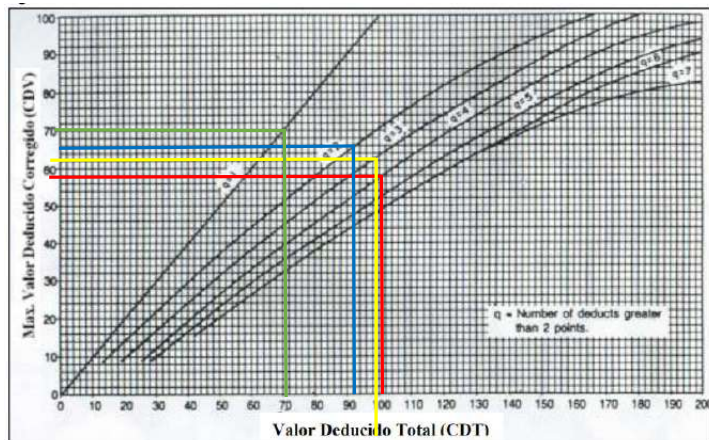


Tabla 33. Cálculo Método PCI 0+420-0+600.

MÉTODO PCI ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES						Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria		Esquema: 	
									
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Calle Tercera -		Abscisa Inicial: 0+420							
Ciudad: Chihuahua		Abscisa Final: 0+600							
Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria		Area(m²): 1176.00							
Fecha: 19/07/2023		1 carril entre calles Tercera -Dr. Gutierrez, 2 Carriles entre Calles Dr Gutierrez - Jouse Neri Santos, y un carril entre Calle Quinta-Jouse Neri							
FALLA 1. Piel de cocodrilo 6. Depresión 11. Parches y parches de cortes utilitarios 16. Fisura parabolica o por deslizamiento 2. Exudación 7. Fisura de borde 12. Agregado pulido 17. Hinchamiento 3. Fisuras en bloque 8. Fisura de reflexión de junta 13. Baches 18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados 4. Abultamientos y hundimientos 9. Desnivel carril-berma 14. Ahuellamiento desprendimiento de agregados 5. Corrugación 10. Fisuras longitudinales y transversal 15. Desplazamiento									
FALLA	CANTIDAD					TOTAL (m²)	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	
1H	6.75	1.75	4.89	11.92	3.71	29.02	2.47	35	
4M	3.5	1.08				4.58	0.39	7	
10M	7.95					7.95	0.68	5	
11H	3.45					3.45	0.29	8	
14H	27.61	27.6				55.21	4.69	55	
15M	9.1					9.1	0.77	9	
						0	0.00	0	
						0	0.00	0	

Determinar el maximo valor deducido corregido (CDV)

#	Valor deducido							TOTAL	q	CDV
1	55	35	9	8	7	5.6632653		119.66	6.00	58
2	55	35	9	8	7	2		116.00	5.00	60
3	55	35	9	8	2	2		111.00	4.00	63
4	55	35	9	2	2	2		105.00	3.00	66
5	55	35	2	2	2	2		98.00	2.00	78
6	55	2	2	2	2	2		65.00	1.00	64
7								0.00	0.00	0
8								0.00	0.00	
9								0.00	0.00	0
	HDV	55								

Determinar el numero de deducciones permisibles "m"

$$m = 1 + \left(\frac{q}{98}\right) * (100 - HDV) \leq 10$$

$$m = 5.13$$

$$4.21 - 4 = 1.13$$

Maximo CDV= 78
 PCI= 22
 Rating= MALO

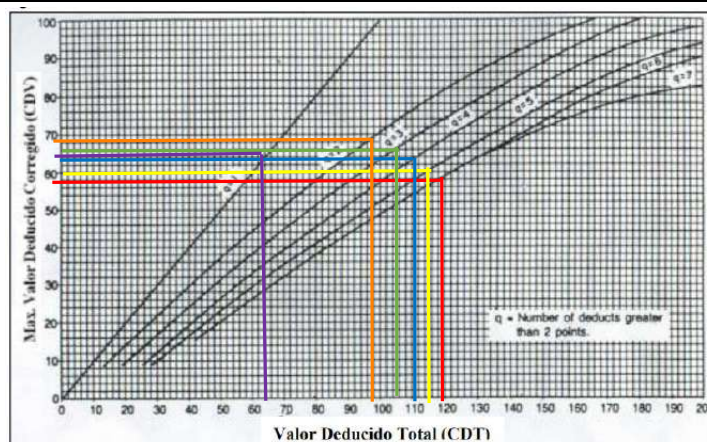


Tabla 34. Cálculo Método PCI 0+600-0+720.

Determinar el maximo valor deducido corregido (CDV)

#	Valor deducido								TOTAL	q	CDV
1	65	52	39	35	20	8	0.4285714		219.43	7.00	85
2	65	52	39	35	20	8	2		221.00	6.00	90
3	65	52	39	35	20	2	2		215.00	5.00	94
4	65	52	39	35	2	2	2		197.00	4.00	98
5	65	52	39	2	2	2	2		164.00	3.00	95
6	65	52	2	2	2	2	2		127.00	2.00	84
7	65	2	2	2	2	2	2		77.00	1.00	77
8									0.00	0.00	0
9									0.00	0.00	0
HDV		65									

Determinar el numero de deducciones permisibles "m"

$$m = 1 + \left(\frac{q}{98} \right) * (100 - HDV) \leq 10$$

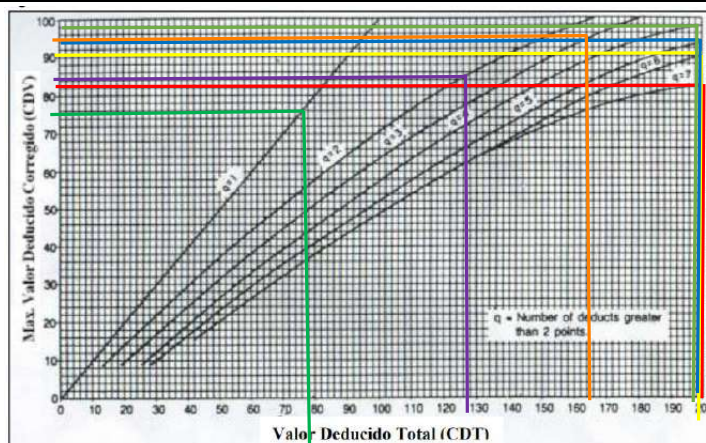
$$m = 4.21$$

$$4.21 - 4 = 0.21$$

Maximo CDV= 98

PCI= 2

Raiting= FALLADO



10.5.2 Cálculo levantamiento de daños – pavimentos rígidos

Tabla 35. Método PASER 0+000 a 0+020.

MÉTODO PASER ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria												Esquema:		
														
Nombre de la vía:		Av. Niños Heroes entre Avenida Melchor Ocampo - Calle sexta						Abscisa Inicial:		0+000				
Ciudad:		Chihuahua						Abscisa Final:		0+020				
Ejecutor(es):		Ing. Nicolas Sanabria						Área(m²):		315.45				
Fecha:		19/07/2023												
TIPO FALLA (T.F) 1. Grietas de esquina 2. Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4. Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separacion de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o escamado												CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10. Excelente		
T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE ÁREA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m²)	
1			3								3	0.3	0.9	0.285%
2			3								23.31	0.3	6.993	2.2168%
11					5								28.94	9.1742%
Total														11.676%

Nota: para la afectacion por Grietas se usa una estimacion de ancho de 0.3m para poder determinar un area de afectación considerable para el estudio

Tabla 36. Método PASER 0+060 - 0+120.

MÉTODO PASER ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria												Esquema:			
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Calle Sexta y Calle Cuarta						Abscisa Inicial: 0+060									
Ciudad: Chihuahua						Abscisa Final: 0+120									
Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria						Área(m²): 210.52									
Fecha: 19/07/2023															
TIPO FALLA (T.F) 1.Grietas de esquina 2.Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4.Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separacion de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o escamado												CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10.Excelente			
T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECCIÓN			% DE ÁREA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m²)		
1	1										2	0.3	0.6	0.285%	
2		2									18	0.3	5.4	2.5651%	
4			3								5	3.6	18	8.5503%	
8			3										1.5	0.7125%	
9					5								1.3	0.6175%	
11			3										34.78	16.5210%	
17												Total			29.251%

Nota: para la afectación por Grietas se usa una estimación de ancho de 0.3m para poder determinar un área de afectación considerable para el estudio

Tabla 37. Método PASER 0+120 - 0+140.

MÉTODO PASER ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria											Esquema: 			
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Calle Sexta y Calle Cuarta					Abscisa Inicial: 0+120									
Ciudad: Chihuahua					Abscisa Final: 0+140									
Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria					Área(m²): 302.72									
Fecha: 19/07/2023					Intersección en concreto									
TIPO FALLA (T.F) 1. Grietas de esquina 2. Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4. Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separación de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o escamado											CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10. Excelente			
T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFFECTACIÓN			% DE ÁREA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m²)	
4		2									4.5	3.6	16.2	5.351%
11			3										15.75	5.2028%
					5								Total	10.554%

Nota: para la afectación por Grietas se usa una estimación de ancho de 0.3m para poder determinar un área de afectación considerable para el estudio

Tabla 38. Método PASER 0+140 - 0+280.

MÉTODO PASER ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria													Esquema:
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Calle Cuarta y Av. Independencia Ciudad: Chihuahua Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria Fecha: 19/07/2023													Abscisa Inicial: 0+140 Abscisa Final: 0+280 Área(m²): 475.97 Carril de bus
TIPO FALLA (T.F) 1.Grietas de esquina 2.Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4.Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separacion de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o escamado													11. Parches
CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10.Excelente													

T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE ÁREA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longit ud (m)	Ancho (m)	Área (m²)		
1	1										1.05	0.3	0.315	0.066%	
2			3								117.27	0.3	35.181	7.3914%	
8		2									3.8	0.2	0.76	0.1597%	
9	1												66.07	13.8811%	
11		2											66.07	13.8811%	
														Total	35.380%

Nota: para la afectacion por Grietas se usa una estimacion de ancho de 0.3m para poder determinar un area de afectación considerable para el estudio

Tabla 39. Método PASER 0+280 - 0+300.

 MÉTODO PASER ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria 												Esquema: 			
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes Intersección entre Calle Sexta y en concreto Ciudad: Chihuahua Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria Fecha: 19/07/2023 Abscisa Inicial: 0+280 Abscisa Final: 0+300 Área(m²): 471.58															
TIPO FALLA (T.F) 1. Grietas de esquina 2. Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4. Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separacion de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o escamado CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10. Excelente															
T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE ÁREA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m²)		
1	1										2.5	0.3	0.75	0.159%	
11					5								30.8	6.5312%	
														Total	6.690%

Nota: para la afectacion por Grietas se usa una estimacion de ancho de 0.3m para poder determinar un area de afectación considerable para el estudio

Tabla 40. Método PASER 0+300 - 0+420.

MÉTODO PASER ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria											Esquema: 			
 														
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Av. Ciudad: Chihuahua Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria Fecha: 19/07/2023 Intersección en concreto Abscisa Inicial: 0+300 Abscisa Final: 0+420 Área(m²): 637.38														
TIPO FALLA (T.F) 1. Grietas de esquina 2. Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4. Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separación de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o escamado											CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10. Excelente			
T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE AREA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m²)	
2		2									15.47	0.3	4.641	0.728%
8		2											1.61	0.2526%
	4										Total			0.981%

Nota: para la afectación por Grietas se usa una estimación de ancho de 0.3m para poder determinar un área de afectación considerable para el estudio

Tabla 41. Método PASER 0+420 - 0+600.

MÉTODO PASER ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria												Esquema:		
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Av.				Intersección en concreto		Abscisa Inicial: 0+420								
Ciudad: Chihuahua						Abscisa Final: 0+600								
Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria						Área(m²): 1237.36								
Fecha: 19/07/2023				1 Carril entre Calles Tercera y Jouse Neri Santos, 1 carril entre calles Tercera -Dr. Gutierrez y un carril entre Calle Tercera y Quinta										
TIPO FALLA (T.F) 1.Grietas de esquina 2.Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4.Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separacion de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o escamado												CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10.Excelente		
T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE AREA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	
1				4							5	0.3	1.5	0.121%
2		2									89.17	0.3	34.84	2.8157%
4			3								7	3.45	24.15	1.9517%
6			3								39.5	0.3	11.85	0.9577%
8			3										0.4	0.0323%
11				4									123.68	9.9955%
											19	Total		15.874%

Nota: para la afectación por Grietas se usa una estimación de ancho de 0.3m para poder determinar un área de afectación considerable para el estudio

Tabla 42. Método PASER 0+600 - 0+720.

MÉTODO PASER ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Adaptación del método por Ing. Nicolas Sanabria												Esquema: 		
Nombre de la vía: Av. Niños Heroes entre Av.		Intersección en concreto		Abscisa Inicial: 0+600										
Ciudad: Chihuahua				Abscisa Final: 0+720										
Ejecutor(es): Ing. Nicolas Sanabria				Área(m²): 428.25										
Fecha: 19/07/2023		1 Carril entre Calles Tercera y Jouse Neri Santos, 1 carril entre calles Tercera -Dr. Gutierrez y un carril entre Calle Tercera y Quinta												
TIPO FALLA (T.F) 1. Grietas de esquina 2. Grietas longitudinales y transversales 3. Losas divididas 4. Grietas en Bloque 5. Grietas de durabilidad (tipo D) 6. Separacion de juntas Longitudinales 7. Deterioro de sello de Junta 8. Desportillamiento de juntas o rotura de borde 9. Descascaramiento o desprendimiento 10. Desintegración o escamado												CALIFICACIÓN PASER 1. Fallado 2. Muy pobre 3. Pobre 4. Justo 5. Justo 6. Bueno 7. Bueno 8. Muy bueno 9. Excelente 10. Excelente		
T.F	CALIFICACIÓN PASER										EFECTACIÓN			% DE ÁREA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m²)	
2					5						30.86	0.3	9.258	2.162%
Total													2.162%	

10.6 Técnicas de conservación

10.6.1 Limpieza de superficie de rodadura y acotamiento

Es de especial importancia realizar limpiezas con equipo de barrido en vías urbanas debido a que hay un sin fin de partículas sólidas o materiales parcialmente pulverizados que podrían afectar la seguridad de los usuarios (N-CSV-CAR-2-02-001/10, 2010).

Regularmente cuando hay accidentes de tránsito fuertes y se riegan líquidos como aceites, lubricantes u otro se debería realizar un procedimiento de limpieza con el fin de garantizar la seguridad de los demás usuarios. Pero esto implica altos costos que las ciudades y municipios realmente no están en disposición de pagar.

10.6.2 Sellado de fisuras aisladas en carpeta asfáltica

Es la operación de limpieza y aplicación de un material asfáltico en grietas pequeñas que presenta un pavimento en la superficie, con menos de 1 cm de abertura, para evitar la introducción del agua y de partículas finas extrañas, con objeto de mantener el comportamiento mecánico de la estructura, prolongando la vida de servicio del pavimento (N-CSV-CAR-2-02-002/15, 2015).

Eventualmente existe una considerable falencia en la normativa mexicana, el sellado de fisuras en carpetas asfáltica se debería normar particularmente que este tipo de sellado sea solo con aplicable cuando la grieta o fisura tenga 5mm de abertura, esto con el fin de realizar este tipo de mantenimiento con mayor frecuencia pero en distintos lugares, así se ayudaría a contar con mantenimiento rutinario en mas vías en ciudades y municipios. Pese a que se atendería varias vías y no solo una, sellar una fisura de 1 cm implica mas material y requiere de mucho más costo de intervencion.

Por esta razón, es importante que se realice este tipo de sellado en la primera aparicion de las fisuras sobre la superficie del pavimento, donde se iria menos material y se conservaria mucho mejor la superficie de agentes externos como el agua.

Otra particularidad que ocurre con mucha frecuencia en municipios y ciudades es que suelen aplicar sellos de fisuras sobre problemas de piel de cocodrilo, dentro de los cuales no es la mejor opción para intervenir en este tipo de fallas. Debido a que es una falla por fatiga se debe considerar otro tipo de intervención.

Conviene aplicar cuando se tengan:

- Fisuras o grietas longitudinales
- Fisuras o grietas transversales
- Fisuras tipo mapa
- Fisuras de reflexión

Materiales

Se podrá efectuar sellado de grietas o fisuras con la implementación de selladores comerciales en caliente o emulsiones asfálticas en frío.

Equipo



Figura 124. Equipo para sellado de fisuras (Crafco, 2023).

En este mismo apartado se integra el llenó de grietas entre 1 y 2 cm, para el cual se utiliza el mismo tipo de material, y para el equipo varia un poco más debido a que tiene que cubrir un área superficial más grande en la grieta. Para la cual es necesario usar.



Figura 125. Equipo para relleno de grietas y fisuras (Crafco, 2023).

10.6.3 Bacheo superficial aislado

Es un conjunto de actividades en zonas localizadas donde se repone la carpeta o capas asfálticas de un pavimento, regularmente se realizan en zonas con desprendimientos, desintegración de la mezcla asfáltica. Es superficial cuando su extensión no supera 100 m² por cada 7000 m² (N-CSV-CAR-2-02-003/16, 2016).

Materiales

- Emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido (para riego de liga)
- Mezcla asfáltica en caliente o en frío.

Todo material debe cumplir con la normativa IMT Vigente y actualizada

Equipo

- Cortadora con disco diamantado
- Compresor de aire (aplica en ciudades grandes), para municipios con un cepillo basta
- Sistema de riego de liga (ciudades grandes petrolizadora), para municipios con balde o cubeta de 20 litros
- Compactador manual (ciudades grandes), pisones para municipios
- Herramienta menor (pica, pala y carretilla)



Figura 126. Compactador manual de bacheo (Gobierno Matamoros, 2022).

Para realizar este procedimiento es importante contar una previa inspección del personal técnico para delimitar zonas a intervenir, realizar una delimitación con señalización para el procedimiento, retirar todo el material de la carpeta vieja, limpiar bien la superficie, aplicar riego de liga, mezcla asfáltica y compactar.

10.6.4 Bacheo profundo aislado

Es un conjunto de actividades que ayudan a la reposición parcial o total de pavimento asfáltico donde se perciben deformaciones y oquedades por desprendimiento o desintegración, cuando las capas subyacentes del pavimento se encuentran en condiciones inestables o con exceso de agua (N-CSV-CAR-2-02-004/15, 2015).

Materiales

Emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido (para riego de liga)

Mezcla asfáltica en caliente o en frío.

Todo material debe cumplir con la normativa IMT vigente y actualizada

Equipo

- Cortadora con disco diamantado

- Compresor de aire (aplica en ciudades grandes), para municipios con un cepillo basta
- Sistema de riego de liga (ciudades grandes petrolizadora), para municipios con balde o cubeta de 20 L
- Compactador manual (ciudades grandes), pisones para municipios
- Herramienta menor (pica, pala y carretilla)

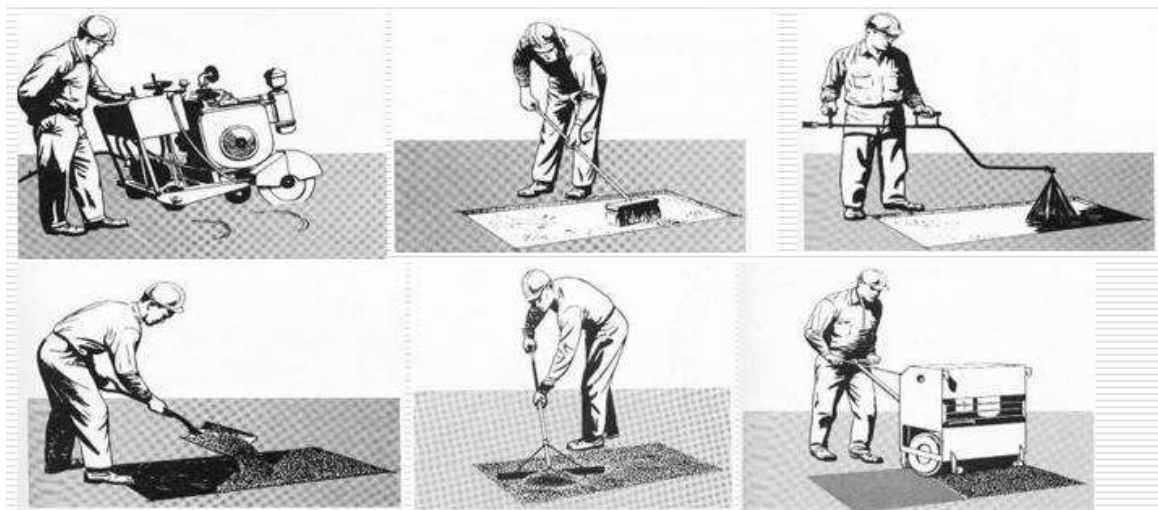


Figura 127. Bacheo profundo aislado (Campa, 2017).

10.6.5 Sellado de grietas y juntas en losas de concreto hidráulico

Es el conjunto de actividades que se realizan para sellar las grietas y juntas en carpetas de concreto hidráulico, con el propósito de evitar la entrada de agua o la pérdida de fino de la base por acciones de bombeo.

Materiales

Para la acción del sellado en concretos es importante cumplir con las propiedades de viscosidad, resistencia, adherencia, flexibilidad, elasticidad y durabilidad. Particularmente para sellado de grietas y juntas en losas de concreto se recomienda.

- Mortero con cemento Portland
- Epóxicos
- Poliuretanos

- Acrílicos o silicón
- Soportes para juntas (Polietileno)
- Emulsiones asfálticas de rompimiento rápido

Equipo

- Pistola con producto
- Morteros (palustre)



Figura 128. Sellado de grietas y juntas en losas de concreto hidráulico (Toxement, 2018).

10.6.6 Señalamiento – Reposición de marcas en pavimentos

Es todo conjunto de actividades para delimitar o marcar sobre los pavimentos. Suelen ser rayas, símbolos, números o letras que se encuentran sobre una vía. Se aplica con frecuencia con pintura tipo tráfico colores amarillo y blanco.

Equipo

- Equipo autopulsado para aplicación de pintura convencional



Figura 129. Equipo autopulsado para pintura en pavimentos (Crafco, 2023).

10.6.7 Señalamiento – Reposición de marcas en guarniciones

Con frecuencia y sobre el casco urbano de ciudades y municipios se suele realizar señalamiento sobre las guarniciones en banquetas y delimitación de zonas permitidas y no permitidas. Regularmente se suele usar pintura tráfico de color amarillo o blanco.

Equipo

- Equipo autopulsado para aplicación de pintura convencional
- Pintura de forma manual



Figura 130. Reposición de marcas en guarniciones (Campa, 2017).



Figura 131. Equipo autopropulsado para marcas de guarniciones (MAPSES , 2018).

10.6.8 Renivelaciones locales en pavimentos asfálticos

El objetivo de realizar una renivelación en pavimentos asfálticos es corregir deformaciones permanentes, dentro de las que se destacan roderas, depresiones y corrugaciones entre muchas otras. Colocar una capa de carpeta asfáltica sin valor estructural, funciona adecuadamente para restituir, secciones longitudinales y transversales (N-CSV-CAR-3-02-001/15, 2015).

Materiales

Mezclas asfálticas en frío o en caliente

Equipo

La norma no recomienda ningún un tipo en específico, pero se suele usar bacheadora y motodoconformadora para extender en tramos que quiera ser aplicada la renivelación.

10.6.9 Capas de rodadura de un riego (Riego de sello)

Las capas de rodadura de un riego son las que se aplican sobre la superficie de pavimento, haciendo uso de material asfáltico, ocasionalmente se suele adicionar fibras con determinada composición granulométrica, todo esto se realiza para mejorar la relación rueda- pavimento y así mismo mejorar superficialmente la resistencia al derrapamiento. No cumple función estructural alguna (N-CSV-CAR-3-02-002/22, 2022).

Materiales

Se debe cumplir con la normativa vigente y actualizada para calidad de materiales asfálticos modificados, calidad de mezclas asfálticas para carreteras y calidad de cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) si y solo si el proyecto lo requiere.

Equipo

- Equipo de riego sincronizado
 - Aspersores
 - Esparcidor
 - Dispositivo de aplicación de fibras
- Compactadores (máximo 4 toneladas) regularmente son rodillos neumáticos de dos ejes o tres.
- Barredoras mecánicas



Figura 132. Riesgo de sello sincronizado (Portal Comercial Ergon Asfalto, 2012).



Figura 133. Rodillos neumáticos con ruedas (AMMANN, 2023).

Sin embargo, hay otras formas de aplicación donde se usa una capa sin adición de polímetro, un material pétreo triturado con determinada granulometría.

Se suele usar este riego de sello para incrementar el coeficiente de fricción e impermeabilizar la superficie de rodadura.



Figura 134. Diferentes tipos de riego de sello (CMIC Veracruz, s.f).

Ventajas

- Incrementa el coeficiente de fricción
- Protege y aísla el agua y la humedad
- Ocasionalmente evita desprendimiento de partículas de asfalto existente
- Es un tratamiento que permite apertura rápida al tráfico
- Es económico y fácil de aplicar
- Sella fisuras menores

Limitaciones

- No sella grietas mayores de 5 mm ni fallas estructurales
- No realiza aporte estructural
- Si la dosificación no es la correcta queda material particulado o pétreo suelto y podría causar daños tanto al contacto rueda pavimento, como a los vehículos que transitan por la vía

Estos riegos de sello suelen aplicarse de dos formas: una sola capa y una multicapa.

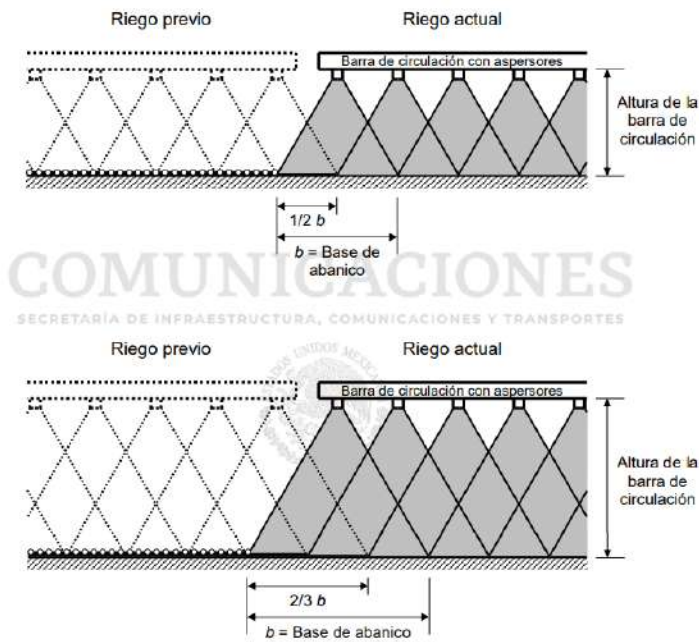


Figura 135. Aplicación del material asfáltico (N-CSV-CAR-3-02-002/22, 2022).

10.6.10 Capas de rodadura granulometría abierta

Las capas de rodadura de granulometría abierta son las que se desarrollan sobre la superficie de una carpeta asfáltica con materias pétreas de granulometría abierta y cemento asfáltico, pueden ser modificados o no. Esta capa tampoco tiene aporte estructural y regularmente suelen ser menores de 4 cm. Su principal función es generar adherencia en la superficie y reducir el acuaplaneo (N-CSV-CAR-3-02-003-15, 2015).

Materiales

Se debe cumplir con la normativa vigente y actualizada para materiales pétreos para mezclas asfálticas, calidad de materiales asfálticos modificados, calidad de mezclas asfálticas para carreteras y calidad de cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) y calidad de mezclas asfálticas para carreteras

Tabla 43. Requisitos granulométricos del material petro para mezclas asfálticas de granulometría abierta (N-CMT-4-04/17, 2017).

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	Para espesores ≤ 4 cm	Para espesores > 4 cm
25	1"	--	100
19	$\frac{3}{4}$ "	100	62 - 100
12,5	$\frac{1}{2}$ "	65 - 100	45 - 70
9,5	$\frac{3}{8}$ "	48 - 72	33 - 58
6,3	$\frac{1}{4}$ "	30 - 52	22 - 43
4,75	N°4	18 - 38	14 - 33
2	N°10	5 - 19	5 - 19
0,075	N°200	2 - 4	2 - 4

Equi

po

- Planta de mezclado
 - Secador
 - Pirógrafo después del secador (registro de temperatura)
 - Cribas
 - Silos para almacenar
 - Dosificadores
 - Termómetro
 - Dosificar el cemento asfáltico
 - Si y solo si se usa fibra deber tener su sistema de dosificación
 - Mezcladora
 - Pavimentadoras
- Compactadores
- Barredoras mecánicas

10.6.11 Capas de rodadura de mortero asfáltico

Regularmente estas capas de mortero asfáltico suelen ser de 1 o 2 cm de espesor, no tiene función estructural. Se construyen sobre la superficie asfáltica mediante un tendido de una mezcla de materiales pétreos de granulometría fina y cemento asfáltico en emulsión, con modificación o no (N-CSV-CAR-3-02-004/15, 2015).

El objetivo es resolver problemas superficiales como agrietamiento o pérdida de agregados, cubriendo además grietas y otras irregularidades, sellar de huecos. Proporcionando una superficie adecuada que mejore el confort del usuario.

Materiales

Se debe cumplir con la normativa vigente y actualizada para materiales pétreos para mezclas asfálticas, calidad de materiales asfálticos modificados, calidad de mezclas asfálticas para carreteras y calidad de cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) y calidad de mezclas asfálticas para carreteras

Tabla 44 Requisitos de granulometría del material pétreo para morteros asfálticos (N-CMT-4-04/17, 2017).

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
4,75	Nº4	100
2	Nº10	89 - 100
0,85	Nº20	43 - 72
0,425	Nº40	26 - 53
0,25	Nº60	17 - 41
0,15	Nº100	10 - 30
0,075	Nº200	5 - 15

Equipo

- Mezcladoras / extenderoras móviles
- Barredoras mecánicas



Figura 136. Equipo para aplicación de rodadura de mortero asfáltico (Campa, 2017).

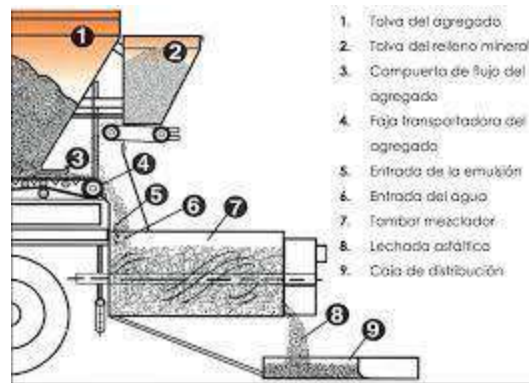


Figura 137. Partes de uno de los aplicativos del Slurry seal (PITRA, 2016).

Ventajas

- Funciona como impermeabilizante superficial
- Restituye la regularidad superficial
- Aumenta la resistencia a la tracción
- Tiene un rendimiento alto
- Bajo costo

Limitantes

- No puede abrirse al tráfico después de aplicado, debe cumplir con un tiempo de curado y fraguado para evitar desprendimiento de la capa de rodadura.



Figura 138. Aplicación de capa de rodadura con mortero asfáltico (slurry seals) (PW)

Hay aplicaciones de rompimiento lento y rompimiento rápido.

10.6.12 Carpeta asfáltica de granulometría densa

Son aquellas que se construyen sobre vías existentes, regularmente sobre carpetas asfálticas, pero también las realizan sobre pavimentos rígidos para mejoramiento. Es una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y continua. (N-CSV-CAR-3-02-005/20, 2020)

Materiales

Se debe cumplir con la normativa vigente y actualizada para materiales pétreos para mezclas asfálticas, calidad de materiales asfálticos para carreteras y calidad de cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG).

Se pone a consideración modificaciones en el desarrollo de asfaltos modificados solo si aplica.

Tabla 45. Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (N-CMT-4-04/17, 2017).

Malla		Tamaño nominal del material pétreo ^[1] mm (in)				
Abertura mm	Designación	9,5 (¾)	12,5 (½)	19 (¾)	25 (1)	37,5 (1½)
Porcentaje que pasa (en masa)						
50	2 in	---	---	---	---	100
37,5	1½ in	---	---	---	100	90 - 100
25	1 in	---	---	100	90 - 100	74 - 90
19	¾ in	---	100	90 - 100	79 - 92	62 - 83
12,5	½ in	100	90 - 100	72 - 89	58 - 81	46 - 74
9,5	¾ in	90 - 100	76 - 92	60 - 82	47 - 75	39 - 68
6,3	¼ in	70 - 89	56 - 81	44 - 71	36 - 65	30 - 59
4,75	Nº4	56 - 82	45 - 74	37 - 64	30 - 58	25 - 53
2	Nº10	28 - 64	25 - 55	20 - 46	17 - 42	13 - 38
0,85	Nº20	18 - 49	15 - 42	12 - 35	9 - 31	6 - 28
0,425	Nº40	13 - 37	11 - 32	8 - 27	5 - 24	3 - 21
0,25	Nº60	10 - 29	8 - 25	6 - 21	4 - 19	2 - 16
0,15	Nº100	6 - 21	5 - 18	4 - 16	2 - 14	1 - 12
0,075	Nº200	2 - 10	2 - 9	2 - 8	1 - 7	0 - 6

[1] El tamaño nominal de un material pétreo es la abertura de la malla con la que se designa el material que cumpla con una determinada granulometría.

Tabla 46. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $\sum L \leq 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017).

Característica ^[1]		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		35
Desgaste Microdeval, %, máximo		18
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo		40
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	90
	Dos o más caras	80
Desprendimiento por fricción, %, máximo		20
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco (d_{pd}), mínimo		2,4
Angularidad, %, mínimo		40
Equivalente de arena, %, mínimo		45
Azul de metileno, mg/g, máximo		18

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

Tabla 47. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $1 \times 10^6 < \sum L \leq 30 \times 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017).

Característica ^[1]		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		30
Desgaste Microdeval, %, máximo		18
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo		40
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	95
	Dos o más caras	85
Desprendimiento por fricción, %, máximo		20
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Angularidad, %, mínimo		45
Equivalente de arena, %, mínimo		50
Azul de metileno, mg/g, máximo		15

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

Temperaturas recomendadas

- Temperatura a la salida de la planta 135 – 180°
- Temperatura a la salida de la extendedora 120 – 150°
- Temperatura durante la compactación 85 – 150°

Equipo

- Planta de mezclado
 - Secador
 - Pirógrafo después del secador (registro de temperatura)
 - Cribas
 - Silos para almacenar
 - Dosificadores
 - Termómetro
 - Dosificar el cemento asfáltico
 - Si y solo si se usa fibra deber tener su sistema de dosificación
 - Mezcladora
- Pavimentadoras
- Compactadores rodillo metálico y rodillo de llantas
- Barredoras mecánicas



Figura 139. Aplicación de mezcla densa en caliente (Porrás, 2019).

10.6.13 Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfálticos

Esta actividad se diferencia de otras porque requiere de una máquina fresadora para eliminar las deformaciones superficiales en carpetas asfálticas, y no solo eso sino también funciona muy bien para retirar capas de rodadura o capas asfálticas del pavimento parcial o totalmente deterioradas. Mejora la superficie en cuanto confort y comodidad (N-CSV-CAR-3-04-006/20, 2020).

Equipos

- Fresadora
 - Cabezales de 0.9 m a un ancho de carril
 - Discos de corte montados en la cabeza de corte, con dientes de diamantados (5 cm)
 - Cilindro hidráulico
 - Dispositivos de control de alineación
 - Dispositivo a chorro de agua para enfriamiento
 - Banda elevadora
- Camión cisterna
- Camión de volteo



Figura 140. Equipo de fresado (OMNIA, 2022).

Este tipo de intervención genera una alta exposición al ruido mientras se realiza la ejecución, sin embargo, se realiza una ejecución por tramos en los cuales previamente se debe avisar a las comunidades cercanas. Por tanto, se recomienda revisar la normativa Prácticas Ambientales durante la conservación periódica de las obras (N-CSV-CAR-3-02-004/15, 2015).

10.6.14 Recorte de carpetas asfálticas

En esta sección se recopilan las actividades requeridas para remover la carpeta asfáltica por medios mecánicos (N-CSV-CAR-3-02-007/10, 2010).

Equipo

Lo mismo que Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfálticos, sin embargo para este apartado varia el disco de corte porque es un recorte de carpetas es de 20 cm de profundidad.

10.6.15 Recuperación en caliente de carpetas asfálticas

La recuperación en caliente consiste en un rejuvenecimiento del pavimento, se realiza una serie de actividades para incrementar la temperatura de la superficie a altas temperaturas, se procede a realizar una escarificación de 2 o 3 cm, se aplica un aditivo rejuvenecedor al asfalto existente, se agrega nuevo asfalto. En este punto se puede o no agregar una nueva mezcla asfáltica en caliente y finalmente compactar la capa tratada. Todo este procedimiento se realiza para eliminar depresiones, grietas y otros daños superficiales de baja y moderada severidad.

Aplicando este procedimiento se mejoran las condiciones de la vía y se garantiza la seguridad de los usuarios en la misma (N-CSV-CAR-3-02-008/03, 2003).

Materiales

Se debe cumplir con la normativa vigente y actualizada para calidad de cemento Portland, material para bases tratadas, materiales pétreos para mezclas asfálticas, calidad de materiales asfálticos para carreteras y calidad de mezclas asfálticas.

Equipo

- Equipo de recuperación
- Compactador (mínimo de 1 metro ancho)
- Barredores



Figura 141. Equipo de recuperación en caliente de carpetas asfálticas (Campa, 2017).

Se debe realizar sobre un margen de temperatura de 120-160 todo el proceso

Ventajas

- Elimina depresiones y agrietamientos leves y moderados
- Reutilización de material existente de la carpeta asfáltica
- Es económico y todo se hace in-situ
- Permite integración de mezcla asfáltica vieja y nueva si es necesario.

Limitaciones

- No corrige composición granulométrica de pétreo existente

- Si el material se encuentra con malas propiedades y no se adiciona material para mejorar su composición, puede reducir considerablemente la vida útil y requerida ser intervenido con otra metodología diferente.
- Requiere tener una longitud mínima determinada para que la ejecución sea rentable
- No se recomienda cuando ya se encuentra un agrietamiento por envejecimiento.

10.6.16 Recuperación en frío con emulsión asfáltica

En climas donde las condiciones son muy cambiantes conviene tener otras alternativas para recuperación dentro de las cuales se destaca la recuperación en frío “in situ” con emulsión asfáltica (Campa, 2017).

Existen dos formas, los que requieren una planta y los proceso en el lugar o insitu. En planta, los procesos son mucho más precisos y cuentan con una mejor dosificación, así mismo son mucho más costos estas actividades. Mientras, los insitu son procesos que requieren una dosificación ajustable al proyecto.

Se define como Recuperación en Frío con Emulsión Asfáltica, (RFEA), a la mezcla del material resultante del fresado, posteriormente es extendida y compactada, regularmente cuenta con un espesor comprendido entre 6 y 12 cm según sea el tipo de intervención, se debe aplicar con emulsión asfáltica, agua y ocasionalmente aditivos (Mercado , Bracho, & Avendaño, 2008).

Equipo



Figura 142. Equipo para recuperación en frío con emulsión asfáltica (Mercado , Bracho, & Avendaño, 2008).

Ventajas

- Mejora pavimentos envejecidos y deteriorados

- Incrementa la capacidad estructural
- Genera poco impacto ambiental
- Reduce costos en gestión de pavimentos
- Elimina deformaciones superficiales en la carpeta asfáltica
- Puede volver a reciclarse cuando este lo requiera.

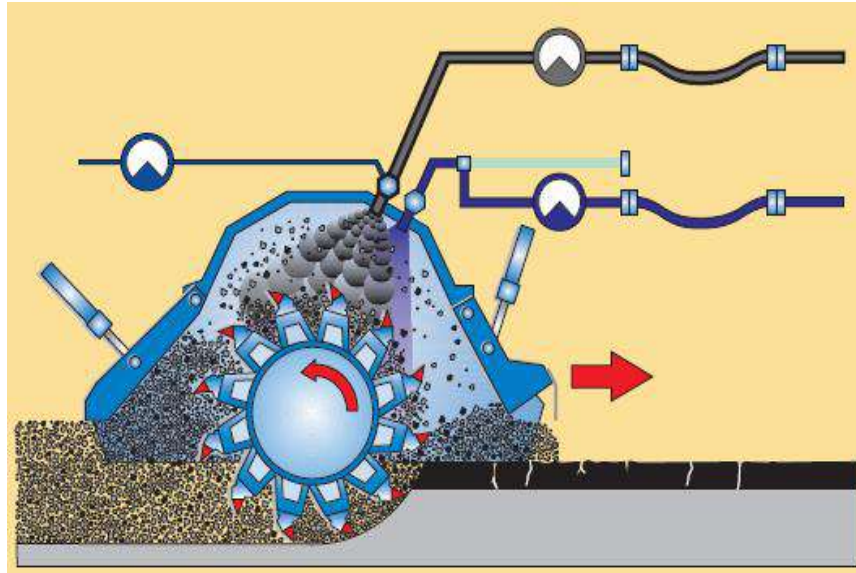


Figura 143. Procedimiento in-situ reciclado en frío (ATEB, 2017).

10.6.17 Fresado de la superficie de rodadura en pavimento rígido

Este procedimiento en superficie que fueron mal construidas o que tuvieron problemas de deficiencia el acabado de la carpeta de concreto hidráulico. Con este procedimiento se mejora la característica superficial, generando comodidad y seguridad a los usuarios (N-CSV-CAR-3-02-009/06, 2006).

Equipos

- Fresadora
 - Cabezales de 1 m como mínimo
 - Discos de corte diamantados
 - Cilindro hidráulico para mantener la presión sobre cabezales
 - Dispositivos de control de alineación



Figura 144. Equipo para fresado de pavimentos rígidos (Intermpresas.net, 2019).

10.6.18 Reposición total o parcial losas de concreto hidráulico

Esta actividad se cubre todo lo relacionado con la sustitución total o parcial de losas de concreto hidráulico, regularmente se presentan varias fracturas. Este apartado tiene como objeto mejorar la comodidad y regularizar la seguridad de los usuarios (N-CSV-CAR-3-02-010/03, 2003).

Materiales

Se debe cumplir con la normativa vigente y actualizada para materiales para losas de concreto hidráulico, 10.7.3 Materiales para pavimentos rígidos o concreto hidráulico y 10.7 Característica de los materiales.

Si tiene modificaciones en diseño, o aditivos deben ser notificadas al ente de control en cargado. Según sea el tipo de obra.

Equipo

- Equipo de corte
- Compresor de aire
- Martillos neumáticos / rotomartillos
- Retroexcavadora
- Vibradores de inmersión
- Regla vibratoria
- Texturizadora
- Equipo para perforación para pasa juntas y barras de amarre
- Equipo para la inyección del material de sellado

Se debe tener presente que para la reparación parcial o total de las losas de concreto hidráulico es importante saber intervenir la losa, para esto es necesario ubicar primero la grieta si está cerca de la junta intervenir $L/3$ con respecto a la junta si, particularmente se encuentra en el centro la grieta se recomienda intervenir a $L/3$ de junta de adelante y $L/3$ de la junta de atrás para determinar un $L/3$ a intervenir si es en el centro de la losa.

Cuando la losa presente una grieta de forma longitudinal que sobre pase más de la mitad de la losa, pobra intervenirse parcialmente solo la mitad de la losa afecta. Pero cuando sean grietas presentes en toda el área de la losa se debe intervenir completamente.



Figura 145. Intervención de losas de concreto hidráulico (Miranda, 2010).

Una vez selecciona la forma de intervenir se procede con la demolición y remoción del material, posteriormente se debe volver a rectificar la base con equipo conformación, se realiza los anclajes o pasa juntas si lo requiere. Se realiza el colado, se vibra, se nivela y se texturiza. Se deja parcialmente cubierto en caso de lluvia y al día siguiente se hidra la losa para evitar que esta se fracture por acción de retracción.

10.6.19 Reparación de desconcharuras en losas de concreto hidráulico

Es una reparación que se realiza sobre concreto hidráulico, que regularmente requiere de un área superficial de quince por cuatros centímetros.

Se realiza una remoción de la zona con desconchadura²⁰, se resana y se aplica un sello de juntas. Este procedimiento no debe realizarse si el daño presente es más profundo (N-CSV-CAR-3-02-011/03, 2003).

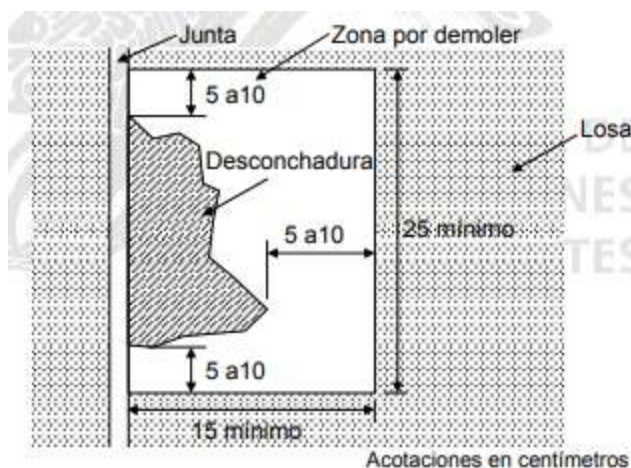


Figura 146. Dimensiones de área a reparar (N-CSV-CAR-3-02-011/03, 2003).

Materiales

Se debe cumplir con la normativa vigente y actualizada para materiales para losas de concreto hidráulico, materiales para pavimentos, característica de los materiales y calidad del concreto hidráulico.

Se debe tener especial cuidado con la elección de productos resane y relleno.

Equipo

- Equipo de corte
- Equipo escarificador
- Martillos neumáticos
- Vibrador de inmersión
- Reglas de vibratorias
- Equipo de curado
- Compresor de aire
- Mezcladora

²⁰ Desconchaduras: es una pérdida o desprendimiento muy cerca de la junta entre losas. // en este documento se encuentran como desportillamiento y/o descacaramiento.



Figura 147. Reparación de desconcharuras en losas de concreto hidráulico (Almany, 2015).

Proceso de intervención

- Delimitar el área de trabajo bajo parámetros reglamentados por la normativa IMT
- Remoción del sello existente
- Corte de la junta
- Colocar poliestireno no absorbente como se muestra en la siguiente imagen.

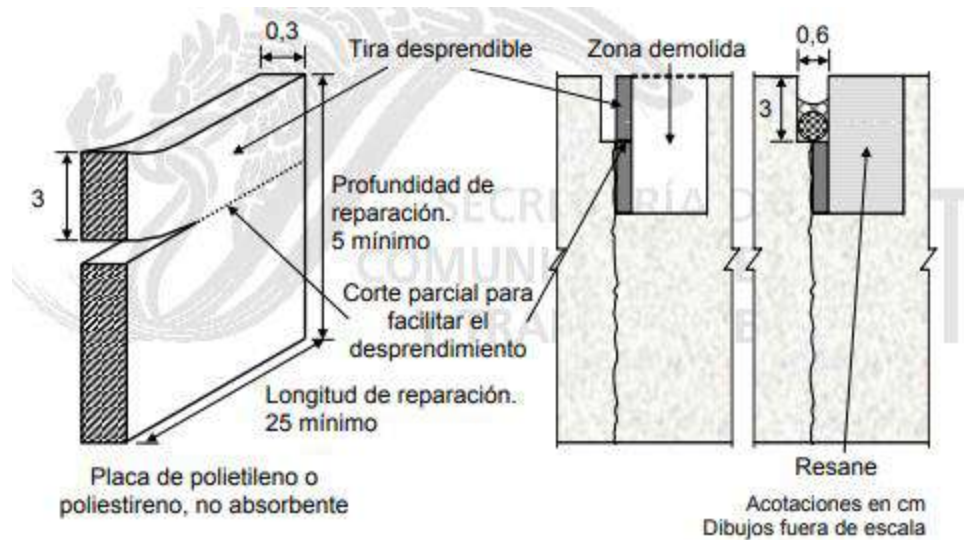


Figura 148. Placa para evitar el contacto entre el resane y losa adyacente (N-CSV-CAR-3-02-011/03, 2003).

10.6.20 Estabilización de losas de concreto hidráulico

La estabilización de losas de concreto hidráulico consiste en rellenar los espacios vacíos dentro de la capa de pavimento rígido, para esto se implementa una inyección con una lechada para estabilizar (N-CSV-CAR-3-02-012/01, 2001).

Materiales

Para la estabilización de losas se requiere tener presente la normativa vigente de materiales para concreto hidráulico y materiales para estructuras. Para los materiales de relleno, es decir las lechadas deberán tener características de compatibilidad con el concreto existente, tanto en resistencia, adhesión y durabilidad entre otras.

Equipo

- Equipo de mezclado para elaboración de la lechada
- Equipo perforador con broca diamantada para concreto
- Equipo de limpieza (soplador manual o compresor)
- Bomba de inyección

Proceso de intervención

- Delimitación de las losas por estabilizar
- Trazos de perforaciones

- Limpieza de la superficie
- Elección de la lechada según el tipo de concreto

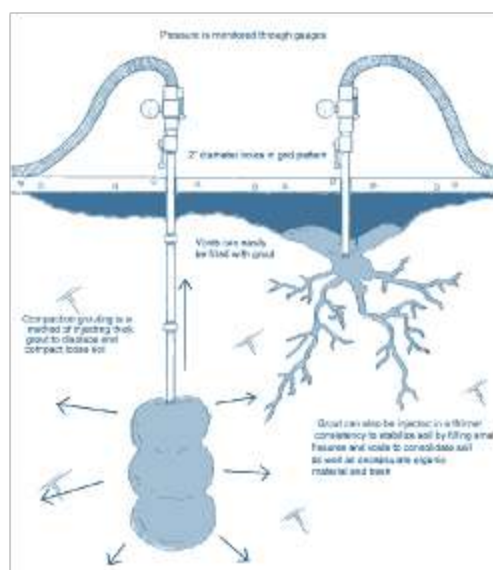


Figura 149. Equipo para estabilización de losas de concreto hidráulico (Engineered solutions, s.f).



Figura 150 Estabilización de losas de concreto hidráulico (Murotecmx, 2020).

10.6.21 Estabilización con revestimientos de Cloruro de Calcio

Son las actividades que se realizan para estabilizar o reforzar la estabilización con cloruro de calcio, esto solo será aplicado si la Secretaría lo indica. Será aplicado en revestimientos contruidos con materiales que contengan más de 10 por ciento de partículas finas del tamiz N° 200 (N-CSV-CAR-3-02-013/03, 2013).

No es muy frecuente encontrar este tipo de estabilizaciones, pero actualmente se encuentran normas y serán aprobadas si la Secretaría lo requiere y ha de aplicarse con regularidad periódica de 3 a 4 años.

Materiales

Cloruro de calcio en polvo con menos de 10% de impurezas

Equipo

- Camión de volteo con tapa
- Equipo para extender de manera uniforme

10.6.22 Capas de rodadura de granulometría discontinua Tipo SMA

Inicialmente es conveniente entender las siglas SMA, son proveniente del inglés de las palabras Stone Mastic Asphalt, es básicamente una mezcla de ligante asfáltico convencional o modificado, con un filler, fibras y algunas veces puede llevar aditivos (Pía, 2019).

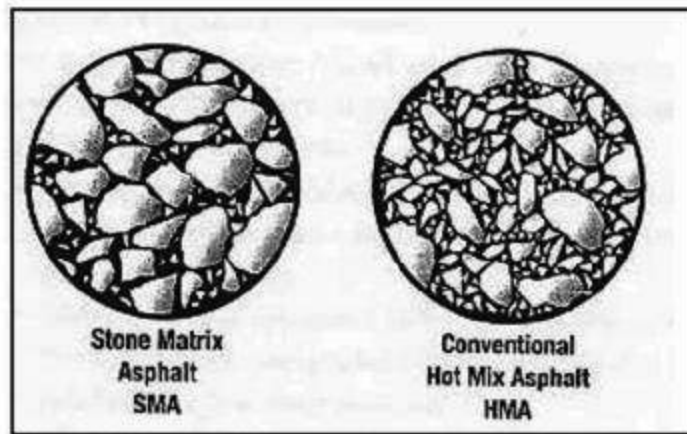


Figura 151. SMA vs Mezcla convencional (Pía, 2019).

La normativa IMT menciona que este tipo de aplicaciones no aportan capacidad estructural y que suelen ser aplicaciones de 3 a 4 cm de espesor. La finalidad que determina la normativa es minimiza el acuaplaneo y reduce la cantidad de agua impulsada sobre los otros vehículos cercanos (N-CSV-CAR-3-02-014/15, 2015).

Esta nueva metodología de aplicación de pavimentos fue normada en el 2010 en México, sin embargo es una tecnología que se ha implementado en Alemania desde 1968. Posteriormente se estandarizó en 1984, después se extendió considerablemente por varios países de Europa, y para mediados de los

90s tiene las primeras apariciones para 1993 se estandariza por AASHTO y se comienzan a realizar en varios lugares en Estados Unidos.

En México, no se ha explorado los grandes beneficios que puede dejar este tipo de Mezcla de SMA. Y lo que regularmente se encuentra normado por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte y el ITM es una capa sin aporte estructural para mejoramiento de superficie he impermeabilizacion. A sabiendas de que se podría explotar este tipo de mezclas de una mejor forma.

Por otro lado, existen comprobaciones prácticas que demuestran que la aplicación de altos espesores entre 4-10 cm con SMA puede ser ajustables en cuanto a diseño en relación con el espesor y el tipo de ligante asfáltico que se maneje. Pueden realizarse de una manera altamente impermeable, evitando un gran porcentaje de agua de escorrentía superficial. Pero también se puede llegar a diseñar con un porcentaje de 9% semi-permeables. Todo se puede ajustar según las características del proyecto, tipo de tránsito, clima y periodos a los que está expuesto el pavimento (Barrera Cervantes, 2008).

Recientes estudios han logrado de mostrar que el SMA mejora sus propiedades con alto contenido de huecos y con una incorporación de polvo de caucho de NFU²¹ (Costa, y otros, 2014).

En España. Se han tomado la tarea de realizar diferentes tipos de pruebas y combinaciones para mejorar las mezclas de tipo SMA. Sin lugar a dudas uno de sus mas grandes aportes es la reciente investigación e incorporación de los RAP²². En la cual se presenta una adición de RAP en el desarrollo de la mezcla de SMA, en donde se demuestra que usar asfalto reciclado incrementa el modulo de rigidez de la mezcla. Con esto se concluye que usar RAP reduce en el impacto ambiental y una baja los costos considerable para intervenciones.

²¹ NFU: es la implementación o uso de los neumáticos que se han dejado de usar y han pasado a formar parte de una conversión de residuos.

²² RAP: son pavimentos reciclados por medio de un fresado que aun cuentan con agregados y asfalto, al cual se le realiza un proceso de adición de ligante para reprocesar nuevamente una carpeta asfáltica.

Se muestra la Tabla 48 con el tipo de aplicación del estudio en España.

Tabla 48. Tramos de estudios de aplicación de SMA en España (Costa, y otros, 2014)

TRAMOS DE ENSAYO DEL PROYECTO						
CARRETERA	LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	LONGITUD TRAMO (m)	AÑO	MEZCLA	OBSERVACIONES
CV-43 Acceso desde la CV-50 a Alzira	P.K. 1+000 a 1+700	VALENCIA	700	jun-11	SMA 11	
CV-43 Acceso desde la CV-50 a Alzira	P.K. 1+900 a 2+200	VALENCIA	300	jun-11	SMA16	
CV-50	Travesía de Villamarxant. Puente sobre el río Turia	VALENCIA	150	jul-12	XSMA16	Mezcla con alto contenido de ligante (9% en peso de árido).
CALLE ISABEL ROSILLO	ALCOBENDAS	MADRID	100	nov-12	XSMA8	Con la incorporación de un 10% de material fresado
Carretera M-204, travesía de Carabaña	CARABAÑA	MADRID	450	jun-13	SMA 11	Para comparación
Carretera M-204, travesía de Carabaña	CARABAÑA	MADRID	450	jun-13	XSMA 8	Con polvo de caucho de NFU
Carretera M-204, travesía de Carabaña	CARABAÑA	MADRID	450	jun-13	XSMA 11	Con un 10% de material procedente de fresado
A-1 Puerto de Somosierra	SOMOSIERRA	MADRID	500	jun-13	XSMA 11	Con un contenido del 8 a 8,5% de ligante
AP - 7		CASTELLON	3920	2011	SMA 16	Con betún modificado con polímeros de alta viscosidad (PMB 45-80/75)
ESTADIO VICENTE CALDERON		MADRID		2011	SMA 8	Fabricado con fibras y con BMC 3c
AP - 4	P.K. 46+300 a 45+650	SEVILLA	650	2012	XSMA ALTO % DE HUECOS	Fabricada con fibras y BM 3c
AP - 4	P.K. 45+650 a 45+000	SEVILLA	650	2012	XSMA ALTO % DE HUECOS	Fabricada con polvo de caucho de NFU
PASEO DE LOS CURAS	MALAGA	MALAGA	600	2012	XSMA 8	Fabricada con polvo de caucho de NFU
AP - 4	ALREDEDOR P.K. 70+000	SEVILLA	600	2013	XSMA 11	Fabricada con alto % de huecos (9%) y alto contenido de ligante (7,2% s/a).
PASEO DE COLON		SEVILLA	300	2013	XSMA11	Mezcla templada (temperatura < 100°C) con betún



Figura 152. Aplicación de SMA en España (Costa, y otros, 2014).

10.6.23 Capas de rodadura de granulometría Discontinua Tipo CASAA

Las siglas CASAA corresponden capa asfáltica superficial altamente adherida, esta es una capa que no genera valor estructural, sin embargo, cumple con otras propiedades fundamentales para garantizar la seguridad de los vehículos. Dentro de las cuales se destaca principalmente una alta resistencia al derrapamiento. Cuenta con espesores menores de 4 cm (N-CSV-CAR-3-02-015/15, 2015).

Material

Se deben materiales que este bajo la norma vigente para construcción de capas de rodadura de granulometría discontinua tipo CASAA, se deben contemplar las normas para materiales pétreos para mezclas asfálticas, Calidad de Materiales asfálticos Modificados, calidad de materiales asfálticos grado PG y calidad de mezclas asfálticas.

- Temperatura a la salida de la planta 135 – 180°
- Temperatura a la salida de la extendedora 120 – 150°
- Temperatura durante la compactación 85 – 150°

Equipo

- Planta de mezclado
 - Secador con inclinación ajustable
 - Pirógrafo después del secador (registro de temperatura)
 - Cribas diferentes tamaños
 - Silos para almacenar filler
 - Toval para material pétreo
 - Dosificadores
 - Termómetro
 - Dosificar el cemento asfáltico
 - Si y solo si se usa fibra deber tener su sistema de dosificación
 - Mezcladora
- Pavimentadoras
- Compactadores rodillo metálico y rodillo de llantas

- Barredoras mecánicas



Figura 153. Tendido de carpeta asfáltica superficial altamente adherida. (Pérez, 2022)

10.6.24 Recuperación en frío de pavimentos asfálticos

Se habla de recuperación en frío de pavimentos asfálticos, cuando se desintegra la carpeta asfáltica, y ocasionalmente una parte o toda la base o subbase, pero aplicando métodos mecánicos en frío. Esto se hace para recuperado de una base o subbase luego de un detallado proceso de intervención contara con una nueva capa de rodadura (N-CSV-CAR-4-02-001/03, 2003).

Materiales

Se deben usar materiales pétreos, asfálticos, cemento Pórtland y cal. Todos estos materiales deben cumplir con las características de los materiales propuestas por el IMT. Deben estar regulados bajo la normativa vigente y actualizada.

Una de las aplicaciones actualizada para este tipo de intervención está dada por los asfaltos espumados, son una tecnología que consiste inyectar una pequeña cantidad de agua fría con aire comprimido sobre la nueva recuperación de asfalto base, dentro de una cámara de expansión, que genera espontáneamente espuma.



Figura 154. Tren de aplicación de un asfalto espumado (interempresas.net, 2017).

10.6.25 Demolición de losas de concreto hidráulico

Dentro de la demolición de losas de concreto hidráulico se ejecutan actividades de fracturación, remoción y operación para la reconstrucción de la losa.

Equipo

- Cortadora de disco diamantado
- Compresor de aire
- Martillos Neumáticos o rotomartillos
- Retroexcavadoras
- Camión para transporte de demolición

10.6.25.1 Demoliciones a $L/3$

Si y solo si cuando el deterioro parcial o local dentro de la losa de concreto se encuentre dentro de un tercio de la losa más cercano a la junta transversal o particularmente en centro, se podrá intervenir solo $L/3$.

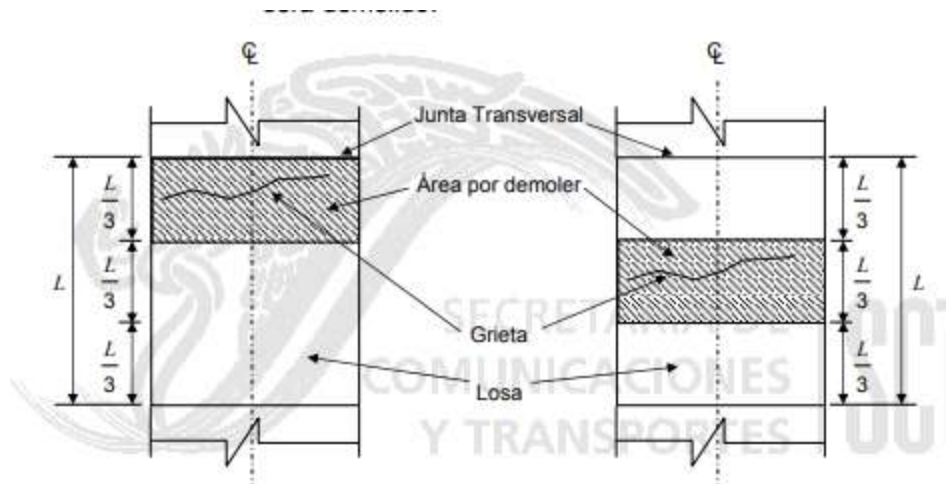


Figura 155. Delimitación normal de demoliciones a $L/3$ (N-CSV-CAR-4-02-002/03, 2003).

Si el deterioro se encuentra sobre se encuentra en una medida diferencia a un tercio se podrá realizar la aproximación a la junta más cercana de donde se encuentre el límite del deterioro, para entender mejor vea la Figura 156.

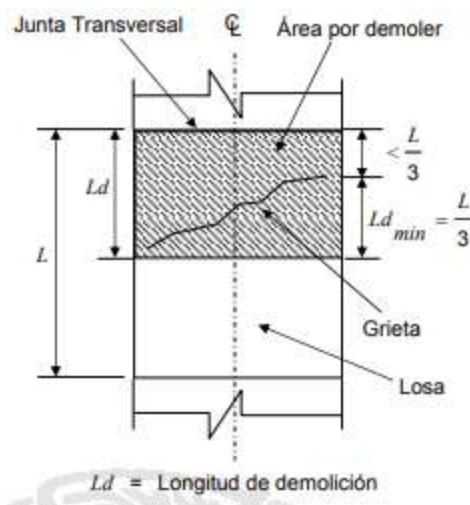


Figura 156. Extensión del área por demoler hasta la junta longitudinal (N-CSV-CAR-4-02-002/03, 2003).

Si, las losas son con refuerzo continuo, y no se alcanza a cubrir todo el deterioro será necesario extenderse 15 cm a cada lado. Vea la Figura 157

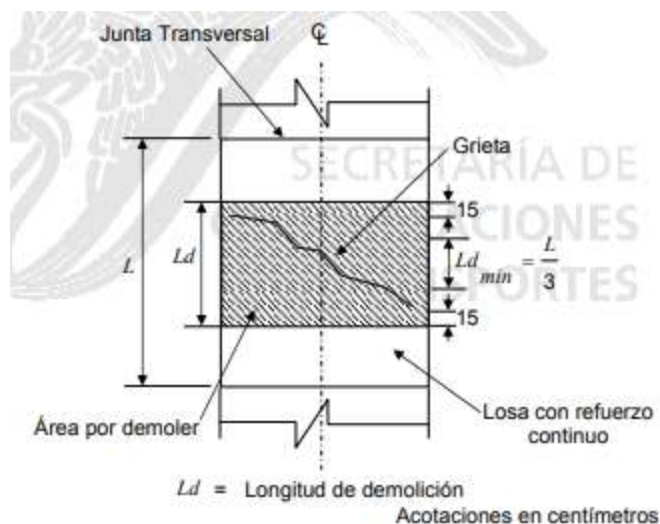


Figura 157. Extensión del área por demoler en losas con refuerzo continuo (N-CSV-CAR-4-02-002/03, 2003).

Especialmente para los cortes se debe tener especial cuidado con las losas adyacentes de no irlas a fracturar entre tanto se debe realizar un corte como lo indica la normativa IMT.

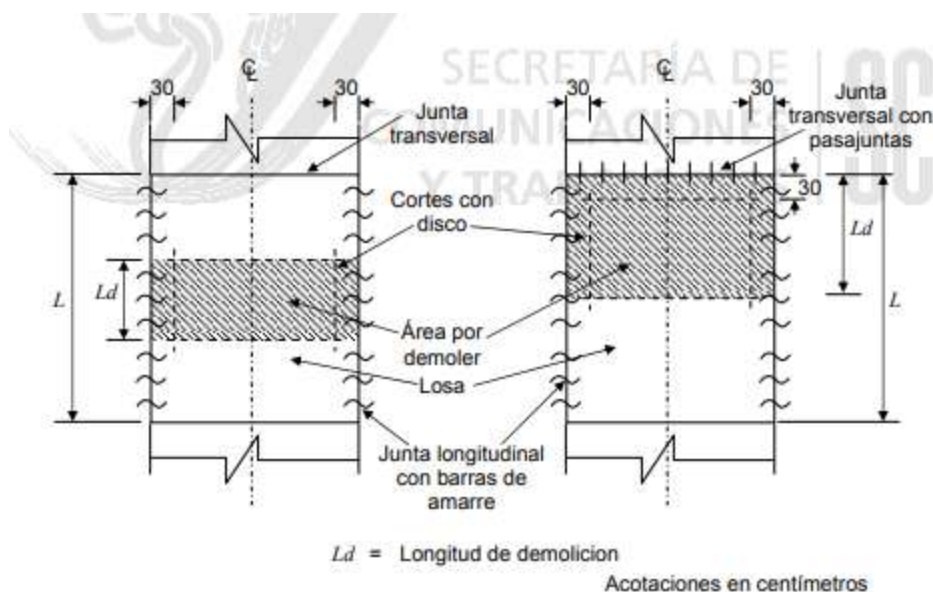


Figura 158. Corte para facilitar la demolición del concreto (N-CSV-CAR-4-02-002/03, 2003).

La profundidad recomendada es de 5 cm, pero se debe tener especial cuidado cuando se tenga una losa de refuerzo continuo, esta podrá profundizarse $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{3}$ del espesor de la losa.



Figura 159. Demolición de losas (El Heraldo de Juárez, 2022).

10.6.26 Recorte de pavimentos

Es un procedimiento mediante el cual se ejecuta para retirar la carpeta, base y/o subbase. En donde se sustituye parcial o totalmente (N-CSV-CAR-4-02-003/03, 2003). Esta normativa, no cuenta con modificación aun para el año en que se realiza esta investigación. Sin embargo, se ha de realizar este procedimiento mecánico también para los RAP.

Equipo

- Recuperadores de caminos



Figura 160. Recuperadores de camino Modelo CAT RM800 (CAT.MX, 2023).

10.6.27 Construcción de subbases o bases hidráulicas

Son el conjunto de actividades para construir subbases y bases hidráulicas, para la reconstrucción o refuerzo de la estructura de pavimentos (N-CSV-CAR-4-02-004/03).

Materiales

Se deben cumplir con la normativa vigente y actualidad de materiales para subbases y bases hidráulicas. Solo cuando el proyecto lo requiere usar mas de dos materiales de diferentes se deberá garantizar que sea un material homogéneo. Debe cumplir con las características de determinado proyecto.

Regularmente las bases o subbases se estabilizan con cemento, o cal según las características del proyecto.

Equipo

- Planta de donde se encuentran los bancos
- Motocoformadoras cuchillas de 3.65 m a 5.18 m de distancia entre ejes
- Extendedoras
- Compactadores



Figura 161. Aplicación de bases y subbases (Promsa, 2021).

Para el tendido y compactación de subbases o bases hidráulicas se deberá extender el material en capas sucesivas cumpliendo con el espesor que pueda compactar el equipo usado. Y esta compactación será realizada de las orillas hacia el centro y del interior al exterior cuando sean curvas. Todo traslapé debe ser en cuando mínimo $L/2$ de la longitud del ancho de compactador (N-CSV-CAR-4-02-004/03).

10.6.28 Construcción de subbases o bases estabilizadas

Las bases y subbases estabilizadas o modificadas incrementan los módulos de elasticidad y si incrementa el módulo incrementa satisfactoriamente la

disipación de esfuerzos verticales provenientes del tránsito vehicular (Garnica, 2022).

En este apartado se destacan los estándares que se requieren para mejoramiento y construcción de bases y subbases modificadas con diferentes materiales como el asfalto, cemento Pórtland, cal, polímeros, enzimas orgánicas, materiales sintéticos, entre otros (N-CSV-CAR-4-02-005/14, 2014).

Materiales

Para la implementación de materiales será necesario cumplir con los requisitos de calidad de cada material, que este regulado por el IMT. En caso de que este no este normado deberá ir acompañado de su presentación por el contratista y previamente aprobado por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte.

Dentro de los que se mencionan en la Normativa IMT, se destacan calidad de cementos Pórtland, materiales para subbases, materiales para bases tratadas, cal para estabilizaciones, calidad de materiales asfálticos y en general se debe revisar detalladamente el libro CMT – Características de los materiales (N-CSV-CAR-4-02-005/14, 2014).

Equipo

- Planta de mezclado
- Estabilizadoras
- Motoconformadoras
- Extendedoras
- Compactadores
- Camión de transporte de material

Mezclado del material

1) Mezclado en planta

- Plantas tipo Pugmill o de tambor rotatorio (Dosificación por masa)
- Mezclador de tipo continuo (Dosificación por masa y volumen)

2) Mezclado en el lugar

- Se estabilizará incorporando y distribuyendo el producto hasta obtener una mezcla uniforme

3) Mezclado con motoconformadora

El extendido será en tanto igual al criterio de bases y subbases, sin embargo, si el producto estabilizador requiere curado será necesario establecer una actividad adicional posterior a la compactación. (N-CSV-CAR-4-02-005/14, 2014)

10.6.29 Construcción de subbases y bases de concreto compactado con rodillo

En este apartado se especifica cómo se debe colocar y compactar una base o subbase por medio de compactadores de rodillos lisos, vibratorios y pata de cabra. Implementar una mezcla de agregados pétreos, cemento Pórtland y un agua proporcionadamente. Dando lugar al desarrollo de una base rígida de concreto hidráulico o como refuerzo de la estructura de un pavimento (N-CSV-CAR-4-02-006/03, 2003).

Materiales

Serán usados los materiales para bases y subbases estarán regulados por la normativa vigente y actualizada para materiales para bases tradas, calidad del cemento Pórtland.

Equipo

- Planta de mezclado
- Estabilizadoras
- Motoconformadoras
- Extendedoras
- Compactadores
- Camión de transporte de material



Figura 162. Compactador pata de cabra (Yepes, 2019).

La compactación del concreto hidráulico se hace después de haber sido colocado, y mucho antes de que inicie su proceso de fraguado, haciendo uso del compactador de pata de cabra y posteriormente con rodillos lisos vibratorios. Dando pasadas hasta alcanzar el 100% de la masa volumétrica (N-CSV-CAR-4-02-006/03, 2003).

Por otro lado, se deberá verificar y evitar juntas frías longitudinales, entre aplicaciones adyacentes, se necesario saber manejar los tiempos entre fraguado de una lado y aplicación del otro. Debe estar dentro del margen de 7 horas formando una unión monolítica. También es importante realizar un corte vertical de notando la terminación de un tendido y el inicio del otro. Ese material sobrante a de ser removido inmediatamente despues de haber realizado el tendido y compactado.

Una vez se haya endurecido el concreto será necesario aserrar cada 2 o 2.5m la base o subbase compactada con rodillo. Se muestra una figura para claridad del lector (N-CSV-CAR-4-02-006/03, 2003).

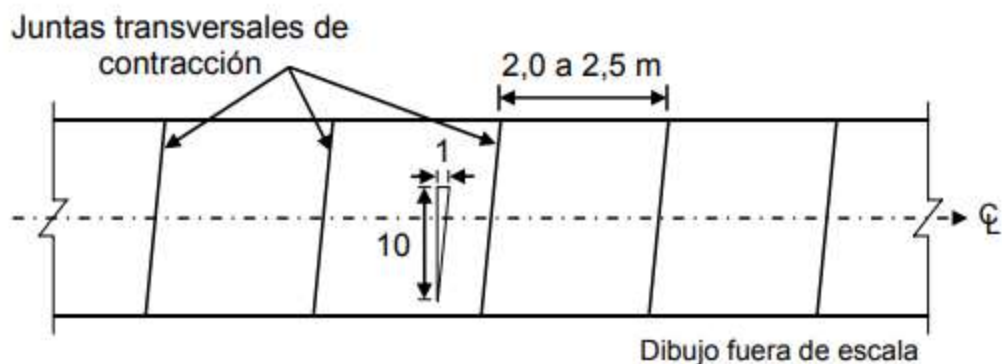


Figura 163. Posición de las juntas transversales de contracción.

Posterior al curado será necesario mantener humectado el concreto durante los próximos 3 días después de colado.

10.6.30 Construcción de carpetas y capas ultradelgadas

No es muy frecuente realizar intervenciones de carpetas de concreto hidráulico sobre pavimentos asfálticos. Sin embargo, en México se encuentra regulado este tipo de metodología de aplicación para reconstrucción en vías.

Se realizan actividades para construir una carpeta de concreto hidráulico sobre pavimento asfáltico; con el fin de generar o regularizar una superficie de rodamiento, garantizando la seguridad de los usuarios (N-CSV-CAR-4-02-007/03, 2003).

10.6.30.1 Carpeta de concreto hidráulico no adherida

Tiene un espesor de 22 centímetros o mayor, se implementa sin ningún tipo de trabajo previo.

10.6.30.2 Carpeta ultradelgada de concreto hidráulico adherida (whiletapping)

Esta tiene un espesor que oscila entre 10 a 15 centímetros, se debe garantizar una adherencia entre la superficie existente y la nueva. El whiletapping es un revestimiento de concreto de cemento Pórtland construido sobre un pavimento asfáltico existente. Se desarrolla a partir de una fuerte unión entre dos capas, se implementa principalmente para extender la vida de un pavimento asfáltico con problemas superficiales (Grupo MC, s.f).

Materiales

Será necesario implementar utilización de la normativa vigente y actualizada para materiales para losas de concreto hidráulico, materiales para pavimentos, características de los materiales. Los requerimientos para modificaciones serán notificados a la Secretaría de Comunicaciones y Transporte; ha de presentar todo su procedimiento.

Equipo

- Planta de mezclado
 - Tolva y silos para almacenar los agregados pétreos
 - Dosificador de agregados pétreos por masa
 - Dosificador cemento Pórtland
 - Cámara mezcladora equipada
- Extendedoras de concreto
- Pavimentadoras
- Vibradores
 - Vibradores de inmersión fijos
 - Vibradores de inmersión manuales
 - Vibradores superficiales
- Rastra de texturizado
- Texturarizadora
- Equipo de curado
- Equipo de corte
- Unidad de agua a presión
- Equipo para la inyección del material de sellado
- Fresadoras
- Camión de transporte de material

Selección de la carpeta y/o carpeta ultra delgada

Carpetas de concreto hidráulico sin adherir

Si el pavimento asfáltico presenta roderas (menores de 2.5 cm), se podrá realizar una carpeta sin adherir, sin embargo, se debe garantizar un espesor mínimo de 22 cm (N-CSV-CAR-4-02-007/03, 2003).

Carpeta ultra delgada de concreto hidráulico adherida

Para esta aplicación será necesario remitirse a la normativa vigente y actualizada, en la cual se establecen los criterios para fresado de la capa asfáltica, esto con el fin de lograr una uniformidad del espesor de la carpeta ultra delgada. Regularmente estos espesores varían de 10 a 15 cm (N-CSV-CAR-4-02-007/03, 2003).

10.7 Característica de los materiales

Muchas zonas urbanas requieren contemplar la disposición de materiales acorde como se encuentran en carreteras, sin lugar a dudas los pavimentos en zonas urbanas deben estar contemplados para circulación de vehículos, zonas de parada de autobuses, estacionamientos, zonas semaforizadas que requieren de frenado y acelerado. Esto hace entonces que se requiera una buena selección de materiales para que puedan soportar estas funciones mencionadas anteriormente.

Se debe garantizar el especial cuidado de zonas de alto tránsito, que se encuentran dentro de las zonas urbanas, especialmente las zonas del centro de las ciudades (Kraemer C. , y otros, 2004).

En el centro de la capital de Chihuahua, muchas de estas zonas estas siendo abordadas para cumplir con la funcionalidad adecuada, pero aún hoy se carece de una deficiencia en los mantenimientos y esto hace que su falta de intervención y prevención genere deterioros que posteriormente se están viendo afectados por daños en la base y subbase. Sin embargo, es importante conocer cuáles son los materiales reglamentados para la construcción, y cómo deben ser tratados cuándo se está en un proceso de conservación, rehabilitación o reconstrucción.

A continuación, se presentan los distintos materiales reglamentados por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT).

10.7.1 Materiales para pavimentos flexibles

10.7.1.1 Material para revestimiento

Son los materiales granulares que forman parte de la superficie de rodamiento, regularmente se realizan en carreteras que presentan deficiencias en sus superficies en cuanto adherencia y fricción, por lo cual se hace necesario realizar un revestimiento. O en ocasiones sobre terracerías para evitar que sean levantado el material (N-CMT-4-01/02, 2002).

A continuación se mencionan según la N-CMT-4-01/02 los tratamientos mecánicos para revestimiento.

Materiales que no requieren tratamiento mecánico

Todas las arenas o gravas superiores a 75 mm o 3" serán eliminadas manualmente.

Materiales que requieren ser disgregados

Todas los limos y arenas o conglomerados que al sacarlos suelten en forma de terrones pueden llegar a disgregarse por el uso de maquinaria. Luego de esto no deberá contener más del 5% de partículas superiores a 75 mm o 3".

Materiales que requieren ser cribados

La mezcla de gravas, arenas y limos que tienen un 5-25% de partículas superiores a 75 mm o 3", requerirán un tratamiento de cribado con malla con abertura de 75 mm o 3", para poderlos usar.

Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados

La mezcla de gravas, arenas y limos que tienen más de 25% de partículas superiores a 75 mm o 3" requiere un tratamiento de trituración y cribado con malla con abertura de 75 mm o 3", para poderlos usar.

Mezcla de dos o más materiales con o sin tratamiento mecánico

Cualquier combinación de entre los materiales, requerirá o no tratamiento mecánico. Sin embargo, la normativa menciona que no es muy aconsejable usar mezclas para este tipo de revestimiento, debido a que incrementa los costos.

Otros tratamientos químicos propuesto por la Normativa IMT para revestimientos:

- Materiales modificados con el producto de la recuperación de carpetas asfálticas
- Materiales modificados con cementos hidráulicos
- Materiales modificados con cal
- Materiales estabilizados con productos químicos

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Revestimientos	N-CTR-CAR-1-04-001
Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base	M-MMP-4-01-001
Granulometría	M-MMP-4-01-003
Límites de Consistencia	M-MMP-4-01-006
Valor Soporte de California (CBR)	M-MMP-4-01-007
Compactación AASHTO	M-MMP-4-01-010
Grado de Compactación	M-MMP-4-01-011

Figura 164. Normas y manuales para revestimientos (N-CMT-4-01/02, 2002).

Requisitos de calidad

- Todo revestimiento deberá cumplir con:

Tabla 49. Granulometría del material para revestimientos (N-CMT-4-01/02, 2002).

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
75	3"	100
50	2"	85 - 100
37,5	1½"	75 - 100
25	1"	66 - 100
19	¾"	61 - 100
9,5	¾"	50 - 100
4,75	Nº4	40 - 80
2	Nº10	30 - 60
0,85	Nº20	20 - 44
0,425	Nº40	14 - 32
0,25	Nº60	10 - 25
0,15	Nº100	7 - 20
0,075	Nº200	5 - 15

- La relación entre porcentaje que pasa la malla N° 200 al que pase la malla N° 40 no será mayor de 0.65.
- Si no cumple con la presente norma la granulometría, se podrá mezclar y configurar hasta tener una buena aproximación de la mezcla. Si finalmente este no cumple será necesario implementar un estudio para establecer las propiedades de los materiales y justificar porque se usará ese tipo de material de acuerdo a su configuración y aprobación por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Sin embargo, debe tener una muy buena aproximación así no esté dentro de la granulometría especificada por la normativa.
- Deberá cumplir con requisito de calidad:

Tabla 50. Requisitos de calidad de materiales para revestimiento (N-CMT-4-01/02, 2002).

Característica	Valor %
Límite líquido, máximo	30
Índice plástico, máximo	15
Equivalente de arena; % mínimo	30
Valor Soporte de California (CBR) ^[1] , mínimo	50
Grado de compactación ^[2] , mínimo	95

[1] Con el grado de compactación indicado en esta Tabla

[2] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa

10.7.1.2 Material pétreo para mezclas asfálticas

Los materiales naturales previamente triturados y cribados al 100%, según el tipo de mezcla se clasifican de distintas formas (N-CMT-4-04/17, 2017).

A continuación, se presentan por separado:

Requisitos de calidad de materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría densa

$\Sigma L \leq 106$ (igual o menor un millón de ejes equivalentes)

Tabla 51. Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa $\Sigma L \leq 106$ (N-CMT-4-04/17, 2017).

Malla		Tamaño nominal del material pétreo ⁽¹⁾				
Abertura mm	Designación	9,5 (3/8)	12,5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37,5 (1 1/2)
Porcentaje que pasa (en masa)						
50	2 in	---	---	---	---	100
37,5	1 1/2 in	---	---	---	100	90 - 100
25	1 in	---	---	100	90 - 100	74 - 90
19	3/4 in	---	100	90 - 100	79 - 92	62 - 83
12,5	1/2 in	100	90 - 100	72 - 89	58 - 81	46 - 74
9,5	3/8 in	90 - 100	76 - 92	60 - 82	47 - 75	39 - 68
6,3	1/4 in	70 - 89	56 - 81	44 - 71	36 - 65	30 - 59
4,75	N°4	56 - 82	45 - 74	37 - 64	30 - 58	25 - 53
2	N°10	28 - 64	25 - 55	20 - 46	17 - 42	13 - 38
0,85	N°20	18 - 49	15 - 42	12 - 35	9 - 31	6 - 28
0,425	N°40	13 - 37	11 - 32	8 - 27	5 - 24	3 - 21
0,25	N°60	10 - 29	8 - 25	6 - 21	4 - 19	2 - 16
0,15	N°100	6 - 21	5 - 18	4 - 16	2 - 14	1 - 12
0,075	N°200	2 - 10	2 - 9	2 - 8	1 - 7	0 - 6

[1] El tamaño nominal de un material pétreo es la abertura de la malla con la que se designa el material que cumpla con una determinada granulometría.

Tabla 52. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $\Sigma L \leq 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017)

Característica ^[1]		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		35
Desgaste Microdeval, %, máximo		18
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo		40
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	90
	Dos o más caras	80
Desprendimiento por fricción, %, máximo		20
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco (d_{pd}), mínimo		2,4
Angularidad, %, mínimo		40
Equivalente de arena; %, mínimo		45
Azul de metileno, mg/g, máximo		18

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

- $1 \times 10^6 < \Sigma L \leq 30 \times 10^6$ (valores entre un millón de ejes equivalentes y treinta millones de ejes equivalentes)

La granulometría para este apartado será la misma mencionada en la Tabla 50.

Tabla 53. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $1 \times 10^6 < \Sigma L \leq 30 \times 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017)

Característica ^[1]		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		30
Desgaste Microdeval, %, máximo		18
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo		40
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	95
	Dos o más caras	85
Desprendimiento por fricción, %, máximo		20
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Angularidad, %, mínimo		45
Equivalente de arena; %, mínimo		50
Azul de metileno, mg/g, máximo		15

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

Tabla 54. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $\Sigma L > 30 \times 10^6$ (N-CMT-4-04/17, 2017)

Característica ^[1]		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		30
Desgaste Microdeval, %, máximo		15
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo		35
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	100
	Dos o más caras	90
Desprendimiento por fricción, %, máximo		20
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Angularidad, %, mínimo		45
Equivalente de arena, %, mínimo		55
Azul de metileno, mg/g, máximo		12

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

- Requisitos de calidad de materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría abierta

- Granulometría

Tabla 55. Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta (N-CMT-4-04/17, 2017).

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)
		12,5 (½)
Abertura mm	Designación	Porcentaje que pasa (en masa)
19	¾ in	100
12,5	½ in	65 – 100
9,5	¾ in	48 – 72
6,3	¼ in	30 – 52
4,75	N°4	18 – 38
2	N°10	15 - 33
0,85	N°20	12 – 28
0,15	N°100	5 - 19
0,075	N°200	2 – 4

Requisitos de calidad para granulometría abierta

Tabla 56. Requisito de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta. (N-CMT-4-04/17, 2017).

Característica ^[1]		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2.4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		25
Desgaste Microdeval, %, máximo		15
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo		35
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	100
	Dos o más caras	90
Valor de Pulimento Acelerado, adimensional, mínimo		30
Desprendimiento por fricción, %, máximo		10
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2.4
Angularidad, %, mínimo		45
Equivalente de arena, %, mínimo		55
Azul de metileno, mg/g, máximo		12

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

Nota: estos mismos requisitos serán usados para mezclas tipo discontinua, SMA y CASAA.

- **Requisitos de calidad de materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA**
 - Granulometría

Tabla 57. Requisito de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA (N-CMT-4-04/17, 2017).

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)		
		6,3 (¼)	9,5 (¾)	12,5 (½)
Abertura mm	Designación	Porcentaje que pasa (en masa)		
19	¾ in	---	---	100
12,5	½ in	---	100	90 - 100
9,5	¾ in	100	70 - 95	50 - 80
6,3	¼ in	56 - 66	43 - 68	29 - 50
4,75	N°4	30 - 45	30 - 50	20 - 35
2	N°10	19 - 26	19 - 29	15 - 23
0,85	N°20	16 - 22	15 - 22	13 - 20
0,075	N°200	9 - 12	8 - 12	8 - 11

Requisitos de calidad

Serán los mismos que granulometría Tabla 56. Requisito de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta. (N-CMT-4-04/17, 2017). Tabla 51. Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa $\Sigma L \leq 106$ (N-CMT-4-04/17, 2017).

- **Requisitos de calidad de materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo CASAA**
 - Granulometría

Tabla 58. Requisito de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo CASAA (N-CMT-4-04/17, 2017).

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)		
		6,3 (¼)	9,5 (¾)	12,5 (½)
Abertura mm	Designación	Porcentaje que pasa (en masa)		
19	¾ in	---	---	100
12,5	½ in	---	100	85 - 100
9,5	¾ in	100	85 - 100	60 - 80
6,3	¼ in	64 - 73	51 - 62	41 - 54
4,75	N°4	40 - 55	28 - 36	28 - 36
2	N°10	20 - 30	19 - 30	19 - 30
0,85	N°20	13 - 21	13 - 21	13 - 21
0,425	N°40	9 - 16	9 - 16	9 - 16
0,25	N°60	7 - 12	7 - 12	7 - 12
0,15	N°100	6 - 10	6 - 10	6 - 10
0,075	N°200	4 - 7	4 - 7	4 - 7

Requisitos de calidad

Serán los mismo que granulometría abierta Tabla 56.

- **Requisitos de calidad de materiales pétreos para microaglomerados**

- Granulometría

Tabla 59. Requisito de granulometría del material pétreo para microaglomerados (N-CMT-4-04/17, 2017).

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	Tipo A ^[1]	Tipo B ^[2]
9,5	¾ in	100	100
4,75	Nº4	90 - 100	70 - 90
2	Nº10	65 - 90	45 - 70
0,85	Nº20	39 - 64	23 - 44
0,425	Nº40	26 - 44	16 - 29
0,25	Nº60	15 - 27	10 - 23
0,15	Nº100	10 - 21	7 - 18
0,075	Nº200	5 - 15	5 - 15

[1] Para obras de menos de un millón de ejes equivalentes y para aeropuertos.

[2] Para obras de más de un millón de ejes equivalentes.

Requisitos de calidad para microaglomerados

Tabla 60. Requisito de calidad del material pétreo para microaglomerados (N-CMT-4-04/17, 2017).

Característica ^[1]		Valor
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		30
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	25
Equivalente de arena, %, mínimo		65
Angularidad de la arena		45

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

- **Requisitos de material pétreos para capas de rodadura por el sistema de riegos**
 - Granulometría

Tabla 61. Requisito de granulometría del material pétreo para capas de rodadura por el sistema de riegos (N-CMT-4-04/17, 2017).

Malla		Denominación del material pétreo				
Abertura mm	Designación	1	2	3-A	3-B	3-E
Porcentaje que pasa						
31,5	1¼ in	100	---	---	---	---
25	1 in	95 mín	---	---	---	---
19	¾ in	---	100	---	---	---
12,5	½ in	5 máx	95 mín	100	---	100
9,5	¾ in	---	---	95 mín	100	95 mín
6,3	¼ in	0	5 máx	---	95 mín	---
4,75	Nº4	---	---	---	---	5 máx
2	Nº10	---	0	5 máx	5 máx	0
0,425	Nº40	---	---	0	0	---

Requisitos de calidad

Tabla 62. Requisito de calidad de granulometría del material pétreo para capas de rodadura por el sistema de riegos (N-CMT-4-04/17, 2017).

Característica ^[1]	Valor	
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo	2,4	
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo	30	
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo	35	
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	100
	Dos o más caras	90
Valor de Pulimento Acelerado, adimensional, mínimo	30	

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

10.7.1.3 Materiales asfálticos, aditivos y mezclas

En la actualidad hay un gran variedad de materiales asfálticos, aditivos y mezclas de los mismos. Sin embargo, es importante conocer y estructurar los normados en México.

A continuación, se presentan los más destacados dentro de la normativa del Instituto Mexicano del Transporte.

10.7.1.3.1 Calidad de materiales asfálticos

Existen propiamente dos tipos de materiales asfálticos los cementos asfálticos y los de emulsión asfáltica (N-CMT-4-05-001/22, 2022).

Tabla 63. Clasificación de los materiales asfálticos (N-CMT-4-05-001/22, 2022).

Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, mezclas, morteros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas.
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, mezclas, morteros, riegos y estabilizaciones.

Cementos asfálticos

Son el resultado de un proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y en general sus aceites. A continuación, se muestra su clasificación con una viscosidad dinámica a 60 °C.

Tabla 64. Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C (N-CMT-4-05-001/22, 2022).

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa·s (P ^[1])	Usos más comunes
AC-5	50 ± 10 (500 ± 100)	- En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1. - En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC-10	100 ± 20 (1 000 ± 200)	- En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1. - En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1.
AC-20	200 ± 40 (2 000 ± 400)	- En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Figura 1. - En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1.
AC-30	300 ± 60 (3 000 ± 600)	- En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la Figura 1. - En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zonas 3 y 4 en la Figura 1.

[1] Poises



FIGURA 1.- Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C

Figura 165. Regiones geográficas para asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C. (N-CMT-4-05-001/22, 2022).

Requisitos de calidad cementos asfálticos

Tabla 65. Requisitos de calidad para cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C (N-CMT-4-05-001/22, 2022).

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
del cemento asfáltico original:				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1])	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm²/s, mínimo (1 mm²/s = 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58
Del residuo de la prueba de la película delgada:				
Pérdida de masa por calentamiento; %, máximo	1	0,5	0,5	0,5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1]), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25°C; %, mínimo	46	50	54	58

[1] Poises

Emulsiones asfálticas

Son líquidos asfálticos estables, constituidos por dos fases: continua, formada por agua y un agente emulsificante; y discontinua por medio de cementos asfálticos (N-CMT-4-05-001/22, 2022).

- Emulsiones asfálticas aniónicas
Posee cargas negativas.
- Emulsiones asfálticas catiónicas
Posee cargas positivas.

10.7.1.3.2 Calidad de materiales asfálticos modificados

Se establece que los asfaltos modificados pueden ser por medio de implementación de polímeros o hule molido de neumático. En donde el asfalto

mejora sus propiedades físicas y reológicas. (N-CMT-4-05-002/06, 2006)
Normalmente un asfalto modificado adquiere una mejor interacción entre el material pétreo y el material asfáltico. Lo convierte entonces en un material con mejores módulos de elasticidad. (Garnica, 2022)

A continuación se muestran los materiales presentados por la Normativa IMT:

Polímero tipo I

Son polímeros de tipo elastoméricos de bloque; estireno-butadieno-estireno (SBS) O estireno-butadieno (SB). Su uso regularmente es para carpetas delgadas.

Polímero tipo II

Son polímeros de tipo elastoméricos lineales; estireno, butadieno-látex o Neopreno-látex. Su uso principal es para mejorar las condiciones del pavimento superficialmente.

Polímero tipo III

Son polímeros de tipo plastómero; etil-vinil-acetato (EVA) o Polietileno de alta O baja densidad (HDPE o LDPE). Este tipo de polímero disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico. Se usa regularmente en zonas de clima caliente y de alto tránsito.

Hule molido de neumáticos

Mejora la flexibilidad y resistencia de las mezclas asfálticas, se usa en carpetas de granulometría abierta o en tratamientos superficiales.

- Granulometría

Tabla 66. Requisito de granulometría de hule molido (N-CMT-4-05-002/06, 2006).

Malla		Tamaño nominal		
Abertura mm	Designación	H 20 % que pasa	H 40 % que pasa	H 80 % que pasa
2	N°10	100	---	---
1,18	N°16	75 – 100	---	---
0,85	N°20	59 – 90	100	---
0,6	N°30	25 – 60	75 – 100	100
0,425	N°40	10 – 40	55 – 90	80 – 100
0,3	N°50	0 – 20	25 – 60	60 – 100
0,15	N°100	0 – 10	0 – 30	4 – 70
0,075	N°200	0 – 5	0 – 10	0 – 20
Contenido mínimo de hule en el asfalto en masa; %		17	15	12

Requisitos de calidad para cementos asfálticos modificados

Tabla 67. Requisitos de calidad para cementos asfálticos AC-5 y AC-20 modificados.

Características	Tipo de cemento asfáltico (Tipo de modificador)				
	AC-5 (Tipo I ó II)	AC-20 (Tipo I)	AC-20 (Tipo II)	AC-20 (Tipo III)	AC-20 (Hule molido)
Del cemento asfáltico modificado:					
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C; s, máximo	500	1000	1000	1000	--
Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C; Pa s, máximo	2	4	3	4	--
Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177°C; Pa s, máximo	--	--	--	--	7
Penetración:					
• A 25°C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	80	40	40	30	30
• A 4°C, 200 g, 60 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	40	25	25	20	15
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	220	230	230	230	230
Punto de reblandecimiento; °C, mínimo	45	55	55	53	57
Separación, diferencia anillo y esfera; °C, máximo	3	3	3	4	5
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %, mínimo	25	35	30	15	40
Resiliencia, a 25°C; %, mínimo	20	20	20	25	30
Del residuo de la prueba de la película delgada, (3,2 mm, 50 g):					
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	1	1	1	1	1
Penetración a 4°C, 200 g, 60 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	--	--	--	--	10
Penetración retenida a 4°C, 200 g, 60 s; %, mínimo	65	65	65	55	75
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C; %, mínimo	50	60	60	30	55
Incremento en temperatura anillo y esfera; °C, máximo	--	--	--	--	10
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G*/sen δ); kPa, mínimo	--	2,2	2,2	2,2	2,2
Módulo reológico de corte dinámico a 64°C (G*/sen δ); kPa, mínimo	2,2	--	--	--	--
Angulo fase (δ) [visco-elasticidad], a 76°C; ° (grados), máximo	--	75	70	75	--
Angulo fase (δ) [visco-elasticidad], a 64°C; ° (grados), máximo	75	--	--	--	--

Requisitos de calidad para emulsión asfáltica modificada

Tabla 68. Requisitos de calidad para emulsión asfáltica modificada.

Características	Valor
De la emulsión:	
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	60
Viscosidad Saybolt - Furol a 50°C; s	50-200
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	3
Retenido de peso en malla N°20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,1
Carga eléctrica de las partículas	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	3
Demulsibilidad; %, mínimo	60
Índice de ruptura; %	80-140
Del residuo de la destilación:	
Penetración ^[1] a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	100-200
Ductilidad a 4°C, 5 cm/min; cm, mínimo	30
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C, 20 cm, 5 min; %, mínimo	40
Recuperación elástica en ductilómetro a 10°C, 20 cm, 5 min; %, mínimo	50

[1] En climas que alcancen temperaturas iguales que 40°C o mayores, la penetración en el residuo de la destilación de las emulsiones asfálticas modificadas con polímero, en el proyecto se puede considerar de 50 a 90 × 10⁻¹ mm.

10.7.1.3.3 Calidad de mezclas asfálticas para carreteras

Según la clasificación de la norma la calidad de las mezclas varía si la mezcla es caliente o fría (N-CMT-4-05-003/16, 2016).

Mezclas asfálticas en caliente

Mezcla asfáltica de granulometría densa

-Requisitos de calidad para mezcla asfáltica de granulometría densa

Tabla 69. Requisitos de calidad para mezcla asfáltica de granulometría densa, método Marshall (N-CMT-4-05-003/16, 2016).

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL ^[1]	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$ ^[2]
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lb _r), mínimo	5 340 (1 200)	8 000 (1 800)
Flujo; mm (10 ⁻² in)	2 - 4 (8 - 16)	2 - 3,5 (8 - 14)
Vacios en la mezcla asfáltica (VMC); %	3 - 5	3 - 5
Vacios ocupados por el asfalto (VFA); %	65 - 78	65 - 75

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Para tránsitos mayores de 10^7 ejes equivalentes de 8,2 t, se requiere un diseño especial de la mezcla.

Tabla 70. Vacíos en el agregado mineral (VAM) para mezcla asfáltica de granulometría densa, método Marshall (N-CMT-4-05-003/16, 2016).

Tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla ^[1]		Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC) de diseño %		
		3	4	5
mm	Designación	Vacíos en el agregado mineral (VAM) %, mínimo		
9,5	¾"	14	15	16
12,5	½"	13	14	15
19	¾"	12	13	14
25	1"	11	12	13
37,5	1½"	10	11	12

[1] El tamaño nominal corresponde al indicado en la Cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, para el tipo y granulometría del material pétreo utilizado en la mezcla.

Mezcla asfáltica de granulometría abierta

-Realizar por método cántabro para mezclas asfálticas de granulometría abierta.

Mezcla asfáltica de granulometría discontinua, tipo SMA

-Requisitos de calidad para mezcla asfáltica de granulometría discontinua, tipo SMA.

Tabla 71 Requisitos de calidad para mezcla asfáltica de granulometría discontinua, tipo SMA (N-CMT-4-05-003/16, 2016)

Característica	Requisito
Número de giros en compactador giratorio (golpes por cara con martillo Marshall)	100 (50)
Vacios en la mezcla asfáltica (VMC); %, mínimo	4,0 ^[1]
Vacios en el agregado mineral (VAM); %, mínimo	17
Vacios ocupados por el asfalto (VFA); %	75 - 82
Contenido de fibras de celulosa, % en peso de la mezcla, mínimo	0,3
Resistencia retenida a tensión indirecta (TSR) ^[2] , %, mínimo	80
Escurecimiento de asfalto a temperatura de producción, %, máximo	0,3 ^[3]
Contenido de cemento asfáltico, % en peso de la mezcla, mínimo	6,0
Adicionalmente los vacíos de la grava en la mezcla asfáltica compactada (VAG _{MIX}) serán menores que los vacíos en la grava, en la condición de varillado en seco (VAG _{DRC}) ^[4]	

[1] Para caminos de bajo volumen de tránsito o climas fríos, se puede permitir un porcentaje de vacíos en la mezcla menor que 4,0% pero nunca debajo de 3,0%.

[2] Para determinar la resistencia retenida a tensión indirecta (TSR), se aplicará el método descrito en el Manual M-MMP-4-05-045, *Resistencia de las Mezclas Asfálticas Compactadas, al Daño Inducido por la Humedad*.

[3] Para determinar el escurecimiento de asfalto se aplicará el método descrito en el Manual M-MMP-4-05-044, *Determinación del Escurecimiento en Mezclas Asfálticas sin Compactar*.

[4] Para determinar los valores VAG_{MIX} y VAG_{DRC} se aplicarán los procedimientos indicados en el Manual M-MMP-4-05-043, *Método de Diseño para Mezclas Asfálticas de Granulometría Discontinua, Tipo SMA*.

En general todas las mezclas en caliente tendrán las siguientes temperaturas de mezclado.

Tabla 72. Temperaturas de mezclas asfálticas en caliente (N-CMT-4-05-005/22, 2022).

Clasificación del cemento asfáltico	Temperatura de mezclado °C
AC- 5	120 - 145
AC-10	120 - 155
AC-20	130 - 160
AC-30	130 - 165

Mezclas asfálticas en frío

Mezcla asfáltica de granulometría densa

- Emulsión de rompimiento medio o lento
- Granulometría por método Marshall

Mortero asfáltico

- Emulsión de rompimiento lento
- Garantizar agua sin material particulado ni sales solubles
- Requisitos de proporcionamiento de morteros asfálticos

Tabla 73. Requisitos de proporcionamiento de morteros asfálticos (N-CMT-4-05-003/16, 2016).

Componentes	Contenido en la mezcla % ^[1]
Emulsión asfáltica de rompimiento lento	18 - 25
Agua para dar la consistencia necesaria a la mezcla con emulsión asfáltica	10 - 15

[1] Por ciento respecto a la masa seca del material pétreo

Mezclas asfálticas por el sistema de riegos

Se emplea en la construcción de capas de rodadura con mezclas asfálticas por el sistema de riegos se tomará en cuenta lo siguiente:

- Emulsión de rompimiento rápido, no usar ECR-60
- Cantidad de materiales

Tabla 74. Calidad de materiales pétreos y asfálticos en mezclas asfálticas por sistemas de riegos (N-CMT-4-05-003/16, 2016).

Materiales ^[1] L/m ²	Tipo de mezcla							
	Tres riegos				Dos riegos		Un riego	
Cemento asfáltico	0				---		---	
Material pétreo tipo 1	20 -25				---		---	
Cemento asfáltico	0,7 -0,8				0,7 – 0,8		---	
Material pétreo tipo 2	8 - 12				8 - 12		---	
Cemento asfáltico	0,7 - 0,8	---	---	---	0,7 - 0,8	---	0,7 - 0,8	---
Material pétreo tipo 3-A	8 - 10	---	---	---	8 - 10	---	8 - 10	---
Cemento asfáltico	---	0,7 - 0,8	---	---	---	0,7 - 0,8	---	---
Material pétreo tipo 3-B	---	6 - 8	---	---	---	6 - 8	---	---
Cemento asfáltico	---	---	0,7 - 0,8	---	---	0,7 - 0,8	---	0,7 - 0,8
Material pétreo tipo 3-E	---	---	9 - 11	---	---	9 - 11	---	9 - 11

[1] El cemento asfáltico considerado en esta Tabla se refiere al que contiene la emulsión que se utilice. Para calcular la cantidad de emulsión en litros por aplicar, se multiplicará por 100 el valor mostrado y se dividirá entre el porcentaje del contenido de cemento asfáltico que tenga la emulsión.

10.7.1.3.4 Calidad de cementos asfálticos según su grado de desempeño (GP)

Se define al grado de desempeño al rango de temperaturas máximas y mínimas al que está expuesto un pavimento, de acuerdo estos parámetros se establecen diferentes características de los cementos asfálticos.

Selección del cemento asfáltico según su grado de desempeño (PG)

- Determinar $T_{\max}$ y $T_{\min}$ con información estadística de la zona del proyecto
- Se calcula con la ecuación la temperatura máxima espera en la carpeta

$$T_{\max_i} = 54,32 + 0,78T_{airM} - 0,0025Lati^2 - 15,14\log(H + 25) + Z(9 + 0,61\sigma_{T_{airM}}^2)^{0,5}$$

Ecuación 4 Temperatura máxima de la carpeta (N-CMT-4-05-004/18, 2018).

Donde:

$T_{máx_i}$ = Temperatura máxima calculada debajo de la superficie del pavimento en el sitio $i=1$ donde inicia el tramo o $i=2$ donde termina el tramo por construir, (°C)

T_{airM} = Temperatura máxima promedio del aire de los 7 días consecutivos más cálidos registrados por lo menos en los últimos de 20 años en la zona, (°C)

Lat_i = Latitud, en el sitio $i=1$ donde inicia el tramo o $i=2$ donde termina el tramo por construir, (°, con aproximación de 5 decimales)

H = Profundidad, (mm) (se recomienda usar 20 mm)

Z = Valor para el nivel de confiabilidad (distribución normal, se recomienda usar 2,055 para una confiabilidad de 98%)

$\sigma_{T_{airM}}^2$ = Desviación estándar de la temperatura de los 7 días consecutivos más cálidos registrados por lo menos en los últimos 20 años en la zona, (°C)

SCT

Figura 166. Simbología de la ecuación de temperatura máxima calculada (N-CMT-4-05-004/18, 2018).

- Se calcula con la siguiente ecuación la temperatura mínima esperada en la carpeta

$$T_{min} = -1,56 + 0,72T_{airm} - 0,004Lat^2 + 6,26\log(H + 25) - Z(4,4 + 0,52\sigma_{T_{airm}}^2)^{0,5}$$

Ecuación 5. Temperatura mínima de la carpeta (N-CMT-4-05-004/18, 2018).

T_{min} = Temperatura mínima esperada del pavimento asfáltico debajo de la superficie, (°C)

T_{airm} = Promedio de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos los últimos 20 años en la zona, (°C)

Lat = Latitud del tramo de diseño, (°)

H = Profundidad, (mm) (se recomienda usar 20 mm)

Z = Valor para el nivel de confiabilidad (distribución normal, se recomienda usar 2,055 para una confiabilidad de 98 %)

$\sigma_{T_{airm}}^2$ = Desviación estándar de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos en los últimos 20 años en la zona, (°C)

Figura 167. Simbología de la ecuación de temperatura mínima calculada (N-CMT-4-05-004/18, 2018).

- Si el diseño lo requiere y no se encuentra dentro de los parametros establecidos dentro de la presente norma sera necesario justificar ante la Sereteria la modificación y soporte técnico.
- A continuacion se muestra los niveles de ajuste de los requisitos de calida para el grado desempeño (PG) de acuerdo a la intensidad del tránsito y con la velocidad de operación.

Tabla 75. Niveles de ajuste de los requisitos de calidad para el grado desempeño (PG) de acuerdo a la intensidad del tránsito y con la velocidad de operación (N-CMT-4-05-004/18, 2018).

Velocidad de operación km/h	Nivel de ajuste		
	$v > 70$	$20 \leq v \leq 70$	$v < 20$
Intensidad del tránsito (ΣL) ^[1]			
$\Sigma L < 10^6$	Normal (S)	Alto (H)	Muy alto (V)
$10^6 \leq \Sigma L \leq 30 \times 10^6$	Alto (H)	Alto (H)	Muy alto(V)
$\Sigma L > 30 \times 10^6$	Muy alto (V)	Muy alto(V)	Extremadamente alto (E)

[1] ΣL es el número de ejes equivalentes de 8,2 t acumulados durante el periodo de servicio del pavimento en el carril de diseño que en ningún caso será menor de diez (10) años; obtenido con el método de Instituto de Ingeniería de la UNAM para la condición de daño superficial.

Requisitos de calidad

Tabla 76. Requisitos de calidad para cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) y nivel de ajuste (N-CMT-4-05-004/18, 2018).

GRADO DE DESEMPEÑO (PG)	PG 64		PG 70		PG 76		PG 82	
	-16	-22	-16	-22	-16	-22	-16	-22
Temperatura máxima del pavimento ^[1] , °C	≤ 64		≤ 70		≤ 76		≤ 82	
Temperatura mínima del pavimento ^[1] , °C	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22
Cemento asfáltico original								
Punto de inflamación Cleveland ^[2] , °C, mín.	230							
Viscosidad rotacional 135°C ^[2] , Pa·s, máx.	3							
Punto de reblandecimiento ^[2] , °C, mín.	48		55					
Separación, diferencia anillo y esfera ^[2] , °C, máx.	-		2					
Recuperación elástica por torsión 25°C ^[2] , %, mín.	-		35					
Módulo reológico de corte dinámico ^[2] (G*/sen δ) ^[2] , kPa, mín.	1.0							
· Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	

Después de envejecimiento en horno RTFO [2]				
Pérdida por calentamiento [2], %, máx.	1,0			
Recuperación elástica en ductilómetro [5], 25°C, %, mín.	-	75		
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ) [2], kPa, mín.	2,2			
· Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64	70	76	82
Trafico Normal "S", Nivel de Ajuste (MSCR) [3]				
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR [2] [4], kPa-1, máx.	4,0			
· Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR [2] [6], %, mín.	-	25		
Tráfico Alto "H", Nivel de Ajuste (MSCR) [3]				
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR [2] [4], kPa-1, máx.	2,0			
· Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR [2] [6], %, mín.	-	25		
Tráfico Muy Alto "V", Nivel de Ajuste (MSCR) [3]				
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR [2] [4], kPa-1, máx.	1,0			
· Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR [2] [6], %, mín.	-	30		
Tráfico Extremadamente Alto "E", Nivel de Ajuste (MSCR) [3]				
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR [2] [4], kPa-1, máx.	0,5			
· Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR [2] [6], %, mín.	-	40		

[1] Determinada como se indica en el inciso D.1. de esta Norma.

[2] Determinado mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de las Normas y Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[3] Los niveles de ajuste son los indicados en la Tabla 1 de esta Norma.

[4] Jnr representa la fluencia relativa del cemento asfáltico y la prueba con que se determina simula las condiciones de trabajo del cemento asfáltico durante la vida útil del pavimento.

[5] Determinado mediante el procedimiento de prueba correspondiente al método de ensayo A de la Norma ASTM D6084M-13.

[6] La respuesta elástica es el porcentaje de deformación recuperada en cada ciclo de esfuerzo-deformación-recuperación y permite determinar el comportamiento elástico y la susceptibilidad a la deformación del cemento asfáltico.

GRADO DE DESEMPEÑO (PG)	PG 64		PG 70		PG 76		PG 82	
	-16	-22	-16	-22	-16	-22	-16	-22
Temperatura máxima del pavimento ^[1] , °C	≤ 64		≤ 70		≤ 76		≤ 82	
Temperatura mínima del pavimento ^[1] , °C	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22
Después de envejecimiento en horno a presión (PAV)								
Temperatura de envejecimiento PAV ^[2] , °C								
· En climas normales	100							
· En climas desérticos	100		110					
Rigidización (G*sen δ) ^[2] , kPa, máxima	5 000							
· Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	28	25	31	28	34	31	37	34
Rigidez de Flexión ^[2]								
S(t) ^[1] , máximo 300 MPa	-6	-12	-6	-12	-6	-12	-6	-12
Valor m, mínimo 0,300								
· Temperatura de prueba, @ 60 s, °C								

[1] Determinada como se indica en el inciso D.1. de esta Norma.

[2] Determinado mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de las Normas y Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

10.7.1.3.5 Calidad de emulsiones asfálticas

Como se ha mencionado anteriormente las emulsiones se clasifican en dos tipos: catiónicas y aniónicas. A continuación, se muestra la clasificación y tipo de rompimiento.

Emulsiones asfálticas catiónicas

Tabla 77. Clasificación de las emulsiones asfálticas catiónicas (N-CMT-4-05-005/22, 2022).

Clasificación	Contenido de cemento asfáltico en masa %	Tipo	Carga
ECR-45	45	Rompimiento rápido	Catiónica (+)
ECR-60	60		
ECR-65	65		
ECR-68	68		
ECM-65	65	Rompimiento medio	
ECL-65	65	Rompimiento lento	
ECI-50	50	Rompimiento lento para impregnación	
ECS-60	60	Rompimiento lento sobre-estabilizada	

Requisito de calidad

Tabla 78. Requisito de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas (N-CMT-4-05-005/22, 2022).

Características	Clasificación							
	ECR-45	ECR-60	ECR-65	ECR-68	ECM-65	ECL-65	ECI-50	ECS-60
De la emulsión:								
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	45	60	65	68	65	65	50	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	5	---	---	---	---	25	5	20
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	---	5	40	50	25	---	---	---
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5	10	5
Demulsibilidad, 0,8 % Dioctilsulfosuccinato, % mínimo	---	40	40	40	---	---	---	---
Retenido en malla N°20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,1							
Pasa malla N°20 y se retiene en malla N°60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25							
Carga eléctrica de las partículas	(+)							
Disolvente en volumen; %, máximo	3	3	3	3	5	5	10	5
Del residuo de la destilación:								
Penetración ^[1] a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	15-30	110-250	110-250	110-250	110-250	110-250	50-200 ^[2]	110-250
Solubilidad; %, mínimo	97,5							
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	---	40						

[1] Cuando las obras se localicen en lugares cuyo clima alcance temperaturas iguales o mayores a 40°C, la penetración del residuo de las emulsiones catiónicas ECR-65, ECR-68, ECM-65, ECL-65 y ECS-60, en el proyecto se puede considerar de 50 a 109 x 10⁻¹ mm.

[2] En las emulsiones catiónicas de impregnación ECI-50, la penetración del residuo de la emulsión se puede considerar de 300 a 600x10⁻¹ mm, de ser necesario para lograr la penetración de la emulsión en subbases y/o bases hidráulicas.

Emulsiones asfálticas aniónicas

Tabla 79. Clasificación de las emulsiones asfálticas aniónicas (N-CMT-4-05-005/22, 2022).

Clasificación	Contenido de cemento asfáltico en masa %	Tipo	Carga
EAR-60	60	Rompimiento rápido	Aniónica (-)
EAR-65	65		
EAM-60	60	Rompimiento medio	
EAM-65	65		
EAL-60	60	Rompimiento lento	
EAL-65	65		
EAI-40	40	Rompimiento lento para impregnación	

Tabla 80. Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas (N-CMT-4-05-005/22, 2022).

Características	Clasificación						
	EAR-60	EAR-65	EAM-60	EAM-65	EAL-60	EAL-65	EAI-40
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	60	65	60	65	60	65	40
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	---	---	---	---	20	20	5
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	40	50	25	25	---	---	---
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5	10
Demulsibilidad, 0,02 N CaCl ₂ , %	60	60	---	---	---	---	---
Retenido en malla N°20 en la prueba del tamiz; %, máx	0,1						
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N°60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25						
Carga eléctrica de las partículas	(-)						
Disolvente en volumen; %, máximo	3	3	3	5	5	5	5
Del residuo de la destilación:							
Penetración ^[1] a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	110-250	110-250	110-250	110-250	110-250	100-250	300-600
Solubilidad; %, mínimo	97,5						
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40						

[1] Cuando las obras se localicen en lugares cuyo clima alcance temperaturas iguales o mayores a 40°C, la penetración del residuo de las emulsiones aniónicas EAR-65, EAM-65, EAL-65, en el proyecto se puede considerar de 50 a 109 x 10⁻¹ mm.

Emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímero

Tabla 81 Clasificación de las emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímero (N-CMT-4-05-005/22, 2022)

Clasificación	Contenido de cemento asfáltico en masa %	Tipo	Carga
ECR-45P	45	Rompimiento rápido	Catiónica (+)
ECR-65P	65		
ECR-68P	68		
ECCR-62P	62	Rompimiento rápido controlado	
ECCL-62P	62	Rompimiento lento controlado	
ECL-62P	62	Rompimiento lento	

Tabla 82. Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímero (N-CMT-4-05-005/22, 2022).

Características	Clasificación					
	ECR-45P	ECR-65P	ECR-68P	ECL-62P	ECCR-62P	ECCL-62P
De la emulsión:						
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo ^[1]	45	65	68	62	62	62
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	5	25-100	---	20	20	20
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo ^[2]	---	---	50-200	---	---	---
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	3	3	---	---	---
Retenido en malla N°20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,1					
Carga eléctrica de las partículas	(+) SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES					
Disolvente en volumen; %, máximo	3 GOBIERNO MEXICANO					
Demulsibilidad, % mínimo	---	60	60	---	---	---
Del residuo de la destilación:						
Penetración a 25°C, en 100 g y 5s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	15-60	70-150	110-200 ^[3]	40-90	40-90	40-90
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %, mínimo	---	30	30	20	20	20
Recuperación elástica en ductilómetro a 10°C, 20 cm/5 minutos; % mínimo	---	50	50	20	20	20
Recuperación elástica en ductilómetro a 40°C, 20 cm/5 minutos; % mínimo	15	---	---	---	---	---
Ductilidad a 25°C, 5 cm/minuto; cm, mínimo	---	40	40	40	40	40

[1] La temperatura máxima de la prueba de destilación de estas emulsiones será de 204°C.

[2] Este parámetro puede presentar un valor mayor al rango cuando el muestreo y análisis se realice en la planta de producción y un valor menor al rango cuando el muestreo se realice en obra y el análisis sea realizado en días posteriores.

[3] Cuando la penetración del residuo de la emulsión ECR-68P, seleccionada en el proyecto sea de 80 a 109 x 10⁻¹ mm, la prueba de recuperación elástica en ductilómetro será determinada a 25°C considerando el método A de ASTM D6084-18, *Standard Test Method for Elastic Recovery of Asphalt Materials by Ductilometer*.

10.7.1.3.6 Calidad de cal para mezclas asfálticas

La cal es el resultado de un procesamiento de la cal viva en la cual se convierte en polvo. En la implementación de mezclas asfálticas como material relleno. Mejora considerablemente incrementando la adherencia entre agregados pétreos y el cemento asfáltico (N-CMT-4-05-007/22, 2022).

Características físicas

Debe contemplar solo la materia que se encuentre 3% de material retenido en la malla N° 100 (0.15 mm) y un 10% de material retenido en N° 200 (0.0075 mm) (N-CMT-4-05-007/22, 2022).

Composición química

Tabla 83. Composición química de cal (N-CMT-4-05-007/22, 2022).

Características ^[1]	Valor %
Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 , mínimo	90
Contenido de agua libre, en la muestra original, máximo	2

Siempre deberá mezclar primero el materia pétreo con la muestra de cal, mínimo 12 horas antes del contacto con el asfalto.

10.7.1.4 Geotextiles para mezclas asfálticas en caliente

Son fibras de origen sintético, forman estructura no tejidas, de alta resistencia a la tensión. Se usan particularmente para retrasar la aparición de agrietamiento y fisuras en capas superficiales asfálticas en caliente. (N-CMT-6-01-004/13, 2013)

Requisitos de calidad

- Se usarán polipropileno o poliéster
- Determinar elongación
- Masa por unidad de área y resistencia a la tensión Grab

Tabla 84. Masa por unidad de área y resistencia a la tensión Grab de los geotextiles para mezclas asfálticas en caliente (N-CMT-6-01-004/13, 2013).

Requisito	Valor mínimo por rollo ^[1]
Masa por unidad de área, en g/m ²	140
Resistencia a la tensión Grab, en N	450
Absorción de asfalto, l/m ²	0,9 a 1,1

10.7.1.5 Geomallas de fibras de vidrio para mezclas asfálticas en caliente

Se usan materiales de fibra de vidrio (geomallas) para refuerzo en capas superficiales de pavimentos flexibles.

Requisitos de calidad

- Estructura reticular de las geomallas serán filamentos de fibra de vidrio virgen y contarán con un recubrimiento de material asfáltico.
- Resistencia de 100 kN / m. Aplicando norma ASTM D6637-11
- Determinar la elongación. Aplicando norma ASTM D6637-11
- Punto de fusión 300 grados Celsius



Figura 168. Geomalla de fibra de vidrio (PAVCO, 2021).

10.7.2 Materiales estructurales inferiores a capa de rodadura

La estructura de pavimentos son elementos esenciales, en zonas urbanas se debe tener un especial cuidado con instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias que normalmente van en la parte inferior de las vías en zonas urbanas. Esto hace que se requiera un aporte estructural muy importante para evitar daños en tuberías y que esta estructura sea capaz de soportar cargas vehiculares importantes.

Todo material deberá cumplir con una calidad ambiental dentro de una zona urbana, especialmente y de mucho cuidado serán las zonas del centro donde se encuentra la historia y patrimonio de muchas ciudades o municipios.

10.7.2.1 Materiales para subbases y bases

10.7.2.1.1 Materiales para subbases

El IMT (2021), menciona que son subbases los materiales granulares, que se encuentran ubicados sobre la subrasante, formando una capa de apoyo dentro de la estructura de pavimento.

Materiales naturales

Son las arenas, gravas y limos, rocas alteradas y fragmentadas, que momento de realizar la extracción se desprender con facilidad mediante una máquina. Este tipo de materiales no requiere tratamiento mecánico alguno para ser utilizados (N-CMT-4-02-001/21, 2021).

Materiales cribados

Son las arenas, gravas y limos, rocas alteradas y fragmentadas, que momento de realizar la extracción se desprender con facilidad mediante una máquina. Este tipo de requiere tratamiento mecánico para la extracción de partículas de gran tamaño según lo establecido en la normativa (N-CMT-4-02-001/21, 2021).

Materiales parcialmente triturados

Suelen ser suelos no cohesivos, son una mezcla de gravas y arenas, y en ocasiones también limos, estos materiales requieren de un proceso mecánico de trituración parcial y cribado. Especialmente para aprovechar material de tamaño máximo según lo especificado en la normativa (N-CMT-4-02-001/21, 2021).

Materiales totalmente triturados

Son materiales extraídos de un banco, requieren sustancialmente de un tratamiento mecánico de trituración total y/o cribado, deben cumplir con una composición granulométrica (N-CMT-4-02-001/21, 2021).

Materiales mezclados

Puede ser cualquier combinación entre los materiales presentados anteriormente, solo se deberá cumplir con la normativa vigente e indicar previamente si requiere o no requiere un tratamiento especial (N-CMT-4-02-001/21, 2021).

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Subbases y Bases	N·CTR·CAR·1·04·002
Construcción de Subbases o Bases Hidráulicas	N·CSV·CAR·4·02·004
Criterios Estadísticos de Muestreo	M·CAL·1·02
Grado de Compactación	M·MMP·1·10
Grado de Compactación con Deflectómetro de Impacto Ligero (LWD)	M·MMP·1·16
Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base	M·MMP·4·01·001
Granulometría	M·MMP·4·01·003
Límites de Consistencia	M·MMP·4·01·006
Valor Soporte de California (CBR)	M·MMP·4·01·007
Equivalente de Arena	M·MMP·4·01·008
Desgaste Los Ángeles	M·MMP·4·01·009
Compactación AASHTO	M·MMP·4·01·010

Figura 169. Referencia de normas y manuales de Materiales para subbases (N-CMT-4-02-001/21, 2021).

Requisitos de calidad

Cuando se realice una subbase se deberá cumplir con las características granulométricas establecida por la normativa IMT.

Tabla 85. Requisitos de granulometría subbases (N-CMT-4-02-001/21, 2021).

Malla		Porcentaje que pasa ^[1]	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ ^[2]	$\Sigma L > 10^6$ ^[2]
75	3 in	100	100
50	2 in	85 - 100	85 - 100
37.5	1½ in	75 - 100	75 - 100
25	1 in	62 - 100	62 - 100
19	¾ in	54 - 100	54 - 100
9.5	¾ in	40 - 100	40 - 100
4.75	Nº4	30 - 100	30 - 80
2	Nº10	21 - 100	21 - 60
0.85	Nº20	13 - 92	13 - 45
0.425	Nº40	8 - 75	8 - 33
0.25	Nº60	5 - 60	5 - 26
0.15	Nº100	3 - 45	3 - 20
0.075	Nº200	0 - 25	0 - 15

[1] El tamaño máximo de las partículas no será mayor de 25 % del espesor de la subbase.

[2] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

La curva granulométrica de la subbase

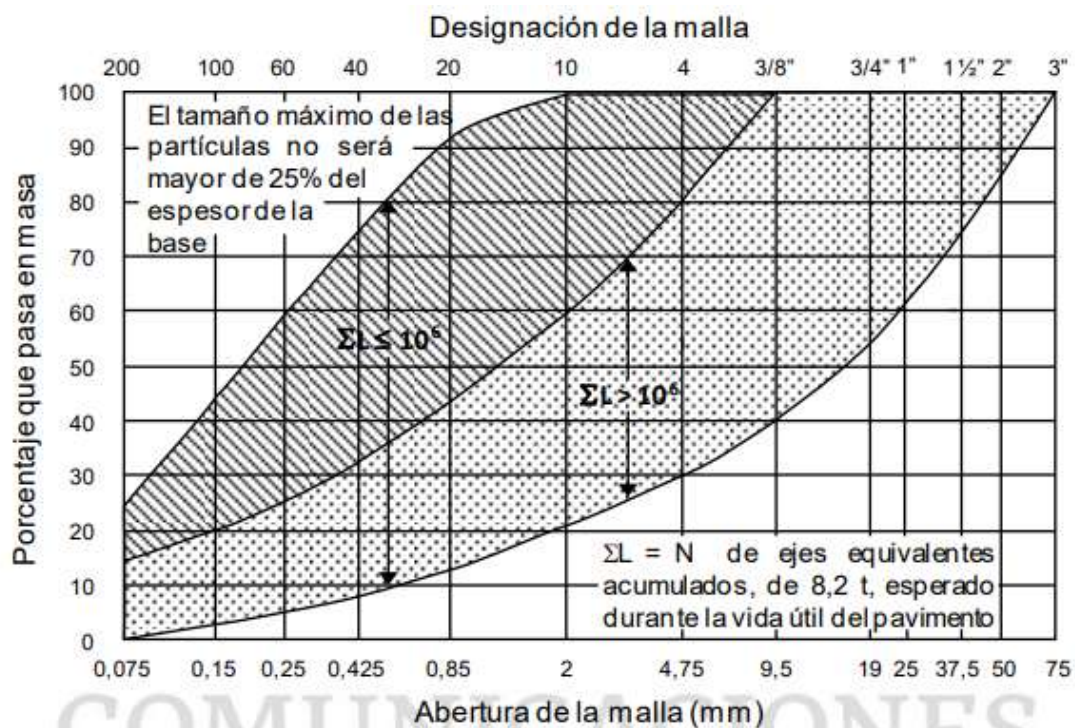


Figura 170. Curva granulométrica para subbases (N-CMT-4-02-001/21, 2021).

Tabla 86. Requisitos de calidad de los materiales para subbases (N-CMT-4-02-001/21, 2021).

Característica	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Límite líquido ^[2] , máximo	30	25
Índice plástico ^[2] , máximo ¹	10	6
Valor Soporte de California (CBR) ^[2, 3] , mínimo	50	60
Equivalente de arena ^[2] , mínimo	30	40
Desgaste Los Angeles ^[2] , máximo	50	40
Grado de compactación ^[2, 4] , mínimo	100	100

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Determinado mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[3] Con el grado de compactación indicado en esta Tabla.

[4] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.

10.7.2.1.2 Materiales para bases hidráulicas

Las bases son los materiales que se ubican entre la carpeta de rodadura y la subrasante, su principal función es soportar la carga de la superficie y toda la carga vehicular de determinada vía, esto con el fin de aminorar los esfuerzos de la capa o las capas superiores (Revitalizate México, 2017).

Las bases están compuestas por materiales granulares, arenas y gravas principalmente con una mezcla de finos, así como rocas sanas entre otros. A continuación, se presentan los materiales y su respectivo tratamiento:

Materiales cribados

Son arenas, gravas y limos que requieren un tratamiento mecánico de cribado, con el fin de eliminar todo material que no esté dentro del tamaño máximo según lo normado por el IMT (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Materiales parcialmente triturados

Son suelos no cohesivos, normalmente son una mezcla de gravas, arenas y limos. Requieren de un tratamiento mecánico de trituración parcial y cribado (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Materiales totalmente triturados

Principalmente son materiales de banco, que requieren un tratamiento mecánico de trituración total y cribado (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Materiales mezclados

La normativa indica que se pueden realizar combinaciones entre los tipos de materiales mencionados anteriormente, sin embargo, este nuevo compuesto de material debe cumplir con granulometría (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Subbases y Bases	N·CTR·CAR·1·04·002
Construcción de Subbases o Bases Hidráulicas	N·CSV·CAR·4·02·004
Criterios Estadísticos de Muestreo	M·CAL·1·02
Grado de Compactación	M·MMP·1·10
Grado de Compactación con Deflectómetro de Impacto Ligero (LWD)	M·MMP·1·16
Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base	M·MMP·4·01·001
Granulometría	M·MMP·4·01·003
Límites de Consistencia	M·MMP·4·01·006
Valor Soporte de California (CBR)	M·MMP·4·01·007
Equivalente de Arena	M·MMP·4·01·008
Desgaste Los Ángeles	M·MMP·4·01·009
Compactación AASHTO	M·MMP·4·01·010
Partículas Alargadas y Lajeadas	M·MMP·4·01·016

Figura 171. Referencia de normas y manuales de materiales para bases (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Requisito de calidad bases concreto hidráulico

Tabla 87. Requisitos de granulometría de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
37,5	1½ in	100
25	1 in	70 - 100
19	¾ in	60 - 100
9,5	¾ in	40 - 100
4,75	N°4	30 - 80
2	N°10	21 - 60
0,85	N°20	13 - 44
0,425	N°40	8 - 31
0,25	N°60	5 - 23
0,15	N°100	3 - 17
0,075	N°200	0 - 10

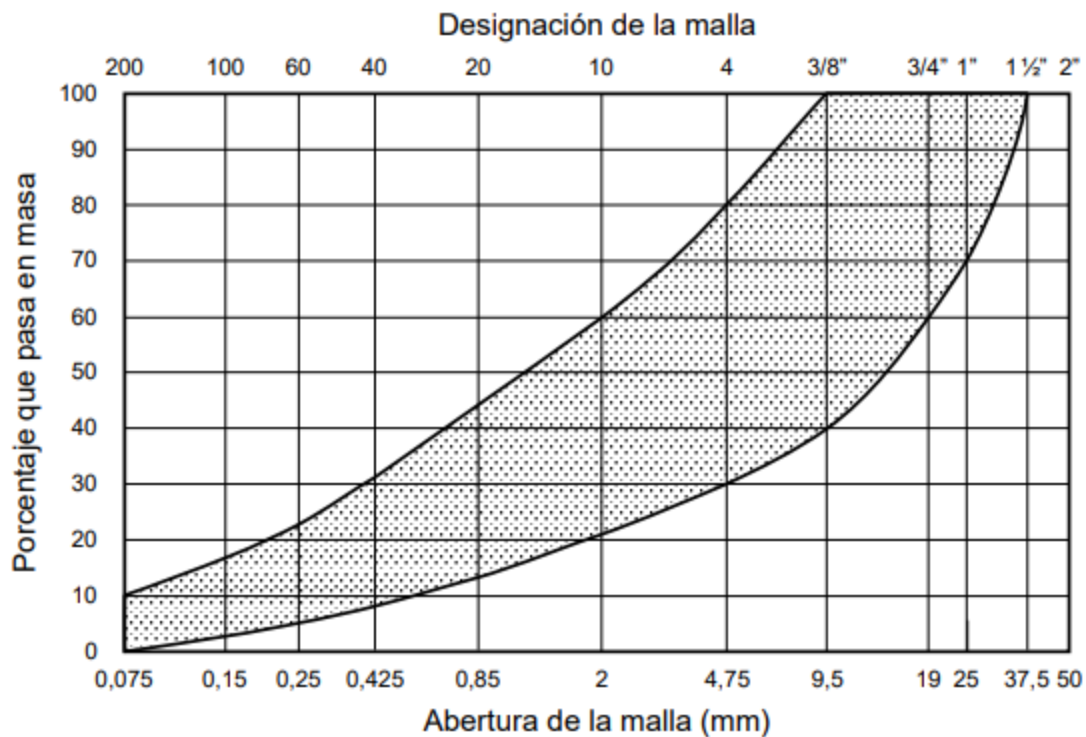


Figura 172. Curva granulométrica para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Tabla 88. Requisitos de calidad de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Características ^[1]	Valor %
Límite líquido, máximo	25
Índice plástico, máximo	6
Equivalente de arena, mínimo	40
Valor Soporte de California (CBR) ^[2] , mínimo	80
Desgaste Los Ángeles, máximo	35
Partículas alargadas, máximo	40
Partículas lajeadas, máximo	40
Grado de compactación ^[3] , mínimo	100

[1] Determinada mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[2] Con el grado de compactación indicado en esta Tabla.

[3] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.

Requisito de calidad bases de pavimento con mezcla asfáltica de granulometría densa.

Tabla 89. Requisito de granulometría de los materiales para bases de pavimento con carpetas de mezcla asfáltica de granulometría densa. (N-CMT-4-02-002/22, 2022)

Malla		Porcentaje que pasa ^[1]	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ ^[2]	$\Sigma L > 10^6$ ^[2]
75	3 in	100	100
50	2 in	85 - 100	85 - 100
37,5	1½ in	75 - 100	75 - 100
25	1 in	62 - 100	62 - 90
19	¾ in	54 - 100	54 - 83
9,5	¾ in	40 - 100	40 - 65
4,75	Nº4	30 - 80	30 - 50
2	Nº10	21 - 60	21 - 36
0,85	Nº20	13 - 44	13 - 25
0,425	Nº40	8 - 31	8 - 17
0,25	Nº60	5 - 23	5 - 12
0,15	Nº100	3 - 17	3 - 9
0,075	Nº200	0 - 10	0 - 5

[1] El tamaño máximo de las partículas no será mayor de 20% del espesor de la base.

[2] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

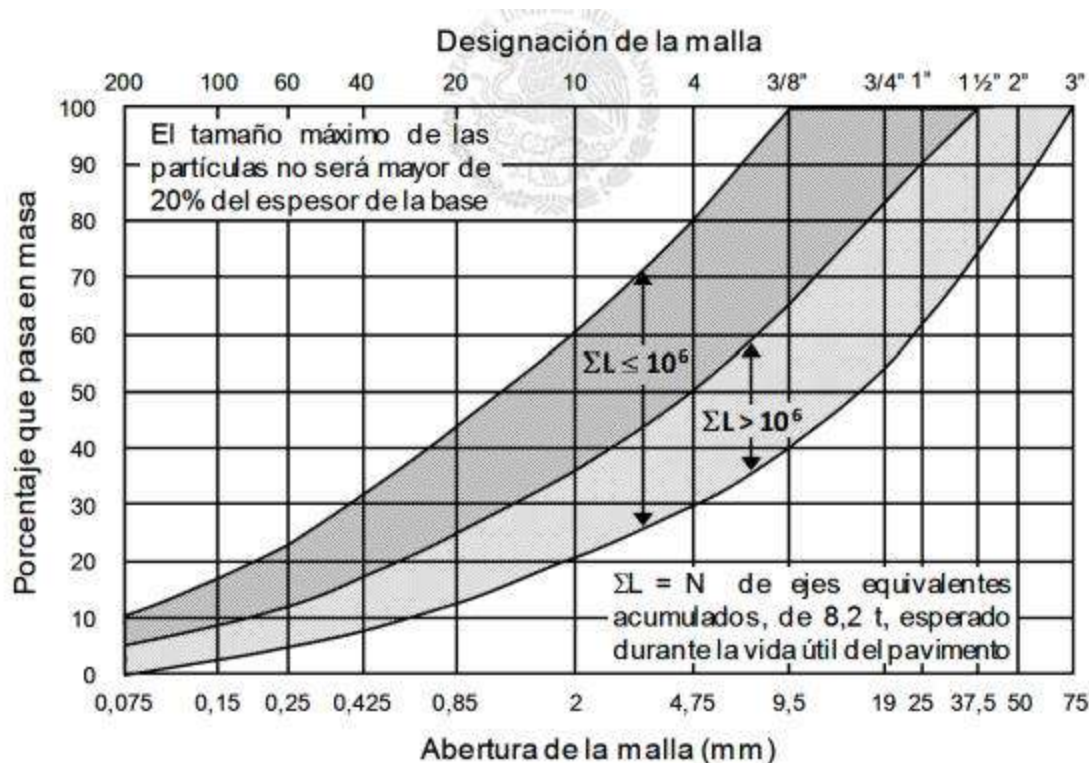


Figura 173. Curva de granulometría para bases de pavimento con mezcla asfáltica de granulometría densa (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Tabla 90. Requisitos de calidad de los materiales para bases de pavimentos asfálticos (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Características ^[2]	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$ ^[1]	$\Sigma L > 10^6$ ^[1]
Límite líquido, máximo	25	25
Índice plástico, máximo	6	6
Equivalente de arena, mínimo	40	50
Valor Soporte de California (CBR) ^[3] , mínimo	80	100
Desgaste Los Ángeles, máximo	35	30
Partículas alargadas, máximo	40	35
Partículas lajeadas, máximo	40	35
Grado de compactación ^[4] , mínimo	100	100

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Determinada mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[3] Con el grado de compactación indicado en esta Tabla.

[4] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.

Tabla 91. Requisitos de granulometría de los materiales para bases que sean cubiertas solo con un tratamiento asfáltico superficial (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Malla		Porcentaje que pasa ^[1]	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ ^[2]	$\Sigma L > 10^6$ ^[2]
75	3 in	100	100
50	2 in	85 - 100	85 - 100
37,5	1½ in	75 - 100	75 - 100
25	1 in	62 - 100	62 - 90
19	¾ in	54 - 100	54 - 83
9,5	¾ in	40 - 83	40 - 65
4,75	N°4	30 - 67	30 - 50
2	N°10	21 - 50	21 - 36
0,85	N°20	13 - 37	13 - 25
0,425	N°40	8 - 28	8 - 17
0,25	N°60	5 - 22	5 - 12
0,15	N°100	3 - 17	3 - 9
0,075	N°200	0 - 10	0 - 5

[1] El tamaño máximo de las partículas no será mayor de 20% del espesor de la base.

[2] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

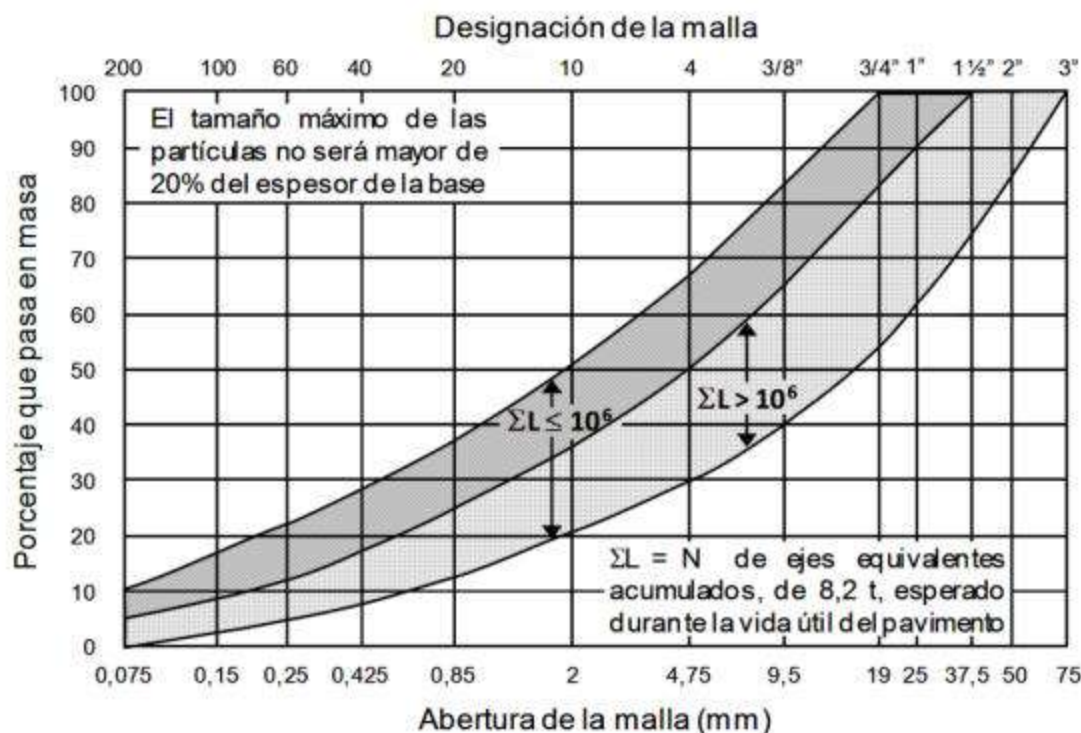


Figura 174. Curva de granulometría para bases de pavimento con tratamiento asfáltico superficial (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

10.7.2.1.3 Materiales para bases tratadas

Todas las bases tratadas que este fuera de la normativa N-CMT-4-02-002, serán estructuras bajo la norma para bases tratadas dentro de la cual se indican los materiales que se encuentran regulados y probados para mejorar las bases (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

A continuación, se muestran algunos de los materiales presentados por la normativa IMT para bases tratadas.

Materiales modificados con cal, haciendo uso de un 2 a 3% en masa de cal, mejora plasticidad y reduce humedad.

Materiales modificados con cemento, haciendo uso de un 3 a 4 % en masa de cemento Pórtland, mejorando plasticidad e incrementando resistencia.

Materiales estabilizados con cemento, Haciendo uso de un 8 a 10% en masa de cemento Pórtland, esto será determinado por medio de pruebas de laboratorio en donde se deberá garantizar una resistencia de 2.5 Mega Pascales (25 kg/cm²) en 28 días. Esto se hace con el fin de reducir al máximo la posibilidad de que la estructura de la base sea afectada por fatiga.

Materiales estabilizados con asfalto, la implementación de una emulsión entre 3 o 4% en masa de cemento asfáltico. Mejora plasticidad.

Materiales de mezcla asfáltica (base negra), puede aplicarse en caliente o en frío, entre 4 a 5% en masa de cemento asfáltico, para formar una capa de concreto asfáltico magro²³.

Materiales de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, si se usa cemento Pórtland se debe garantizar una resistencia entre 14.7 y 19.6 Mega Pascales o (150 kg/cm² o 200 kg/cm²).

²³ Magro se considera a un concreto asfáltico que tiene un alto contenido de agua y en menor cantidad una concentración de cemento en comparación con otros tipos. (es.411answers, 2023).

Tabla 92. Tipos de bases modificadas (VISE).

Tipo de base	Características
Modificadas con cemento hidráulico	Se incorpora al suelo que formará la base, de 3 a 4% en masa de cemento hidráulico para modificar su plasticidad.
Estabilizadas con cemento hidráulico	Se le incorpora al suelo que formará la base, de 6 a 10% en masa de cemento hidráulico para aumentar la resistencia a la compresión simple determinada a los 7 días de edad.
Estabilizadas con asfalto	Se agrega al suelo que integra la base, de 3 a 4% en masa de cemento asfáltico para mejorar su comportamiento mecánico y disminuir la plasticidad. El asfalto se agrega en forma de emulsión.
Asfáltica (Base negra)	Se añade al suelo que integra la base, de 4 a 5% en masa de cemento asfáltico para formar una capa de concreto asfáltico magro. El asfalto se añade en caliente o en frío.
Concreto hidráulico magro o de baja resistencia	Se agrega al suelo que formará la capa, cemento hidráulico necesario para obtener una resistencia a la compresión simple a los 28 días de edad de 150 kg/cm ² a 200kg/cm ² .

Fuente: SCT

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Capas Estabilizadas	N-CTR-CAR-1-04-003
Recuperación en Frío de Pavimentos Asfálticos	N-CSV-CAR-4-02-001
Construcción de Subbases o Bases Estabilizadas	N-CSV-CAR-4-02-005
Construcción de Subbases y Bases de Concreto Compactado con Rodillo	N-CSV-CAR-4-02-006
Calidad del Cemento Pórtland	N-CMT-2-02-001
Materiales para Bases Hidráulicas	N-CMT-4-02-002
Cal para Estabilización de Suelos	N-CMT-4-03-001
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Grado de Compactación	M-MMP-1-10
Grado de Compactación con Deflectómetro de Impacto Ligero (LWD)	M-MMP-1-16
Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto	M-MMP-2-02-058
Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base	M-MMP-4-01-001
Granulometría	M-MMP-4-01-003
Contenido de Agua	M-MMP-4-01-004
Límites de Consistencia	M-MMP-4-01-006
Equivalente de Arena	M-MMP-4-01-008
Desgaste Los Ángeles	M-MMP-4-01-009
Compactación AASHTO	M-MMP-4-01-010
Contenido de Materia Orgánica	M-MMP-4-01-012
Determinación del Contenido de Asfalto para Estabilizar Suelos Finos No Plásticos	M-MMP-4-01-014
Determinación del Contenido de Asfalto para Estabilizar Suelos Finos Plásticos	M-MMP-4-01-015
Partículas Alargadas y Lajeadas de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-005
Desprendimiento por Fricción de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-009
Cubrimiento con Asfalto Mediante el Método Inglés de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-010
Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-004
Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa	M-MMP-4-05-034
Contenido de Agua en Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-039
Contenido de Disolventes en Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-040
Pérdida de Estabilidad por Inmersión en Agua de Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-042
Contenido de Cemento o Residuo Asfáltico en Mezclas Asfálticas por el Método Colorimétrico	M-MMP-4-05-047
Contenido de Cemento o Residuo Asfáltico en Mezclas Asfálticas mediante la Recirculación de Disolventes en Caliente	M-MMP-4-05-048
Contenido de Cemento o Residuo Asfáltico en Mezclas Asfálticas mediante Extracción por Centrifugado	M-MMP-4-05-049
Contenido de Cemento o Residuo Asfáltico en Mezclas Asfálticas por el Método de Calcinación	M-MMP-4-05-054

Figura 175. Normas y manuales para bases estabilizadas (N-CMT-4-02-002/22, 2022).

Requisitos de calidad de materiales modificados con cal, modificados con cemento o estabilizados con cemento.

- Cumplir con calidad bajo la normativa IMT
- No debe tener contenido de materia orgánica
- Cumplir con limite líquido, índice plástico, equivalente de arena, CBR y desgaste de los ángeles
- Compactación al 100 por ciento con respecto a la masa volumétrica

Requisitos de calidad de materiales modificados con asfalto

- Cumplir con calidad bajo la normativa IMT
- Estabilización con materiales no plásticos, será necesario determinar el contenido de asfalto para estabilizar suelos finos no plásticos.
- Estabilización con materiales plásticos, será necesario determinar el contenido de asfalto para estabilizar suelos finos plásticos.

Tabla 93. Requisitos de calidad de los materiales plásticos estabilizados con productos asfálticos (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

Característica ^[1]	Valor
Estabilidad; kg, mínimo	180
Expansión; %, máximo	2
Absorción; %, máximo	5

[1] Determinada mediante el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-01-015, *Determinación del Contenido de Asfalto para Estabilizar Suelos Finos Plásticos*

- Si y solo el proyecto lo requiere una modificación adicional será necesario realizar una prueba AASHTO Modificada

Requisitos de calidad de materiales modificados con mezcla asfáltica (base negra)

- Cumplir con calidad materiales asfálticos bajo la normativa IMT
- Los agregados pétreos deberán cumplir con la siguiente granulometría.

Tabla 94. Requisitos de granulometría del material pétreo para bases de mezcla asfáltica (bases negras) (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
37,5	1½ in	100	100
25	1 in	90 – 100	90 - 100
19	¾ in	76 – 100	76 - 100
9,5	¾ in	42 – 100	42 - 100
4,75	Nº4	24 – 100	24 - 70
2	Nº10	10 – 90	10 - 27
0,85	Nº20	5 – 65	5 - 14
0,425	Nº40	4 – 47	4 - 10
0,25	Nº60	2 – 35	2 - 8
0,15	Nº100	1 – 25	1 - 7
0,075	Nº200	0 – 15	0 - 6

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

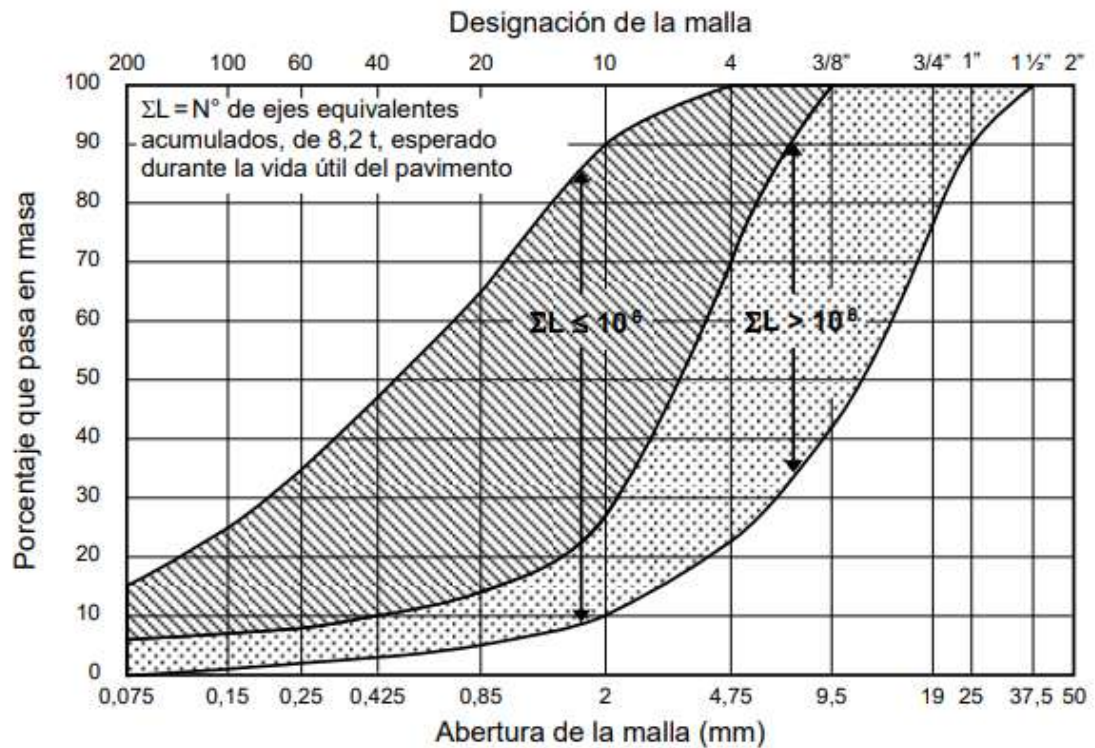


Figura 176. Curva granulométrica para bases negras (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

Tabla 95. Requisitos de calidad del material pétreo para bases de mezclas asfálticas (bases negras) (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

Característica	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Límite líquido ^[2] , máximo	30	25
Índice plástico ^[2] , máximo	6	6
Contenido de agua ^[2] , máximo	1	1
Equivalente de arena ^[2] , mínimo	40	50
Partículas alargadas y lajeadas ^[2] , máximo	50	40
Desgaste Los Angeles ^[2] , máximo	30	30
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; máximo ^[2]	25	25

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

- Tamaño máximo (37.5 mm o 1 1/2 in) o no será superior a 2/3 del espesor de la capa base asfáltica compacta.
- Si la mezcla es en caliente deberá garantizarse la temperatura desde la salida de planta hasta la aplicación en obra.

Tabla 96. Requisitos de calidad para bases de mezcla asfáltica diseñadas mediante método Marshall (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

Características	Valor	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lbf), mínimo	4 410 (990)	6 860 (1 540)
Flujo; mm (10^{-2} in)	2 – 4,5 (8 – 18)	2 – 4 (8 – 16)
Vacios en la mezcla asfáltica (VMC); %	3 – 8	3 – 8

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

Tabla 97. Vacíos en el agregado mineral (VAM) para bases de mezclas asfálticas diseñadas mediante el método Marshall (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

Tamaño máximo del material pétreo utilizado en la mezcla		Vacíos en el agregado mineral (VAM) %, mínimo
mm	Designación	
4,75	Nº4	18
6,3	¼ in	17
9,5	¾ in	16
12,5	½ in	15
19	¾ in	14
25	1 in	13
37,5	1½ in	12

- Emulsiones de rompimiento medio o lento
- Si la temperatura es muy baja inferior de 5°C, no se aplica
- Contenidos de cemento asfáltico

Tabla 98. Contenido de cemento asfáltico, agua y disolventes en la base de mezcla asfáltica (Base negra).

Material asfáltico empleado en la elaboración de la base de mezcla asfáltica	Tolerancia en el contenido de cemento asfáltico (CA) ^[1] %	Contenido de agua libre permitido ^[2] %	Relación de disolventes a cemento asfáltico en masa valor K
Cemento asfáltico	CA ± 0,15	1	0
Emulsión asfáltica sin disolventes	CA ± 0,1	----	0
Emulsión asfáltica con disolventes	CA ± 0,1	----	0,05 a 0,08

[1] CA corresponde al contenido de cemento asfáltico determinado en el diseño de la mezcla, en por ciento respecto a la masa del material pétreo.

[2] Respecto a la masa de la mezcla asfáltica.

- Cálculo de viscosidad Saybolt-furol en materiales asfálticos para determinar temperaturas mínimas convenientes para el tendido.
- Espesor máximo ha de ser considerado bajo las características del equipo usado para compactar de una forma uniforme. Cuando sea una capa de un espesor alto pueden implementarse dos o más capas.
- Compactación al 95 por ciento de su masa volumétrica máxima.

Requisitos de calidad de materiales para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia

- Cumplir con calidad del cemento Pórtland bajo la normativa IMT
- Los agregados pétreos deberán cumplir con la siguiente granulometría.

Tabla 99. Requisitos de granulometría para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
25	1 in	100
19	¾ in	87 - 100
9,5	¾ in	55 - 89
4,75	N°4	35 - 69
2	N°10	22 - 54
0,85	N°20	15 - 40
0,425	N°40	10 - 30
0,25	N°60	8 - 23
0,15	N°100	5 - 18
0,075	N°200	3 - 10

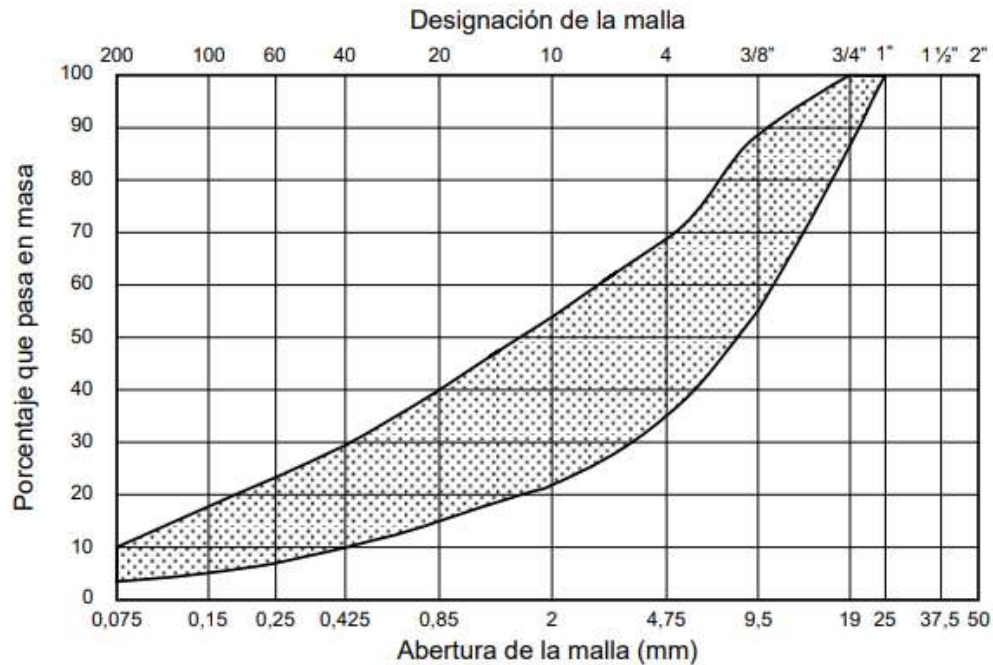


Figura 177. Curva granulométrica para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

Tabla 100. Requisitos de calidad del material pétreo para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

Característica	Valor %
Índice plástico ^[1] , máximo	NP
Equivalente de arena ^[1] , mínimo	50
Desgaste Los Ángeles ^[1] , máximo	30

[1] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

- Los materiales serán combinados de manera homogénea
- La fracción del material pétreo que se retenga en la malla con abertura (4.75 mm o N° 4) tendrá menos del 50 % de masa de partículas trituradas
- Los agregados pétreos deberán cumplir con la siguiente granulometría agregando cemento Portland.

Tabla 101. Requisitos de granulometría del material pétreo para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, habiendo agregado el cemento Pórtland (N-CMT-4-02-003/21, 2021),

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
25	1 in	100
19	¾ in	88 - 100
9,5	¾ in	59 - 90
4,75	N°4	41 - 72
2	N°10	29 - 58
0,85	N°20	23 - 45
0,425	N°40	18 - 36
0,25	N°60	16 - 30
0,15	N°100	14 - 25
0,075	N°200	12 - 18

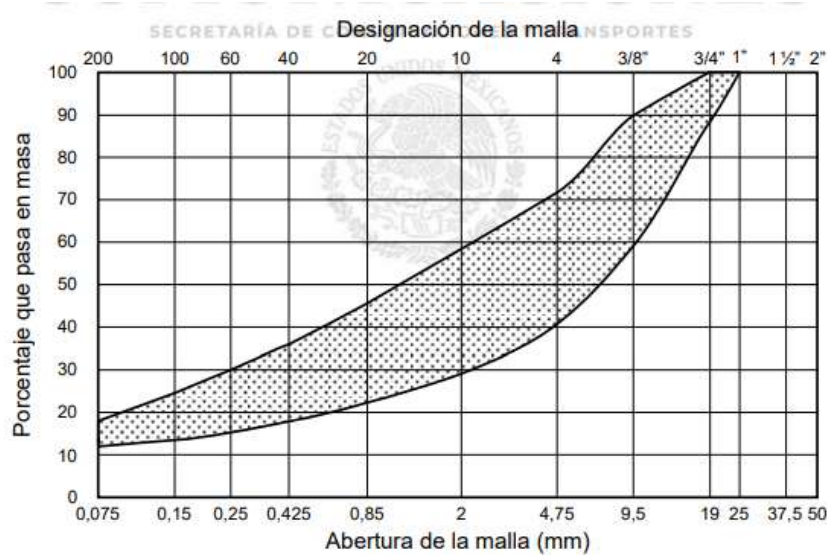


Figura 178. Curva granulométrica para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia agregando cemento Pórtland (N-CMT-4-02-003/21, 2021).

- Le debe mantener húmeda la superficie de la base de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, durante los próximos 3 días de aplicada la base.

- Compactada y curada la base será necesario, cumplir con resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto.

Requisitos de calidad de materiales provenientes de la recuperación de pavimentos existentes

- Cumplir con normativa de materiales fresados y usados posteriormente como mejoramiento de bases. Todo material recuperado in-situ requerirá de un equipo especial para su preparación, posterior a esto se adicionará algún material como complemento que debe cumplir con los requisitos en cuanto a calidad se refiere bajo la norma IMT (N-CMT-4-01/02, 2002).

10.7.3 Materiales para pavimentos rígidos o concreto hidráulico

10.7.3.1 Calidad del cemento Pórtland

Es un conglomerado hidráulico que al hidratarse se endurece (N-CMT-2-02-001/02, 2002).

Se pueden adicionar otros materiales como:

- Puzolanas
- Escoria granulada de alto horno
- Humo de sílice
- Caliza

A continuación, se mencionan la clasificación propuesta por la normativa IMT (N-CMT-2-02-001/02, 2002).

Clasificación

1) Tipo CPO (cemento Pórtland ordinario)

Es producido por la molienda del Clinker Pórtland y sulfato de calcio.

Es el más común de los materiales.

2) Tipo CPP (cemento Pórtland puzolánico)

Es una combinación del tipo CPO más puzolanas.

3) Tipo CPEG (cemento Pórtland con escoria granulada de alto horno)

Es producido por la molienda del clinker Pórtland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.

4) Tipo CPC (cemento Pórtland con compuesto)

Es producido por la molienda del clinker Pórtland, puzolanas, escoria granulada de alto horno, caliza y sulfato de calcio.

5) Tipo CPS (cemento Pórtland con humo de sílice)

Es producido por la molienda del clinker Pórtland, humo de sílice y sulfato de calcio.

6) Tipo CEG (cemento con escoria granulada de alto horno)

Es producido por la molienda del clinker Pórtland, sulfato de calcio y escoria granulada de alto horno.

Clase de resistencias de los cementos Pórtland

Tabla 102. Clases resistentes de los cementos Pórtland (N-CMT-2-02-001/02, 2002).

Unidades en MPa (kg/cm²)

Clase resistente	Resistencia a la compresión		
	A 3 días ^[1]	A 28 días ^[2]	
	mínimo	mínimo	máximo
20	-	20 (204)	40 (408)
30	-	30 (306)	50 (510)
30R	20 (204)	30 (306)	50 (510)
40	-	40 (408)	-
40R	30 (306)	40 (408)	-

[1] Corresponde a la resistencia inicial del cemento

[2] Corresponde a la resistencia normal del cemento

Requisitos de calidad para los cementos Pórtland

- Cumplir con composición

Tabla 103. Composición de los cementos Pórtland (N-CMT-2-02-001/02, 2002).

Unidades en % en masa

Cemento Pórtland		Clinker Pórtland + sulfato de calcio	Componentes principales				Componentes minoritarios
Tipo	Denominación		Puzolanas	Escoria granulada de alto horno	Humo de sílice	Caliza	
			[1]				[2]
CPO	Cemento Pórtland ordinario	95 - 100	--	--	--	--	0 - 5
CPP	Cemento Pórtland puzolánico	50 - 94	6 - 50	--	--	--	0 - 5
CPEG	Cemento Pórtland con escoria granulada de alto horno	40 - 94	--	6 - 60	--	--	0 - 5
CPC [3]	Cemento Pórtland compuesto	50 - 94	6 - 35	6 - 35	1 - 10	6 - 35	0 - 5
CPS	Cemento Pórtland con humo de sílice	90 - 99	--	--	1 - 10	--	0 - 5
CEG	Cemento con escoria granulada de alto horno	20 - 39	--	61 - 80	--	--	0 - 5

[1] Las puzolanas pueden ser naturales, artificiales y cenizas volantes.

[2] Los componentes minoritarios pueden ser uno o más de los componentes principales, salvo que estén incluidos ya como tales en el cemento.

[3] El cemento Pórtland compuesto contendrá dos componentes principales como mínimo, excepto cuando se trate de caliza, la que puede ser el único componente principal.

- Determinar contenido de carbonato de calcio
- Determinar expansión potencial por la acción de los sulfatos

10.7.3.2 Calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico

Son materiales pétreos previamente seleccionados por un tratamiento de disgregación, cribado, trituración o lavado. O eventualmente materiales producidos por calcinación o fusión que posteriormente se mezcla con cemento Pórtland y agua (N-CMT-2-02-002/19, 2019).

Los agregados del concreto hidráulico son:

1) Agregado fino

Material fino es toda arena comprendida entre 75 micrómetros (N° 200) y 4.75 mm (N° 4).

2) Agregado grueso

Material grava es todo lo comprendido entre 19 mm (3/4 in) y 75 mm (3 in).

3) Fragmentos de roca

Se considera fragmento de roca todo tamaño superior de 75 mm (3 in)

4) Agregado ligero

Pueden ser materiales de agregado fino o gruesos, pero de baja densidad, se usan eventualmente para fabricaciones de concreto estructural ligero.

Requisitos de calidad para agregados finos

- Granulometría

Tabla 104. Límites granulométricos para agregados finos (N-CMT-2-02-002/19, 2019).

Malla		Porcentaje retenido acumulado ^[1]
Abertura mm	Designación	
9,5	¾ in	0
4,75	N°4	0 - 5
2,36	N°8	0 - 20
1,18	N°16	15 - 50
0,6	N°30	40 - 75
0,3	N°50 ^[2]	70 - 90
0,15	N°100 ^[2]	90 - 98

[1] El retenido parcial de la masa total en cualquier malla, no será mayor de 45%.

[2] Si los agregados van a ser empleados en concretos con aire incluido y con un contenido de cemento mayor de 250 kg/m³, o en concretos sin aire incluido y con un contenido de cemento mayor de trescientos 300 kg/m³, los porcentajes máximos especificados en esta Tabla para el material retenido acumulado en las mallas N°50 y N°100 se podrán aumentar a 95% y a 100%, respectivamente, así como en el caso en que se use un aditivo mineral que supla las deficiencias en las cantidades de material que pase dichas mallas. Se considera un concreto con aire incluido, el obtenido mediante el empleo de un agente inclusor de aire y con un contenido de aire mayor del 3%.

- Módulo de finura

Se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados 2.3 a 3.1%, Se podrá tener una tolerancia de 0.2 más o menos

- Material que pasa la malla N° 200 (0.075 mm)

Tabla 105. Contenido de sustancia perjudiciales en el agregado fino (N-CMT-2-02-002/19, 2019).

Substancias perjudiciales	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
Terrones de arcilla y partículas deleznales	1
Carbón y lignito:	
• En concreto aparente	0,5
• En concreto de cualquier otra índole	1
Materiales finos que pasan la malla N°200 ^[1] :	
• Para concreto sujeto a desgaste	3
• Para concreto de cualquier otra índole	5

[1] En el caso de arenas obtenidas por trituración, si el material que pasa la malla N°200 está formado por el polvo producto de la trituración, exento de arcillas o pizarras, estos límites se podrán aumentar hasta el 5% y 7%, respectivamente.

En casos especial será necesario tener presente la Tabla 106

Tabla 106. Material que pasa la malla N°200 (0.075mm) en el agregado fino para casos especiales (N-CMT-2-02-002/19, 2019).

Límite líquido %	Índice plástico %	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
hasta 25	Hasta 4	18
	de 5 a 9	14
	de 10 a 15	9
de 26 a 35	Hasta 4	15
	de 5 a 9	11
	de 10 a 15	7
de 36 a 45	Hasta 4	12
	de 5 a 9	9
	de 10 a 15	6
de 46 a 55	Hasta 4	9
	de 5 a 9	7
	de 10 a 15	5

- Contenido de impurezas orgánicas

No debe tener impurezas el agregado fino

- Reactividad con los álcalis del cemento

Si al realizar el examen petrográfico de los agregados, y se encuentran partículas de sílice reactivo o de carbonato reactivo se podrá usar para concretos.

- Intemperismo acelerado

En la prueba el agregado fino solo podrá perder un 10 % o menos cuando se emplee sulfato de sodio y 15% o menos cuando se use sulfato de magnesio.

Requisitos de calidad para agregados grueso

- Granulometría

Tabla 107. Límites granulométricos para agregados gruesos (N-CMT-2-02-002/19, 2019).

Malla mm (designación)	Tamaño nominal mm												
	90 a 40	64 a 40	50 a 25	50 a 5	40 a 20	40 a 5	25 a 13	25 a 10	25 a 5	20 a 10	20 a 5	13 a 5	10 a 2,5
	Porcentaje retenido acumulado												
101 (4 in)	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
89 (3½ in)	0 - 10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
75 (3 in)	--	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
63 (2½ in)	75 - 40	0 - 10	0	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--
50 (2 in)	--	30 - 65	0 - 10	0 - 5	0	0	--	--	--	--	--	--	--
37,5 (1½ in)	85 - 100	85 - 100	30 - 65	--	0 - 10	0 - 5	0	0	0	--	--	--	--
25 (1 in)	--	--	85 - 100	30 - 65	45 - 80	--	0 - 10	0 - 10	0 - 5	0	0	--	--
19 (¾ in)	95 - 100	95 - 100	--	--	85 - 100	30 - 65	45 - 60	15 - 60	--	0 - 10	0 - 10	0	--
12,5 (½ in)	--	--	95 - 100	70 - 90	--	--	90 - 100	60 - 90	40 - 75	45 - 60	--	0 - 10	0
9,5 (¾ in)	--	--	--	--	95 - 100	70 - 90	95 - 100	85 - 100	--	85 - 100	45 - 60	30 - 60	0 - 15
4,75 (N°4)	--	--	--	95 - 100	--	95 - 100	--	95 - 100	90 - 100	95 - 100	90 - 100	85 - 100	70 - 90
2,35 (N°8)	--	--	--	--	--	--	--	--	95 - 100	--	95 - 100	85 - 100	90 - 100
1,18 (N°16)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	95 - 100

- Material que pasa la malla N° 200 (0.075 mm)

Cumplir con la normativa vigente para partículas más finas de los agregados N° 200.

- Contenido de sustancias perjudiciales

Tabla 108. Contenido de substancia perjudiciales en el agregado grueso (N-CMT-2-02-002/19, 2019).

Substancias perjudiciales	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
Terrones de arcilla y partículas deleznales	
• En concreto no expuesto a la intemperie	10
• En concreto expuesto a la intemperie	5
• En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad o a tráfico abrasivo ^[1]	4
• En concreto arquitectónico	2
Partículas de roca de sílice alterada, con densidad relativa del material seco, menor de 2,4 ^[2]	
• En concreto expuesto a la intemperie ^[1]	6
• En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad	5
• En concreto arquitectónico	3
Suma de los contenidos de terrones de arcilla, partículas deleznales y de roca de sílice alterada	
• En concreto expuesto a la intemperie	8
• En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad	6
• En concreto arquitectónico ^[1]	4
Carbón y lignito:	
• En concreto no expuesto a la intemperie	1
• En concreto expuesto a la intemperie	0,5

[1] Para concreto hidráulico en regiones cuya altitud sea mayor de 3 000 m sobre el nivel del mar, este requisito se reducirá en 1%.

- Reactividad con los álcalis del cemento

Realizar examen petrográfico de los agregados, si se encuentran partículas de sílice reactivo o de carbonato reactiv. se podrá usar el agregado.

- Masa Volumétrica

Si se usan agregados gruesos de escoria de altos hornos, se deberá garantizar una masa volumétrica 1120 kg/m³

- Coeficiente Volumétrico

Se debe garantizar un coeficiente volumétrico de 0.2 para materiales naturales y 0.15 para escoria.

- Intemperismo acelerado

En la prueba de intemperismo, debe cumplir con una perdida maxima de 12% realizando la prueba con sulfato de sodio.

- Resistencia al desgaste

Tendran solo 50% de desgaste en perdida en masa (maquina de los angeles)

- Criterio de decision para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-sílice o álcali-carbonato

Tabla 109. Criterio de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-sílice (N-CMT-2-02-002/19, 2019).

<i>Paso</i>	Acción	Resultado	Conclusión
1	Propuesta de suministro (banco)		
2	Examen petrográfico de los agregados	Agregados inocuos: • No contienen sílice reactivo	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin límites por este concepto
		Agregados potencialmente deletéreos: • Contienen sílice reactivo	Dato no concluyente, seguir el paso 3
3	Prueba química a los agregados	Agregados inocuos: • No existe reacción álcali-sílice	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		Agregados deletéreos o potencialmente deletéreos	Dato no concluyente, seguir el paso 4
4	Prueba de expansión en mortero a seis meses	Expansión $\leq 0,05\%$: • Agregados no reactivos	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		$0,05\% < \text{Expansión} < 0,1\%$: • Agregados ligeramente reactivos	Dato dudoso: • Uso restringido de los agregados para concreto en condición seca o con cemento bajo en álcalis ($< 0,6\%$) o puzolana eficaz para inhibir esta reacción
		Expansión $\geq 0,1\%$: • Agregados reactivos	Dato concluyente: • Uso muy restringido de los agregados, sólo con medidas preventivas, cemento muy bajo en álcalis ($< 0,4\%$), o puzolana eficaz, o explotación selectiva del banco o cantera

Tabla 110. Criterio de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-carbonato (N-CMT-2-02-002/19, 2019)

Paso	Acción	Resultado	Conclusión
1	Propuesta de suministro (banco)		
2	Examen petrográfico de los agregados	Agregados inocuos: • No contienen carbonato reactivo	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin límites por este concepto
		Agregados potencialmente deletéreos: • Contienen carbonato reactivo	Dato no concluyente, seguir el paso 3
3	Prueba de expansión en cilindros de roca, a tres meses	Expansión < 0,1%: • Agregados no reactivos	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		Expansión ≥ 0,1%: • Agregados potencialmente reactivos	Dato no concluyente, seguir el paso 4
4	Prueba de expansión en concreto a seis meses	Expansión ≤ 0,015%: • Agregados no reactivos	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		0,015% < Expansión < 0,025%: • Agregados ligeramente reactivos	Dato dudoso: • Uso restringido de los agregados para concreto en condición seca o con cemento bajo en álcalis (< 0,6%) o puzolana eficaz para inhibir esta reacción
		Expansión ≥ 0,025%: • Agregados reactivos	Dato concluyente: • Uso muy restringido de los agregados, sólo con medidas preventivas, cemento muy bajo en álcalis (< 0,4%), o puzolana eficaz, o explotación selectiva del banco o cantera

Requisitos de calidad para fragmentos de roca

Se podrán usar fragmentos de roca cuando se hagan concreto ciclópeo. Tendrán una masa máxima de 30 kg (N-CMT-2-02-002/19, 2019).

- Granulometría

Tabla 111. Límites granulométricos para fragmentos de roca (N-CMT-2-02-002/19, 2019).

Malla		Fino	Grueso				
		Tamaño nominal mm					
		5 a 0,15	25 a 13	25 a 5	20 a 5	13 a 5	10 a 2,5
Abertura mm	Designación	Porcentaje retenido					
37,5	1½ in	--	0	0	--	--	--
25	1 in	--	0 - 5	0 - 5	0	--	--
19	¾ in	--	--	--	0 - 10	0	--
12,5	½ in	--	90 - 100	40 - 75	--	0 - 10	0
9,5	¾ in	0	--	--	40 - 80	20 - 60	0 - 20
4,75	Nº4	0 - 15	--	90 - 100	90 - 100	80 - 100	60 - 95
2,36	Nº8	--	--	--	--	90 - 100	80 - 100
1,18	Nº16	20 - 60	--	--	--	--	--
0,3	Nº50	65 - 90	--	--	--	--	--
0.15	Nº100	75 - 95	--	--	--	--	--

- Módulo de finura

Se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados no será menor 2.3 a 3.1, Se podrá tener una tolerancia de 0.2 más o menos.

- Contenido de substancia perjudiciales

Se admitirá solo un 2% de partículas de agregado ligero fino con respecto a la masa seca de los agregados.

- Contenido de impurezas orgánicas

Si se encuentra material fino este no deberá tener impurezas, realizando la prueba de impurezas orgánicas en agregados finos.

- Masa volumétrica

Deberá cumplir con la Tabla 112

Tabla 112. Masa volumétrica máxima de los agregados ligeros (N-CMT-2-02-002/19, 2019).

Tipo de agregado	Masa volumétrica seca y suelta (máxima) kg/m ³
Fino	1 120
Grueso	880
Fino y grueso combinados	1 040

- Pérdida por calcinación

Los agregados ligeros tendrán una perdida no mayor de 5% en masa.

10.7.3.3 Calidad de aditivos químicos para concreto hidráulico

Con frecuencia se suelen usar aditivos en el concreto, bien sea para retardar o para acelerar, existen muchos más que ayudan modificando las propiedades del concreto (N-CMT-2-02-004/18, 2018).

A continuación se mencionan los aditivos que se encuentran dentro de la normativa IMT:

Aditivos reductores de agua

Reduce la cantidad de agua de una mezcla de concreto, aumenta la relación agua cemento.

Aditivos retardantes

Se usan especialmente para retardar el concreto, regularmente se implementa cuando se están realizando vertimientos de concretos en vías.

Aditivos acelerantes

Se usan para acelerar el proceso de fraguado del concreto.

Aditivos reductores de agua y retardantes

Es un aditivo que cumple las dos funciones reduce cantidad de agua y a la vez es retardante.

Aditivos reductores de agua de alto rango

Da una mayor reducción de agua, con respecto a los reductores de agua normales.

Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes

Con estos aditivos hay una mayor reducción de agua y a la vez retarda el fraguado.

Aditivos superplastificantes

Estos aditivos especiales para garantizar un concreto fluido, no proporciona ninguna pérdida de cohesión ni retardo.

Aditivos superfluidificantes y retardantes

Aditivos especiales para mejorar la fluidez del concreto. Sin pérdida de cohesión y con retardantes.

Aditivos inclusores de aire

Se añade aire al concreto cuando se está haciendo, mejorando sus trabajabilidad.

Aditivo de comportamiento específico

Con respecto a los aditivos anteriores, estos ayudan a mejorar otros factores como la corrosión, contracción y relación álcali-sílice. A continuación, se presentan:

Indicadores de corrosión

Aditivos que ayudan a retardar el proceso de corrosión.

Reductores de contracción

Ayudan a reducir el impacto por contracción en el concreto.

Reductores de la reactividad álcali-sílice (RAS)

Mejoran la relación álcali-sílice, reduciendo el deterioro del concreto.

Requisitos de calidad

- Concreto elaborado con aditivos reductores de agua

Tabla 113. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos reductores de agua, retardantes, acelerantes y reductores de agua con retardantes (N-CMT-4-05-004/18, 2018).

Requisito	Reductor de agua	Retardante	Acelerante del fraguado	Acelerante de resistencia	Reductor de agua y retardante
Contenido de agua respecto a la MC*; %, máx. ^[2]	95	---	---	92	95
Tiempo de fraguado. Desviación aceptable respecto a la MC*; h:min					
Inicial: No menos de	---	1:0 después	1:0 antes	---	1:0 después
No más de	**1:0 – 1:3	3:3 después	3:3 antes	3:0 después	3:3 después
Final: No menos de	---	---	1:0 antes	---	---
No más de	**1:0 – 1:3	3:3 después	---	3:0 antes	3:3 después
Esfuerzo de compresión respecto a la MC*; %, mínimo ^{[3] [4]}					
1 día	---	---	---	110	---
3 días	110	90	125	125	110
7 días	110	90	100	120	110
28 días	110	90	100	110	110
180 días	100	90	90	100	100
365 días	100	90	90	100	100
Esfuerzo de flexión respecto a la MC*; %, mín. ^[4]					
3 días	100	90	110	110	100
7 días	100	90	100	100	100
28 días	100	90	90	100	100
Proporción del cambio de longitud respecto a la MC* (ρ_{mp}); %, máx. ^[5]	135	135	135	135	135
Incremento del cambio de longitud respecto a la MC* (I_{mp}); %, máximo ^[5]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Factor de durabilidad relativa; %, mínimo ^[6]	80	80	80	80	80

* MC = Mezcla de control. ** 1:0 antes ni 1:3 después.

- Concreto elaborado con aditivos reductores de agua de alto rango

Tabla 114. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos reductores de agua y acelerantes, reductores de agua de alto rango, reductores de agua de alto rango y retardantes, superplastificantes, y superfluidificantes y retardantes. (N-CMT-2-02-004/18, 2018).

Requisito	Reductor de agua y acelerante	Reductor de agua, alto rango ^[2]	Reductor de agua, alto rango y retardante ^[2]	Super-Plastificante	Super-Plastificante y retardante
Contenido de agua respecto a la MC*; %, máx. ^[3]	95	88	88	---	---
Tiempo de fraguado. Desviación aceptable respecto a la MC*; h:min					
Inicial: No menos de	1:0 antes	---	1:0 después	---	1:0 antes
No más de	3:3 antes	**1:0 – 1:3	3:3 después	**1:0 – 1:3	3:3 antes
Final: No menos de	1:0 antes	---	---	---	---
No más de	---	**1:0 – 1:3	3:3 después	**1:0 – 1:3	3:3 después
Esfuerzo de compresión respecto a la MC*; %, mínimo ^[4]					
1 días	---	140	125	90	90
3 días	125	125	125	90	90
7 días	110	115	115	90	90
28 días	110	110	110	90	90
180 días	100	100	100	90	90
365 días	100	100	100	90	90
Esfuerzo de flexión respecto a la MC*; %, mín. ^[4]					
3 días	110	110	110	90	90
7 días	100	100	100	90	90
28 días	100	100	100	90	90
Proporción del cambio de longitud respecto a la MC* (ρ_{mp}); %, máx. ^[5]	135	135	135	135	135
Incremento del cambio de longitud respecto a la MC* (I_{mp}); %, máximo ^[5]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Factor de durabilidad relativa; %, mínimo ^[6]	80	80	80	80	80
Incremento de revenimiento respecto a la MC*; cm, mínimo	---	---	---	9	9

* MC = Mezcla de control. ** 1:0 antes ni 1:3 después.

[1] Los valores de esta Tabla asumen la aceptación de una variación normal en los resultados de las pruebas.

[2] Las pruebas se harán usando el cemento, puzolana, agregados y aditivo inclusor de aire, con las proporciones y secuencia de incorporación de éstos en el mezclado, establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría, pues la acción de los aditivos químicos puede variar con las propiedades y proporción de los ingredientes del concreto. Las mezclas que cuentan con aditivos reductores de agua de alto rango generalmente muestran mayor velocidad a la pérdida de revenimiento; cuando éstos aditivos son usados para incrementar la trabajabilidad, es decir de 15 a 20 cm de revenimiento, el efecto puede ser de duración limitada, volviendo al revenimiento original en un lapso de 30 a 60 min, dependiendo de los factores que normalmente afectan la pérdida de revenimiento.

[3] El contenido de agua referido como porcentaje respecto de la mezcla de control, se calcula con base en las masas unitarias de la mezcla con el aditivo de prueba y de la mezcla de control.

[4] Las resistencias a la compresión y a la flexión del concreto que contiene el aditivo bajo estudio, a determinada edad de prueba, no serán menores del 90% de aquellas alcanzadas a cualquier edad de prueba anterior, con el propósito de asegurar que la resistencia a la compresión y flexión del concreto que contiene el aditivo bajo prueba no decrezca con el tiempo. Estos límites son aplicables dependiendo del tipo de esfuerzo al que estará sujeto el elemento estructural donde se empleará el concreto.

[5] Requisitos opcionales: los especímenes para deformaciones longitudinales consistirán en prismas hechos y probados de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-173-ONNCCE-2010, *Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Determinación de la Variación en Longitud de Especímenes de Mortero de Cemento y de Concreto Endurecidos*, excepto el periodo de curado, que será de 14 días. Cuando el cambio de longitud de la mezcla de control (ΔL_{mc}) sea igual que 0,03%

- Concreto elaborado con aditivos inclusores de aire

Tabla 115. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos inclusores de aire y de comportamiento específico (N-CMT-2-02-004/18, 2018).

Requisito	Inclutor de aire	Comportamiento específico
Tiempo de fraguado. Desviación aceptable respecto a la MC*; h:min		
Inicial: No menos de	$\pm 1:15$	---
No más de	---	**1:0 – 1:3
Final: No menos de	$\pm 1:15$	---
No más de	---	**1:0 – 1:3
Esfuerzo de compresión respecto a la MC*; %, mínimo ^[2]		
1 días	90	---
3 días	90	90
7 días	90	90
28 días	90	90
180 días	90	90
365 días	90	90
Esfuerzo de flexión respecto a la MC*; %, mín. ^[2]		
3 días	90	90
7 días	90	90
28 días	90	90
Proporción del cambio de longitud respecto a la MC* (ρ_{np}); %, máx. ^[3]	120	135
Incremento del cambio de longitud respecto a la MC* (I_{np}); %, máximo ^[3]	0,006	0,01
Factor de durabilidad relativa; %, mínimo ^[4]	80	80

* MC = Mezcla de control. ** 1:0 antes ni 1:3 después.

[1] Los valores de esta Tabla asumen la aceptación de una variación normal en los resultados de las pruebas.

[2] Las resistencias a la compresión y a la flexión del concreto que contiene el aditivo bajo estudio, a determinada edad de prueba, no serán menores del 90% de aquellas alcanzadas a cualquier edad de prueba anterior, con el propósito de asegurar que la resistencia a la compresión y flexión del concreto que contiene el aditivo bajo prueba no decrezca con el tiempo. Estos límites son aplicables dependiendo del tipo de esfuerzo al que estará sujeto el elemento estructural donde se empleará el concreto.

[3] Requisitos opcionales: los especímenes para deformaciones longitudinales consistirán en prismas hechos y probados de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-173-ONNCCE-2010, *Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Determinación de la Variación en Longitud de Especímenes de Mortero de Cemento y de Concreto Endurecidos*, excepto el periodo de curado, que será de 14 días.

Quando el cambio de longitud de la mezcla de control (ΔL_{mc}) sea igual que 0,03% o mayor, se aplicará el límite correspondiente a la proporción del cambio de longitud de la mezcla de prueba respecto a la mezcla de control determinada mediante la siguiente expresión: $\rho_{np} = (\Delta L_{np} / \Delta L_{mc}) \times 100$, donde ΔL_{np} es el cambio de longitud de la mezcla de prueba. Si el cambio de longitud de la mezcla de control (ΔL_{mc}) es menor de 0,03%, se aplicará el límite correspondiente al incremento del cambio de longitud de la mezcla de prueba respecto a la mezcla de control determinado mediante la siguiente expresión: $I_{np} = \Delta L_{np} - \Delta L_{mc}$.

[4] Este requisito es aplicable sólo cuando el aditivo se utilice en un concreto con aire incluido que pueda estar expuesto a congelación y deshielo mientras se encuentre húmedo.

10.7.3.4 Calidad del concreto hidráulico

El concreto hidráulico es una combinación de cemento Pórtland, material pétreo, agua y aditivos. Es una mezcla que adquiere su rigidez y resistencia luego de un tiempo de fraguado (N-CMT-2-02-005/04, 2004).

A continuación, se presentan los tipos de concreto hidráulicos propuestos por la normativa IMT:

Concreto hidráulico - clase 1

Clasifica clase 1, todo concreto el cual cuente con una masa volumétrica de 1800-2200 kg/m³. Esto será determinado bajo la caracterización del concreto con incluso de aire (N-CMT-2-02-005/04, 2004). Resistencia final $f'c$ 24.5 megapascuales (250kg/cm² o 3555 psi) o mayor.

Concreto hidráulico - clase 2

Clasifica clase 1, todo concreto el cual cuente con una masa volumétrica de 1800-2200 kg/m³. Esto será determinado bajo la caracterización del concreto con incluso de aire (N-CMT-2-02-005/04, 2004).

Resistencia final $f'c$ menor a 24.5 megapascuales (250kg/cm² o 3555 psi).

Concreto hidráulico hecho en obra

Se realiza en campo, se hace uso de revolvedora, implementando una adecuada dosificación de volumen y masa de los materiales.

Concreto premezclado

Es una dosificación por masa programada desde planta, se requiere movilizar el material en camiones de volteo al lugar del proyecto.

Requisitos de calidad para el concreto hidráulico

- Componentes de los concretos hidráulicos
 - Cemento Pórtland
 - Agregados
 - Agua
 - Aditivos
- Revenimiento o slump

Tabla 116. Valores nominales y tolerancias para el revenimiento (N-CMT-2-02-005/04, 2004).

Unidades en cm		
Revenimiento	Tolerancia	Consistencia
Menor de 5 ^[1]	± 1,5	Baja
Entre 5 y 10 ^[2]	± 2,5	Media
Mayor de 10 ^[3]	± 3,5	Alta

[1] Para elementos colados en planta bajo vibración pesada. Pavimentos de calles, carreteras y aeropuertos; secciones macizas grandes.

[2] Para pavimentos, losas para construcciones, cajones de cimentación, cimentaciones, losas estructurales, muros de subestructuras, columnas reforzadas normales, trabes, concreto para bombeo reforzadas.

[3] Para secciones especialmente difíciles y congestionadas, en las cuales no puede emplearse la vibración. Revenimiento mayor de 18 cm no se recomienda para uso alguno, excepto cuando se utilicen aditivos.

- Temperatura

Tabla 117. Temperatura del concreto (N-CMT-2-02-005/04, 2004).

Temperatura ambiente	Unidades en grados Celsius (°C)	
	Temperatura mínima del concreto	
	Secciones delgadas y losas sobre pisos	Secciones gruesas y concreto masivo
7 a -1	16	10
-2 a -18	18	13
< de -18	21	16

En climas muy calientes se podrá enfrear los materiales para su aplicación de ser necesario.

- Para mejorar resistencia al congelamiento y deshielos tener presente la siguiente tabla

Tabla 118. Contenido de aire según el tamaño del agregado (N-CMT-2-02-005/04, 2004).

Tamaño nominal del agregado mm	Contenido total de aire recomendado según tipo de exposición, %		
	Ligero	Mediano	Severo
75	1,5	3,5	4,5
50	2,0	4,0	5,0
40	2,5	4,5	5,5
25	3,0	4,5	6,0
20	3,5	5,0	6,0
13	4,0	5,5	7,0
10	4,5	6,0	7,5

- Resistencia
 - Alcanzar la resistencia máxima en 28 días
 - Realizar un muestreo de los concretos, según tipo de obra serán el número de muestras.
 - Realizar pruebas de rebote o de dureza con esclerómetro
 - Si y solo si las muestras no adquieren la resistencia en proyectos de alto impacto será necesario sacar núcleo tomados in-situ para verificar la resistencia del concreto.
- Volumen
 - Masa de los materiales dividido masa volumétrica del concreto.

Requisitos de mezclado del concreto hidráulico

- **Concreto mezclado en planta y en obra**

Sea cual sea el mezclado en planta o en obra deberá cumplir con los requisitos propuestos por la normativa IMT.

Tabla 119. Requisitos de uniformidad de mezclado del concreto (N-CMT-2-02-005/04, 2004).

Prueba	Diferencia máxima permisible entre pruebas con muestras obtenidas de dos porciones diferentes de la descarga ^[1]
1.- Masa volumétrica, kg/m ³	15
2.- Contenido de aire, % del volumen del concreto determinado para concretos con aire incluido	1
3.- Revenimiento, cm:	
• Si el revenimiento promedio es menor de 6 cm	1,5
• Si el revenimiento promedio está comprendido entre 6 y 12 cm	2,5
• Si el revenimiento promedio es superior a 12 cm	3,5
4.- Cantidad de agregado grueso retenido en la malla N°4 (4,75 mm), % de la masa de la muestra	6
5.- Promedio de la resistencia a la compresión a 7 días de edad de cada muestra, basado en la resistencia promedio de todos los especímenes de prueba, % ^[2]	10 ^[3]

[1] Las dos muestras para efectuar las determinaciones de esta Tabla se obtendrán de dos porciones diferentes tomadas al principio y al final de la descarga. (Principio: del 10 al 15% del volumen. Final: del 85 al 90 % del volumen)

[2] No menos de tres cilindros serán elaborados y probados para cada muestra

[3] La aprobación tentativa de la mezcladora puede ser otorgada antes de obtener los resultados de la prueba de resistencia

- **Concreto mezclado en camión**

El camión revolvedor deberá garantizar una velocidad de mezclado de 10 a 12 revoluciones por minuto. Si ha de requerir un mezclado adicional se realiza entre 2 a 6 revoluciones por minuto.

Transporte

Se debe garantizar una aplicación no superior a 1.5 horas, de requerir más tiempo será necesario aplicar más retardantes.

10.8 En general la vías urbanas

En este punto se precisa que las consideraciones mencionadas anteriormente son exclusivas para carreteras en México, sin embargo, se deben suscitar unas consideraciones importantes en cuanto a vías urbanas se refiere éste documento.

Como primera medida se debe considerar que lo que puede ser relativamente bueno para una disciplina, puede que no lo sea para una vía urbana

o interurbana. Lo cual, hace que se reevalúe la forma como se debe proyectar una estructura multicapa en zonas urbanas.

Ahora bien, es importante mencionar que las zonas urbanas regularmente cuentan con comercio, negocios, viviendas, garajes y estacionamientos, entre muchas otras, que hacen que la dinámica de la vía funcione de manera diferente.

Por otro lado, es importante a mencionar que, sobre las vías urbanas especialmente en los centros de municipios y ciudades, existe un sinnúmero de subestructuras hidráulicas y sanitarias que frecuentemente requieren de una atención especial; para esto deben excavar una profundidad considerable hasta encontrar la tubería, y posteriormente intervenirla. El problema en este punto es, que al momento de realizar el procedimiento de llenado y compactado de material para dejar aparentemente normal la estructura y la superficie de rodamiento. No se está siendo un trabajo adecuado.

Se ha observado en diferentes municipios y ciudades que muchas veces la falencia de la superficie de rodamiento, es posterior a una intervención de reparación de daños por tuberías, en donde al momento de realizar el llenado, no se realiza de la forma adecuada y muchas veces estos materiales suelen estar propenso a hundimiento por falta de compactación y adición de material según el tipo de capa, lo cual implica que se presente un daño superficial al transitar sobre la vía. Si esto no es atendido de una manera adecuada, la estructura de pavimento se va afectar más y más hasta llegar a un daño permanente en el cual la única solución será la reconstrucción parcial o total de una vía.