

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



**PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE CÁLCULOS DE
DISEÑOS ESTRUCTURALES Y ESPECIFICACIONES DE
PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO**

**PRESENTADO POR:
JORGE ADALBERTO OLIVA ESCOBAR**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :
Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :
Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :
Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIO :
Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :
Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán

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

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

Título :

**PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE CÁLCULOS DE
DISEÑOS ESTRUCTURALES Y ESPECIFICACIONES DE
PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO**

Presentado por :

JORGE ADALBERTO OLIVA ESCOBAR

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :

INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

Docente Director Externo :

ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ

Docente Director Externo :

ING. CARLOS BIENVENIDO RAMÍREZ MORALES

San Salvador, Septiembre de 2005

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ

ING. CARLOS BIENVENIDO RAMÍREZ MORALES

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por todas las bendiciones recibidas al haber iluminado mi camino para el logro de las metas a lo largo de mi vida; a la Universidad de El Salvador por haberme formado y dado la oportunidad de crecer intelectualmente.

A las instituciones que me colaboraron desinteresadamente durante el desarrollo de mi trabajo de graduación, con información bibliográfica e informática actualizada, asesoría técnica e instalaciones. De forma muy especial, agradezco a las siguientes instituciones que en su debido momento me brindaron su valiosa colaboración:

- Universidad de El Salvador (UES).
- Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).

A los diferentes profesionales, que con su valiosa colaboración enriquecieron este trabajo brindándome su ayuda para la elaboración de este trabajo de graduación, especialmente a:

- Ingra. Lesly Emidalia Mendoza Mejía
- Ing. Carlos Antonio Quintanilla Rodríguez.
- Ing. Carlos Bienvenido Ramírez Morales
- Ing. José Ranulfo Cárcamo y Cárcamo.

- Ing. Ramón Fritz Alvarado Glower
- Ing. Luis Alberto Ardón

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

A LA INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

Por el tiempo, apoyo y orientación brindada a lo largo de este trabajo de graduación. Gracias por haberme guiado por el camino correcto para poder finalizar con bien este trabajo.

AL ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ

De manera especial, por ser el impulsor de esta investigación, por su experiencia y conocimiento que han llevado a la finalización con éxito este trabajo de graduación, dándome la guía y abriendo las puertas del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), creyendo en mi persona, depositando su confianza para la elaboración de este trabajo. Agradecimiento total por compartir su tiempo y conocimientos sin los cuales no se hubiera podido realizar este trabajo.

AL ING. CARLOS BIENVENIDO RAMÍREZ MORALES

Por sus valiosos conocimientos y aporte que han llevado a la culminación con éxito de este trabajo de graduación, por su paciencia hacia mi persona y brindándome su apoyo en todo momento muchas gracias.

JORGE OLIVA

DEDICATORIA

A DIOS: Por todo lo que ha hecho por mí hasta este momento y lo que falta por vivir.

A MIS PADRES: Rafael Y María Gloria (Q.D.D.G) por su apoyo, su sacrificio, su amor y especialmente a mi madre por estar ahí en los momentos mas difíciles y darme ánimos para continuar. Gracias por todo, con mucho cariño y respeto.

A MIS HERMANOS: Gracias por estar apoyándome en el transcurso del tiempo y creyendo en mí, especialmente a Rafael de Jesús Oliva Escobar, por estar en todo momento dándome su apoyo, confianza y seguridad por lo cual mil gracias.

A MIS AMIGOS: A los que de una u otra forma me ayudaron en la culminación de mi carrera. Por todos los momentos que me apoyaron y han creído en mi.

JORGE OLIVA.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Planteamiento del Problema.....	6
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo General.....	8
1.4.2 Objetivos Específicos.....	9
1.5 Alcances.....	10
1.6 Limitaciones.....	11
1.7 Justificación.....	12
CAPÍTULO II	
CONFIGURACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS	
DE ADOQUINES DE CONCRETO	13
2.1 Ventajas y Aplicaciones.....	18
2.2 Subrasante.....	29
2.3 Sub-Base y Base.....	31
2.4 Capa de Rodadura.....	36
2.4.1 Capa de Arena.....	36

2.4.2	Adoquines.....	37
2.4.3	Sello de Arena.....	47
2.5	Confinamiento.....	48
2.6	Sistemas y Estructuras de Drenajes.....	60
2.7	Otros Detalles Constructivos.....	70
2.8	Normativas y Especificaciones Técnicas para el Diseño Estructural y Geométrico de los Pavimentos de Adoquines de Concreto.....	78

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS CON ADOQUINES

	DE CONCRETO	95
3.1	Comportamiento Estructural.....	97
3.1.1	Aplicación del Método de Elementos Finitos.....	101
3.2	Variables y Criterios a Considerar en el Diseño.....	106
3.3	Funcionamiento.....	114
3.4	Tipos de Fallas.....	116
3.4.1	Fallas en el Diseño.....	117
3.4.2	Fallas de Construcción.....	120
3.4.3	Falla de los Materiales.....	123
3.5	Desempeño de la Superficie.....	124
3.6	Diseño Estructural de los Pavimentos de Adoquines de Concreto.....	126
3.6.1	Diseño por el Método ICPI.....	126

3.6.1.1	Parámetros de Diseño Específicos del Método ICPI.....	126
3.6.1.2	Ejemplo 1.....	143
3.6.1.3	Ejemplo 2.....	146
3.6.2	Diseño por el Método de la CCA.....	152
3.6.2.1	Parámetros de Diseño Específicos del Método CCA....	152
3.6.2.2	Ejemplo 3.....	162
3.6.2.3	Ejemplo 4.....	167
3.7	Presupuesto de Pavimentos de Adoquines de Concreto.....	172
3.7.1	Descripción de la Obra y Espesores de Diseño del Pavimento.....	172
3.7.2	Definición de los Recursos de Trabajo y de los Rendimientos.....	173
3.7.3	Calculo del Consumo de Materiales.....	173
3.7.4	Ejemplo de Costos Unitarios y Totales.....	175

CAPÍTULO IV

DISEÑO AUTOMATIZADO PARA LOS PAVIMENTOS

CON ADOQUINES DE CONCRETO 178

4.1	Breve Descripción del Desarrollo para el Diseño Estructural Automatizado para Pavimentos con Adoquines de Concreto.....	179
4.1.1	Descripción de Pantallas.....	182
4.2	Diseño Automatizado Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO.	201
4.2.1	Ejemplo 1.....	201

4.2.2	Ejemplo 2.....	206
4.3	Diseño Automatizado Fundamentado en el Método CCA-AASHTO.	211
4.3.1	Ejemplo 3.....	211
4.3.2	Ejemplo 4.....	215

CAPÍTULO V

PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN 221

5.1	Calibración del Programa.....	221
5.1.1	Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO.....	221
5.1.1	Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO.....	245

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 253

6.1	Conclusiones.....	253
6.2	Recomendaciones.....	258

BIBLIOGRAFÍA 261

ANEXOS

- ANEXO 1** NORMAS Y ESPECIFICACIONES.
- ANEXO 2** REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA LOS AGREGADOS GRUESOS SEGÚN “NORMA ASTM C33”.
- ANEXO 3** TABLA CÁLCULO DE ESAL’s.
- ANEXO 4** TABLAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
- ANEXO 5** MANUAL TECNICO “DISEÑO DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO”.
- ANEXO 6** MANUAL TECNICO DE “AYUDA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO”.
- ANEXO 7** EJEMPLO DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS PARA BASES Y SUB-BASES DE LA AUTOMATIZACIÓN.

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II: CONFIGURACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Fig. 2.A	Clasificación de Pavimentos	14
Fig. 2.1A	Colocación de Adoquines	20
Fig. 2.1B	Zonas Permanentes de Velocidad Restringida	22
Fig. 2.1C	Aplicaciones de los Pavimentos con Adoquines de Concreto	25
Fig. 2.1D	Aplicaciones de los Pavimentos con Adoquines de Concreto	26
Fig. 2.1E	Pavimentos en Minas de SURÁFRICA	27
Fig. 2.3A	Evaluación de Superficie de Pavimento con Adoquines de Concreto	35
Fig. 2.4A	Forma de Relleno de Bordos del Pavimento	39
Fig. 2.4B	Tipos de Arreglos	40
Fig. 2.4C	Figura Representativo de Patrones de Colocación	43
Fig. 2.4D	Patrones de Colocación para Zonas Peatonales, Tráfico Moderado y Ligero y Tráfico Pesado	45
Fig. 2.5A	Esquema de Confinamiento	48
Fig. 2.5B	Tipo de Confinamiento Externo	50
Fig. 2.5C	Tipo de Confinamiento Interno	51
Fig. 2.5D	Tipos de Confinamiento	52
Fig. 2.5E	Tipos de Confinamiento	55

Fig. 2.5F	Tapa de Registro	57
Fig. 2.5G	Alternativa de Solución para las Orillas del Confinamiento	59
Fig. 2.6A	Tipo de Drenaje Sumidero	60
Fig. 2.6B	Pendientes Recomendadas	65
Fig. 2.6C	Forma Detallada de Construcción de Pavimentos con Adoquines	69

CAPÍTULO III: DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Fig. 3.1A	Tipos de Comportamiento Estructural: Vertical, Rotacional y Horizontal	101
Fig. 3.2A	Procedimiento para Determinar el Espesor	113
Fig. 3.3A	Transferencia de Cargas en Pavimento de Adoquines	114
Fig. 3.3B	Transferencia de Cargas en Pavimento de Adoquines	115
Fig. 3.6.1A	Curvas de Diseño de Espesores, Base de Material Granular	140
Fig. 3.6.1B	Curvas de Diseño de Espesores, Base Estabilizada con Asfalto	141
Fig. 3.6.1C	Curvas de Diseño de Espesores, Base Estabilizada con Cemento	142
Fig. 3.6.1D	Sección Transversal del Pavimento	145
Fig. 3.6.1E	Sección Transversal del Pavimento	151
Fig. 3.6.2A	Forma de Colocación de Adoquines Rectangulares	153
Fig. 3.6.2B	Influencia Desfavorable Relativa de las Diferentes Cargas Axiales	154

Fig. 3.6.2C	Relación %CBR y Sub-base	157
Fig. 3.6.2D	Forma de Calculo de Bases	161
Fig. 3.6.2E	Influencia Desfavorable Relativa de las Diferentes Cargas Axiales	162
Fig. 3.6.2F	Relación %CBR y Sub-base	164
Fig. 3.6.2G	Forma de Calculo de Bases	165
Fig. 3.6.2H	Sección Transversal del Pavimento	166
Fig. 3.6.2I	Influencia Desfavorable Relativa de las Diferentes Cargas Axiales	168
Fig. 3.6.2J	Forma de Calculo de Bases	170
Fig. 3.6.2K	Sección Transversal del Pavimento	171

CAPÍTULO IV: DISEÑO AUTOMATIZADO PARA LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Fig. 4.1A	Pantalla Inicial	182
Fig. 4.2B	Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO	183
Fig. 4.2C	Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO	184
Fig. 4.1D	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	196
Fig. 4.2.1A	Pantalla Datos de Diseño	203
Fig. 4.2.1B	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	203
Fig. 4.2.1C	Resumen de Cálculo	204
Fig. 4.2.1D	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento Cuando Existe Sub-Base	204
Fig. 4.2.1E	Resumen de Cálculo Cuando Existe Sub-Base	205

Fig. 4.2.1F	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	205
Fig. 4.2.1G	Resumen de Cálculo	206
Fig. 4.2.2A	Pantalla Datos de Diseño	208
Fig. 4.2.2B	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	208
Fig. 4.2.2C	Resumen de Cálculo	209
Fig. 4.2.2D	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	209
Fig. 4.2.2E	Resumen de Cálculo	210
Fig. 4.2.2F	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	210
Fig. 4.2.2G	Resumen de Cálculo	211
Fig. 4.3.1A	Pantalla Datos de Diseño	213
Fig. 4.3.1B	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	213
Fig. 4.3.1C	Resumen de Cálculo	214
Fig. 4.3.1D	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	214
Fig. 4.3.1E	Resumen de Cálculo	215
Fig. 4.3.2A	Pantalla Datos de Diseño	217
Fig. 4.3.2B	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	217
Fig. 4.3.2C	Resumen de Cálculo	218
Fig. 4.3.2D	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	218
Fig. 4.3.2E	Resumen de Cálculo	219
Fig. 4.3.2F	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	219
Fig. 4.3.2G	Resumen de Cálculo	220

CAPÍTULO V: PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Fig. 5.1.1A	Pantalla Datos de Diseño	225
Fig. 5.1.1B	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	226
Fig. 5.1.1C	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	228
Fig. 5.1.1D	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	231
Fig. 5.1.1E	Pantalla Datos de Diseño	237
Fig. 5.1.1F	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	238
Fig. 5.1.1G	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento Alternativa de Solución	240
Fig. 5.1.1H	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	243
Fig. 5.1.2A	Pantalla Datos de Diseño	249
Fig. 5.1.2B	Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento	250

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II: CONFIGURACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Tabla 2.3A	Requisitos Básicos de Base de Suelo Cemento	33
Tabla 2.3B	Requisitos Básicos de Bases Granulares	34
Tabla 2.4A	Granulometría para Capa de Arena	37
Tabla 2.6A	Tiempo de Drenajes	68
Tabla 2.6B	Coeficiente de Drenaje para Pavimentos Flexibles	68
Tabla 2.7A	Composición del Concreto para Estructuras Menores	73
Tabla 2.8A	Granulometría para Fabricación de Adoquines de Concreto	87

CAPÍTULO III: DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Tabla 3.2A	Factores de Crecimiento de Tránsito	109
Tabla 3.2B	Factor de Sentido	111
Tabla 3.2C	Factor de Carril	111
Tabla 3.6.1A	Factores de Daño de Eje de Carga	129
Tabla 3.6.1B	Diseño Típico de ESAL's	130

Tabla 3.6.1C	Resistencia de la Subrasante como una Función de SUCS, del Tipo de Suelo	132
Tabla 3.6.1D	Resistencia de la Subrasante como una Función de AASHTO, del Tipo de Suelo	133
Tabla 3.6.1E	Opciones Ambientales y de Desagüe para las Características de la Subrasante	133
Tabla 3.6.1F	Gradación para la Cama de Arena	134
Tabla 3.6.1G	Solución de Ejemplo 1	144
Tabla 3.6.1H	Censo Vehicular del Tipo de Tráfico	146
Tabla 3.6.1I	Calculo de ESAL's	148
Tabla 3.6.1J	Solución de Ejemplo 2	150
Tabla 3.6.2A	Espesores de Sub-Base	158
Tabla 3.6.2B	Resumen de Datos	164
Tabla 3.6.2C	Resumen de Datos	164
Tabla 3.6.2D	Resumen de Datos	168
Tabla 3.6.2E	Resumen de Datos	169
Tabla 3.7A	Tabla Representativa de Cálculo de Costos	177

CAPÍTULO IV: DISEÑO AUTOMATIZADO PARA LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Tabla 4.1A	Equivalencia entre Tipos de Suelos	188
Tabla 4.1B	Tipos de Vehículos	191
Tabla 4.1C	Factor de Carril	193
Tabla 4.1D	Factor de Sentido	193

Tabla 4.1E	Módulo Efectivo de Resiliencia de la Subrasante para Pavimentos Flexibles en Función del criterio de Servicialidad	200
Tabla 4.2A	Censo Vehicular	207
Tabla 4.3A	Resumen de datos	212
Tabla 4.3B	Resumen de datos	212
Tabla 4.3C	Resumen de datos	216
Tabla 4.3D	Resumen de datos	216

CAPÍTULO V: PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Tabla 5.1.1A	Censo Vehicular	222
Tabla 5.1.1B	Calculo de ESAL's	224
Tabla 5.1.1C	Censo Vehicular	234
Tabla 5.1.1D	Calculo de ESAL's	236
Tabla 5.1.2A	Censo Vehicular	246
Tabla 5.1.2B	Calculo de ESAL's	248

RESUMEN

Antiguamente se trató de solucionar problemas convencionales para obtener un estatus de vida más adecuado de acuerdo a las exigencias de cada sociedad. Dada la importancia de obtener tipos de pavimentos que sean competitivos en nuestro medio, se hace necesario explorar propuestas diferentes; haciendo énfasis en los procesos que sean técnica y económicamente factibles para llevar a cabo su realización. Por lo que el presente trabajo de graduación se enfoca al estudio de una **PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE CÁLCULOS DE DISEÑOS ESTRUCTURALES Y ESPECIFICACIONES DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO**, considerando que es una alternativa favorable para diferentes tipos de tráfico vehiculares; dividiéndose este trabajo en seis capítulos, siendo el capítulo I, "GENERALIDADES", que no es más el estudio del anteproyecto, para la realización de este trabajo de graduación.

En el capítulo II, conlleva a la CONFIGURACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO; donde determinamos los elementos que constituyen el pavimento, sus ventajas y aplicaciones, las normas a utilizar como sus respectivas especificaciones para el diseño estructural y geométrico.

El capítulo III, establece el DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO, y obtenemos el comportamiento estructural, funcionamiento, los tipos de fallas, etc, pero lo primordial es el diseño manual por los métodos del ICPI por sus siglas en inglés (Interlocking Concrete Pavement Institute), y CCA; por sus siglas en

ingles (Cement and Concrete Association), y analizándolos por medio de los lineamientos que estos organismos proporcionan, cumpliéndolos en su totalidad. Consecuentemente después de un diseño manual, en el capítulo IV se proporciona el DISEÑO AUTOMATIZADO PARA LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO, donde se describe el uso del programa DPACWin versión 1.0, y los tipos de pantallas que el usuario obtendrá la hora de la ejecución del programa.

En el capítulo V, PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN se analiza la determinación y funcionalidad que tendrá el programa a la hora de realizar los diseños de pavimentos con adoquines de concreto; y dependerá de que los resultados obtenidos se han congruentes y lógicos. Finalizando con el capítulo VI con las CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos se ha tratado de solucionar problemas convencionales para obtener un estatus de vida más adecuado de acuerdo a las exigencias de cada sociedad, por lo que un elemento predominante en el desarrollo de cada civilización han sido los caminos y su forma de desarrollo en el transcurso del tiempo.

Dada la importancia de obtener tipos de pavimentos que sean competitivos en nuestro medio de acuerdo a los diferentes tipos de tráfico que existen, se hace necesario explorar de una forma exhaustiva, propuestas para un mejoramiento pertinente; haciendo énfasis en los procesos que sean técnica y económicamente factibles para llevar a cabo su realización. Por lo que el presente trabajo de graduación se enfoca al estudio de una propuesta automatizada en el diseño de cálculos de pavimentos con adoquines de concreto y sus respectivas especificaciones, considerando que es una alternativa favorable para diferentes tipos de tráficos vehiculares, tales como: trafico ligero, mediano y pesado, considerando los métodos de diseño de los organismos especializados tales como; el ICPI; por sus siglas en ingles

(Interlocking Concrete Pavement Institute), CCA; por sus siglas en inglés (Cement and Concrete Association); por lo que se presentarán aspectos que se deben de tener en cuenta para el diseño, construcción, mantenimiento, reparación, etc.; de los pavimentos con adoquines de concreto.

Al no existir hasta el momento normas específicas en nuestro país para la realización de estos pavimentos, su proyecto y ejecución ha venido realizándose en base a la experiencia adquirida en cada caso, por lo que se pretende automatizar los métodos manuales de diseño por los organismos antes mencionados, con una intención fundamentalmente práctica para el entendimiento de los profesionales que poseen conocimientos en el área de pavimentos.

1.2 ANTECEDENTES

Las grandes y pequeñas civilizaciones en el transcurso del tiempo han desarrollado pavimentos de una u otra manera, por lo que el adoquín es tan antiguo como la humanidad misma, anteriormente eran de piedra tallada o natural; investigaciones dan a conocer que en el Imperio Romano ya se tenían claros los conceptos de rodadura, bases, confinamiento y drenajes, inicialmente se trabajaba con piedra natural, por lo que la rodadura pasó de piedra natural a piedra tallada, para reducir los tamaños de juntas, el ruido y la vibración; se puede mencionar que cerca del 3000 A.C., se construyeron pisos de piedra en Creta, para el año 500 A.C., el Imperio Romano había desarrollado pavimentos con bases granulares estabilizadas y rodadura de piedra, posteriormente se paso a la piedra tallada; en India 300 A.C., se utilizaron pavimentos segmentados con piedra natural. Estos pavimentos segmentados fueron desarrollados por civilizaciones de:

- ❖ Europa: Grecia y Roma.
- ❖ Asia: China.
- ❖ América : Aztecas, Mayas, Incas
- ❖ Y Pequeñas Civilizaciones.

Para una mayor comprensión de la evolución con respecto al tiempo de los adoquines, se da a continuación, el desarrollo en la historia de los diferentes tipos de adoquines que han existido.

- **Adoquines de Piedra:**

Las civilizaciones mencionadas observaron que al labrar las piedras se tenía un mejor ajuste entre ellas y aparece el concepto de adoquín, que es una piedra labrada en forma de prisma rectangular para empedrado u otros usos, la dificultad para dar abasto con los adoquines de piedra al proceso de urbanización por la revolución industrial a finales del siglo XVIII llevo a que se desarrollaran otros tipos de pavimentos, por lo que a mediados XIX aparecieron los pavimentos de asfalto y los de concreto en el Reino Unido; aunque el auge de los adoquines de piedra lo obtuvieron en el siglo XIX.

- **Adoquines de Arcilla:**

Loa Adoquines de Arcilla se comenzaron a construir en Alemania y Países Bajos a principios del siglo XIX; son unidades resistentes al desgaste para peatones, y los de piedra, se utilizaron para vehículos con herraduras y llantas metálicas, por lo que soportaban alta resistencia al desgaste. Para el uso de llantas de caucho se utilizó adoquines de arcilla en las vías por ser menos costoso que los adoquines de piedra.

- **Adoquines de Madera y Otros:**

A mediados del siglo XIX el Reino Unido patentó los adoquines de madera para la reducción de ruido, pero el mayor deslizamiento de las llantas de caucho limitó su desarrollo, fueron usados en Nueva York en puentes, en la Habana para reducción de ruido de los vehículos y en Inglaterra para sistemas de tranvías hasta mediados del siglo XX. Los adoquines de caucho como los de hierro y asfalto se construyeron para un mercado pequeño.

- **Adoquín de Concreto:**

Fueron desarrollados inicialmente por Alemania y los Países Bajos por la falta de adoquines de ladrillo de arcilla y el desarrollo de equipos que permitían fabricar un gran número de unidades, de igual dimensión y calidad controlada, rápida, fácil y eficiente, utilizando concreto como material, a finales del siglo XIX se fabricaron en Alemania los primeros adoquines de concreto, a mediados del siglo XX se construyó la vía experimental con adoquines de concreto para tráfico alto, en los Países Bajos se reemplazó los adoquines de arcilla (ladrillos) por los de concreto rectangulares como ladrillos, su mayor auge fue desarrollado después de la 2ª Guerra Mundial en Alemania y los Países Bajos, donde se determinó que el adoquín de concreto es una pieza prefabricada de concreto macizo, con forma de prisma recto que le permite conformar una superficie completa para pavimentos /NTC 2017.

En los años de la década de 1960 se introdujeron en Centro América, Sudamérica y Sudáfrica; 1973 en Estado Unidos y Canadá; 1974 en Australia, Nueva Zelanda, Japón y Colombia; en 1977 en el Reino Unido, y en la década de 1980 se introdujeron en otros países de América, Asia y África.

Es necesario mencionar que las especificaciones técnicas para el desarrollo de los pavimentos de estos tipos de adoquines, se han ido mejorando con relación a la experiencia que se ha tenido en el transcurso del tiempo.

En El Salvador, se construyen pavimentos con adoquines de concreto desde los años de 1960, un incremento de estos se estableció a mediados de la década de 1970

e inicio de la década de 1980 en colonias, barrios, parques, etc.; en los diferentes departamentos del país; sin embargo se puede mencionar que estos pavimentos con adoquines de concreto en su mayoría presentaron deficiencias estructurales a corto plazo, las causas son diversas, entre las más comunes se encuentran; diseños estructurales inadecuados, deficiencias en la calidad de los adoquines y vicios en procesos constructivo; pero además podemos mencionar que existen algunos casos de buen comportamiento a través del tiempo como por ejemplo; la calle Roosevelt en Soyapango; que fue construida hace más de 20 años y presenta un comportamiento excelente a pesar del tipo de tráfico que circula por dicha arteria ya que a diario soporta un promedio de 3000 vehículos, incluyendo tráfico pesado.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un pavimento en su manera más comprensible es una estructura de capas de diferentes materiales, colocada sobre el suelo, que permite la circulación de personas, animales y vehículos, en todo clima, de manera segura, cómoda y económica, por lo que su desempeño se mide por su capacidad de mantener las condiciones de servicio para las cuales ha sido diseñado y para el tráfico que tendrá que soportar.

Existen diferentes tipos de pavimentos; pero en este trabajo de graduación se enfocará a los pavimentos con adoquines de concreto.

Desde el punto de vista estructural, los pavimentos con adoquines de concreto constituyen un caso intermedio entre los pavimentos rígidos y los pavimentos flexibles. Refiriéndose esencialmente a los pavimentos flexibles, se debe considerar las propiedades de distribución de tensiones y desarrollo de deformaciones, debido a que la falla esencial de los pavimentos con adoquines de concreto es la acumulación de deformaciones permanentes (ahuellamiento). Por lo que se le debe mostrar un mayor interés a los tipos de deformaciones que se podrían presentar.

En nuestro país se deberían de mejorar los diseños de estructuras de pavimentos con adoquines de concreto ya que se utilizan generalmente secciones estructurales adaptados a todos los proyectos, subdimensionado o sobredimensionando en la mayoría de los casos; las especificaciones con las que se cuentan posiblemente no se aplican con la responsabilidad profesional que se debería tener, para el diseño de los elementos que conforman el pavimento de adoquines de concreto; como los son la subrasante, bases granulares o bases de cemento, etc., según sea el caso, sub-base, capa de arena dependiendo de la base o sub-base, adoquines, sello de arena, su confinamiento y drenajes; por lo que es necesario reunir toda la información vigente relativa a los adoquines de concreto, especificaciones, diseño estructural, mantenimiento, etc; actualmente existen metodologías de diseño estructural que se realizan manualmente por organismos especializados tales como:

ICPI: Por sus siglas en ingles (Interlocking Concrete Pavement Institute) que en español sería (Instituto del Pavimento del adoquín de Concreto)

CCA: Por sus siglas en ingles (Cement and Concrete Association) que en español sería (Asociación del Cemento y el Concreto)

Por lo antes expuesto el presente trabajo de graduación trata sobre una **PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE CÁLCULOS DE DISEÑOS ESTRUCTURALES Y ESPECIFICACIONES DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO**. La automatización de los procedimientos de diseño manual y especificaciones propuestos por las instituciones especializadas mencionadas anteriormente, será posible a través de la utilización de un lenguaje de programación de computadora. Se propone la utilización del Lenguaje Visual Basic versión 6.0 en español para la automatización de los diseños manuales y una versión de Adobe Acrobat 6.0 o mayor para las especificaciones correspondientes, puesto que reúnen las características necesarias para el desarrollo del trabajo de graduación.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- ❖ Proponer a los profesionales que posean conocimientos en el área de pavimentos, una herramienta automatizada de cálculos de diseños estructurales y especificaciones de pavimentos con adoquines de concreto; que le permita agilizar el procedimiento de diseño, pero que además recopile y documente las respectivas especificaciones técnicas.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Recopilar y acoplar las especificaciones técnicas, de los pavimentos con adoquines de concreto para los procesos constructivos y tomar en consideración su aplicabilidad en nuestro país.
- ❖ Facilitar las normas y especificaciones técnicas necesarias para el control de calidad de los distintos materiales que imperan en los métodos de diseño de pavimentos con adoquines de concreto.
- ❖ Proporcionar recomendaciones para el diseño geométrico de los pavimentos con adoquines de concreto que determinarán los niveles y perfiles, los sistemas y las estructuras de drenaje, el confinamiento y el patrón de colocación, su mantenimiento y detalles constructivos.
- ❖ Recopilar y documentar los procedimientos manuales de diseño de pavimentos con adoquines de concreto propuestos por ICPI y CCA.
- ❖ Automatizar los procedimientos manuales de cálculo de diseño estructural para espesores de pavimentos con adoquines de concreto y sus respectivas especificaciones; propuestos por ICPI Y CCA. Sugiriendo el Lenguaje de Programación Visual Basic 6.0 en español para la automatización de los diseños manuales y el Programa Adobe Acrobat versión 6.0 o mayor para las respectivas especificaciones.

1.5 ALCANCES

- ❖ Recopilación de las especificaciones técnicas vigentes de acuerdo a las normas ASTM por sus siglas en ingles (American Society of Testing Materials), AASHTO por sus siglas en ingles (American Association of State Highway and Transportation Officials), ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas).
- ❖ Obtener un programa computacional en Visual Basic 6.0 en español que determine el diseño de pavimentos con adoquines de concreto, con su respectivo manual de aprendizaje.
- ❖ Proporcionar los detalles típicos constructivos referente a los pavimentos con adoquines de concreto.
- ❖ La automatización se fundamentará en los métodos manuales de diseño estructural de pavimentos con adoquines de concreto propuestos por el ICPI y CCA, para los diferentes tipos de tráfico:
 - Tráfico Vehicular Ligero.
 - Trafico Vehicular Mediano
 - Tráfico Vehicular Pesado.
- ❖ La automatización se basará en los Programas Visual Basic 6.0 y Adobe Acrobat 6.0 o mayor, con su respetivo manual de aprendizaje.

1.6 LIMITACIONES

- ❖ Adaptar normas y especificaciones necesarias de la ASTM, AASHTO, ICONTEC; que rigen los diseños de pavimentos con adoquines de concreto para El Salvador, ya que no se cuentan con ellas.
- ❖ Para el desarrollo del diseño estructural de pavimentos con adoquines de concreto, se propone estudiar los métodos manuales de 2 organismos especializados en este tema, como lo son: ICPI y CCA presentando además su automatización en el programa computacional Visual Basic 6.0 en español.
- ❖ El desarrollo del diseño de pavimentos de adoquines se enfocará:
 - Tráfico Vehicular Ligero.
 - Tráfico Vehicular Mediano
 - Tráfico Vehicular Pesado.
- ❖ En el presente trabajo de investigación no se realizarán pruebas de laboratorio, solamente se analizarán y proporcionarán las normas y especificaciones necesarias, ya que el enfoque se basa en una propuesta de automatización de los 2 métodos de diseño de pavimentos con adoquines de concreto que nos proporciona el ICPI y CCA.
- ❖ El diseño estructural del pavimento se basará en los lineamientos proporcionados por ICPI y CCA; para adoptarlo a los criterios particulares de cualquier proyecto.

1.7 JUSTIFICACIÓN

En El Salvador se han construido y se continúan construyendo pavimentos con adoquines de concreto aplicando las técnicas y diseños manuales de forma parcial, lo que lleva a obtener resultados sin el éxito esperado, debido en parte a la no-aplicación de las técnicas en forma adecuada.

Especificar las causas de los resultados es difícil, pues algunas veces el diseño estructural del pavimento es el adecuado, realizado de forma manual, pero la calidad del adoquín es deficiente, o por el contrario la calidad es buena, pero los vicios en el proceso constructivo hacen que los resultados no sean satisfactorios, esto se origina por la poca experiencia, así como la falta de conocimiento de los profesionales en el área de pavimentos con adoquines de concreto; por lo que al no existir hasta el momento un proceso lógico de seguimiento en nuestro país de los métodos de diseño estructural para pavimentos con adoquines de concreto y sus respectivas especificaciones se hace necesario la creación de un programa computacional para poder realizar su automatización, y proporcionar sus respectivas especificaciones, para lograr su óptima servicialidad y durabilidad.

CAPITULO II

CONFIGURACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Un pavimento es una estructura, constituida generalmente por una capa de rodamiento, apoyada sobre una capa de material granular denominado base. A su vez dicha capa descansa firme y coherentemente en la capa de material granular denominado sub-base; capas que en su conjunto representan el vocablo PAVIMENTO.

Tipos de pavimentos

Dependiendo de la capa de rodamiento, los pavimentos se clasifican según figura 2.A en:

- ❖ Tipo rígido. Aquellos pavimentos construidos con losas de concreto hidráulico.
- ❖ Tipo flexible. Los construidos utilizando un producto asfáltico.
- ❖ Tipo semirígidos. Los construidos por una capa de base o sub-base rígidamente estabilizada con cemento Pórtland.
- ❖ Tipo especial. Son los pavimentos construidos con adoquín de cemento o de piedra debidamente acomodada, y que constituyen un tipo de pavimento flexible o semirígidos



Figura 2.A

Clasificación de Pavimentos

Los pavimentos con adoquines de concreto poseen capas o elementos que lo conforman y que se subdividen en: Subrasante, Base y Sub-base, Capa de Rodadura, Confinamiento y Drenaje; debido al aumento de fuerzas, ya sean estas verticales u horizontales, de impacto, etc debido al tráfico, estos elementos deben de contar con materiales que cumplan con los requerimientos necesarios para su buen funcionamiento, de acuerdo con las especificaciones y normas ASTM, AASHTO e ICONTEC. Existen algunas diferencias según el tipo de pavimento flexible o rígido, por

lo que nos enfocaremos al estudio de los pavimentos flexibles y semirígidos, donde se pueden incluir los pavimentos con adoquines de concreto.

En este capítulo se estudian con respecto a este tipo de pavimentos sus ventajas y aplicaciones sobre los otros tipos de pavimentos como de asfalto y concreto, las cuales podemos mencionar:

- a) Ventajas debido al proceso de construcción
- b) Al manejo del pavimento
- c) Apariencia
- d) Seguridad
- e) Durabilidad
- f) Costo de construcción

Observando que debido a esta variedad de ventajas el ámbito de aplicación de este tipo de pavimentos es amplio y permite el diseño diversificado de la estructura del pavimento según al tipo de solicitaciones que soportará.

Así mismo, se proporcionan los requisitos necesarios para el diseño geométrico de este tipo de pavimento, ya que se determinan los niveles y perfiles, los sistemas y estructuras de drenaje, tipos de confinamiento, patrones de colocación y otros detalles constructivos a los cuales podría someterse el pavimento.

La subrasante es el primer elemento de estudio para el diseño de cualquier tipo de pavimento, ya que es el terreno sobre el cual irán las demás capas; en el análisis de

la subrasante se estudian las alternativas de costos y funcionalidad del pavimento por medio de cortes y rellenos que se realizarán al terreno natural, así como las pendientes que llevara el pavimento y sus estructuras de drenajes, sobre este elemento se colocara la base o sub-base, según sea el caso, pues la base constituye el elemento importante de la estructura de los pavimentos con adoquines de concreto, y estas pueden ser: granulares, suelo cemento, asfalto, cemento, macadán, material bituminoso, etc por lo que en las consideraciones de diseño se debe de tener cuidado a la hora de su evaluación; sin embargo la sub-base se puede determinar como una base de menor calidad ya que se encuentra más alejada de la carga vehicular y se le atribuye a este elemento como una función de drenaje, posteriormente después de la base se procede a colocar la capa de rodadura que comprende la capa de arena, adoquines y finalmente el sellado de las juntas.

La función de la capa de arena es servir como base de apoyo para los adoquines teniendo cuidado de llevar una nivelación correspondiente respecto a la base y subrasante, el espesor de este elemento influye en la funcionalidad del pavimento de adoquines de concreto, consecuentemente los adoquines a utilizar deben de cumplir con las especificaciones y normas para el tipo de tráfico para el cual serán expuesto, estos deben de cumplir con aspectos de funcionalidad, tales como rodadura cómoda y segura, y de estética, seguidamente después de la colocación de los adoquines se procede a llenar las juntas con arena fina para constituir el pavimento como un todo ya que su función es de sellante, la arena puede ser la misma usada para la capa de arena pero cribada por el tamiz N° 8 y no debe ser mayor de 2.5mm. Para que el pavimento se comporte como un todo es necesario la construcción del confinamiento,

lo cual le da al pavimento la estabilidad necesaria para soportar las cargas vehiculares, existen dos tipos de confinamiento los cuales son: el externo; que es el que rodea el pavimento; y el interno; que es el que rodea la estructura que se encuentra dentro del confinamiento externo.

Conociendo de antemano que un buen diseño de pavimentos depende mucho de los sistemas de drenaje, para los pavimentos con adoquines de concreto es de tener cuidado a la hora de analizar la infiltración existente en el área de diseño del pavimento, así mismo las condiciones ambientales, las pendientes ya sean estas longitudinales o transversales, por lo que el estudio en los sistemas de drenajes conllevan al análisis de drenajes superficiales y subterráneos, el diseñador deberá de considerar todos las eventualidades que se podrían dar a lo largo de la vida útil del pavimento.

Las especificaciones técnicas proporcionadas dan los requisitos básicos para este tipo de pavimentos, haciendo referencia a las normas AASHTO, ASTM, ICONTEC, las cuales abarcan desde los materiales en la fabricación de los adoquines, los diferentes elementos de construcción del pavimento hasta el relleno de las juntas, en la fase terminal.

2.1 VENTAJAS Y APLICACIONES.

Al no existir hasta el momento normas específicas para la realización de estos pavimentos, su proyecto y ejecución se ha venido desarrollando en base a la experiencia adquirida en cada caso, por consiguiente de acuerdo a esto se determinan sus ventajas y aplicaciones de estos pavimentos:

VENTAJAS:

Una pregunta primordial es ¿que ventajas ofrecen los pavimentos con adoquines de concreto?

Los pavimentos con adoquines de concreto poseen características particulares que se traducen en ventajas debido a la diversidad de formas existentes en el mercado, textura, color, etc.; sobre los otros tipos de pavimentos.

a) Ventajas debidas al proceso de construcción:

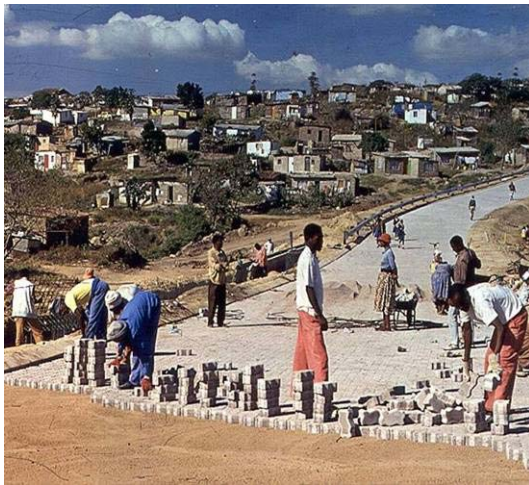
Los adoquines que conforman la capa de rodadura son elementos prefabricados que llegan listos al lugar de la obra; por lo tanto su calidad se controla en fábrica. Cabe mencionar que su fabricación se da por vibrocompresión de concretos semisecos, esto permite conseguir características de regularidad tanto en la resistencia mecánica como de acabado. Sin embargo existe el adoquín fabricado artesanalmente, su resistencia mecánica como el acabado no cumplen con las normas o especificaciones técnicas a

que podrían estar sometidos; por lo que depende del proyectista realizar sus respectivas pruebas para su aprobación.

Los pavimentos de adoquines son de muy fácil terminado, donde no intervienen procesos térmicos ni químicos, ni períodos de espera. Ya que el proceso constructivo es sencillo, toda la estructura del pavimento se puede construir y dar el servicio en un mismo día, por lo cual las interrupciones en el tráfico son mínimas y se logran economías en tiempo, equipos, materiales, costos financieros y sociales. La construcción de la capa de rodadura involucra, además de la colocación de los adoquines, la capa de arena el llenado de las juntas y la compactación de la capa terminada, además, como se trabaja con pequeñas zonas a la vez, cualquier área se puede adoquinar por etapas con lo cual no se altera ninguna economía de escala, cosa que sí ocurriría con otros tipos de pavimentos; por lo tanto se puede adoquinar en varias etapas, a medida que se vayan produciendo las piezas o se obtengan los recursos. Todos los procesos que intervienen en la construcción son sencillos y requieren de la utilización de poca maquinaria.

Como el trabajo de colocación de las piezas generalmente se da de forma artesanal, aunque en ocasiones se puede utilizar equipo industrializado para su respectiva colocación (ver figura 2.1A); artesanalmente se utiliza mano de obra, que, según sea el programa de ejecución del proceso constructivo, se puede multiplicar al crear varios frentes de trabajo simultáneamente. Debido a su facilidad de montaje; lo pueden realizar personas que no sean especialistas en su colocación. Determinando que los adoquines son piezas pequeñas que no están unidas rigidamente unas con

otras, el pavimento de adoquines de concreto se adapta a cualquier variación en el alineamiento horizontal o vertical de la vía sin necesidad de elaborar juntas de construcción.



Colocación Manual



Colocación Mecanizada

Figura 2.1A

Colocación de Adoquines

b) Ventajas debidas al manejo del pavimento:

La capa de rodadura es quizá el elemento más costoso de cualquier pavimento. Cuando se presenta una falla en los pavimentos o cuando hay que instalar o reparar las redes de servicios que están cubiertos por la vía, es indispensable retirar, y con esto destruir, las distintas capas del pavimento. Teniendo un pavimento de adoquines, la capa de rodadura es recuperable, ya que no van pegados unos con otros; se pueden retirar y almacenar ordenadamente para reutilizarlos posteriormente, en el mismo o en otro lugar, para la construcción de un nuevo pavimento. Esta propiedad es la que hace que el pavimento de adoquines sea especial, pues se puede reparar fácilmente y por lo

tanto resulta ideal para pavimentar aquellas vías que aún no tengan completas las redes de servicios.

c) Ventajas debidas a su apariencia:

Por la conformación de muchas piezas iguales, el pavimento de adoquines induce un cierto sentido de orden en la vía. La existencia de las juntas entre los adoquines elimina la regularidad que presenta la superficie continua de los otros pavimentos.

La fabricación de los adoquines se puede dar en diferentes colores, agregándoles colorantes minerales a la mezcla y utilizando cemento gris o cemento blanco. Con algunos adoquines de color diferente al del resto, se pueden incorporar en la superficie del pavimento señales y demarcaciones tan duraderas como este, pero que a la vez pueden ser removidas fácilmente; se pueden colorear zonas para distinguir su utilización o incorporar diseños decorativos.

d) Ventajas relativas a la seguridad:

Los pavimentos con adoquines de concreto se facilitan para incorporar señales, o se pueden colocar en medio de otros pavimentos sirviendo como zonas de aviso para disminución de velocidad o zonas permanentes de velocidad restringida (figura 2.1B). Al mismo tiempo, por su rugosidad, los pavimentos de adoquines tienen una distancia de frenada menor que otros tipos de pavimentos, lo que se traduce en seguridad tanto para las peatones como para quienes se desplazan en los vehículos.



Figura 2.1B

Zonas Permanentes de Velocidad Restringida

e) Ventajas relativas a la durabilidad:

La calidad que se le exige a las adoquines de concreto garantiza su durabilidad, de manera que sean resistentes a la abrasión del tráfico de llantas, a la acción de la intemperie y al derrame de combustibles y aceites, lo que los hace ideales para la pavimentación de estacionamientos, estaciones de servicio, patios industriales, etc.

Un adoquín, como tal, tiene una vida casi ilimitada. Aunque la estructura del pavimento puede sufrir algún deterioro después de estar en servicio por 20 ó más años, con una reparación menor el pavimento de adoquines puede alcanzar una vida útil de 40 años y los adoquines estar todavía en condiciones de servir por muchos más.

f) Ventajas relativas al costo de construcción:

La construcción de un pavimento de adoquines no requiere de mano de obra especializada.

Para la fabricación de los adoquines y para la compactación del pavimento se utiliza maquinaria de la cual existe producción nacional de buena calidad y rendimiento. Los materiales que se requieren para su construcción se consiguen en cualquier lugar del país y no consume derivados del petróleo.

La competencia con otros tipos de pavimentos, desde el punto de vista de los costos, se debe plantear siempre entre alternativas equivalentes, para unas determinadas condiciones locales de precios y disponibilidad de materiales y servicios. Nunca se debe generalizar.

El pavimento de adoquines de concreto, en la ciudad, resulta especialmente competitivo en vías de tráfico liviano y medio, donde pueden tener un costo inicial similar o inferior al de un pavimento equivalente de asfalto, aún sin tener en cuenta las ventajas adicionales ya mencionadas para el pavimento de adoquines; en un centro urbano pequeño o en zonas semirurales y rurales su costo es por lo general muy inferior al de otros tipos de pavimentos.

Toda labor, desde la fabricación de los adoquines hasta el terminado del pavimento, puede incorporar gran cantidad de recursos comunitarios y mano de obra

local. Esto hace que sea realmente económica la labor en planes de acción comunal o patrocinados por entidades de fomento.

APLICACIONES:

Los pavimentos con adoquines de concreto tienen un rango de aplicación casi tan amplio como el de los otros tipos de pavimentos. Es por ello que su desempeño y versatilidad es extremadamente amplio en donde lo predominante es el **ámbito arquitectónico**, por la variedad de múltiples patrones de colocación y formas existentes (ver figura 2.1C), se pueden utilizar en aceras, centro de las ciudades (zonas peatonales) y plazas públicas, donde el tráfico es básicamente peatonal, tomando en consideración la seguridad de las personas, la proporcionalidad de los adoquines, la luminosidad, y la impermeabilidad, otros usos en la peatonalización, se da en la elección de los adoquines lo cual nos permite el mantenimiento de los servicios urbanos sin ninguna modificación, porque la sub-estructura existente los acepta como otra capa más del pavimento sin presentar ningún tipo de problema; además de lo antes expuesto los ámbitos de aplicación se dan en las vías internas de urbanizaciones, calles y avenidas, con tráfico vehicular que puede ir desde unos cuantos vehículos livianos, hasta gran número de vehículos pesados; garajes, áreas industriales: naves industriales con desplazamiento de tráfico pesado y poca velocidad; almacenes; áreas de autopistas, de puertos, de aeropuertos, de ferrocarriles; estaciones de autobús; pistas de bicicletas: carril bici; gasolineras (ver figura 2.1C); armado de taludes; sujeción de orillas y fondos pluviales; superficies de terrazas; caminos de jardines. Este rango amplio de aplicaciones implica la necesidad de

formular diseños diferentes para la estructura del pavimento según el tipo de tráfico que va a soportar y las características del suelo sobre el cual se va a construir, con variaciones en el espesor de los adoquines y en el material y espesor de la base. Este diseño se puede elaborar con métodos apropiados que garantizan el buen desempeño y durabilidad del pavimento, lo que se refuerza con unos adecuados procedimientos y controles durante la construcción.

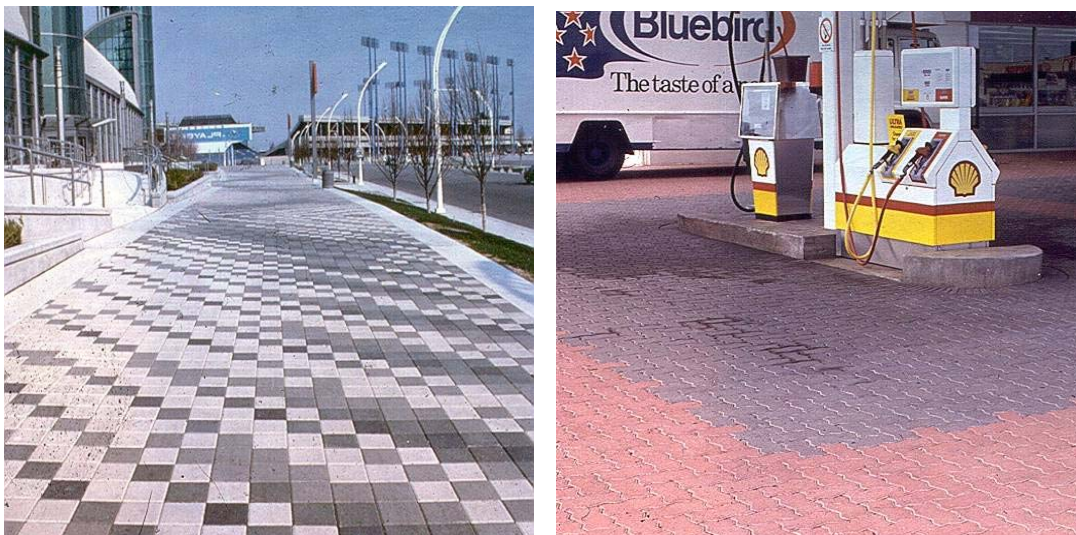


Figura 2.1C

Aplicaciones de los Pavimentos con Adoquines de Concreto

Es necesario mencionar que las aplicaciones referente a las **áreas sometidas a tráfico vehicular** (ver figura 2.1D) es destacable en el aspecto de señalizaciones para áreas urbanas, lo que conlleva a la utilización en los pasos peatonales, intersecciones de calles, avenidas, proporcionamientos dimensionales adecuados a cada caso, como lo es en las áreas de aparcamiento o mercados, terminales de autobuses, gasolineras, polígonos industriales, áreas de carga y descarga, zonas portuarias y aeropuertos,

claramente tomando las consideraciones de diseño para los tipos de vehículos para cada caso.



Figura 2.1D

Aplicaciones de los Pavimentos con Adoquines de Concreto

Existen un sin número de aplicaciones para los pavimentos con adoquines de concreto, por consiguiente también existen en este caso aplicaciones especiales que es necesario tomar en consideración, como son las **estructuras hidráulicas** en las que de forma general se recomienda el uso de adoquines de 10cm de espesor por razones de estabilidad, ya que la velocidad de desplazamiento del caudal en los canales y su movimientos ondulatorio se pueden controlar mediante adoquines que sobresalgan un poco de los extremos, esto con el fin de agudizar el golpe de ariete del

fluyente; otra de las aplicaciones especiales se da en la **protección de taludes**, pero en este caso cualquier tipo de adoquín tanto macizo como el modelo de jardinería es válido, colocándose de abajo hacia arriba sobre una capa de arena de 3 a 5cm de espesor, sobre un relleno debidamente compactado. La parte superior del talud deberá protegerse contra socavaciones mediante la continuación de la superficie adoquinada, más allá del propio talud, pero si no se pudiera por algún motivo, deberá protegerse mediante una hilada de concreto realizado in situ que actúe como borde de confinamiento o superior que enlace a los adoquines. Otras aplicaciones especiales se dan en **granjas y en zonas mineras** debido a su naturaleza de modulación y durabilidad de este tipo de pavimentos (ver figura 2.1E).

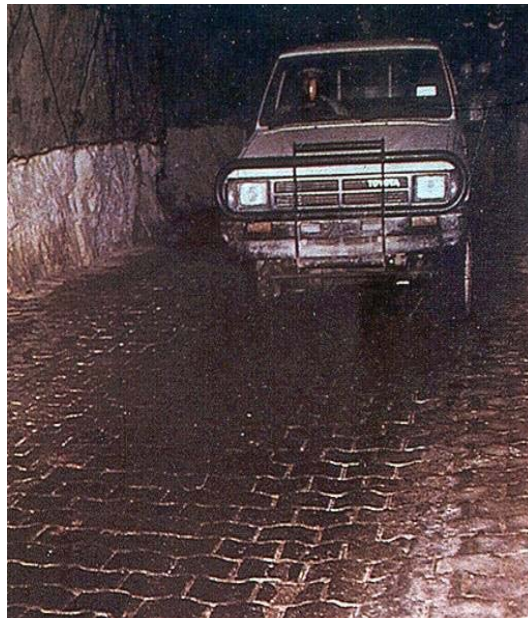


Figura 2.1E

Pavimento en Minas de SURÁFRICA

Algunas limitantes que presentan los pavimentos de adoquines

- ❖ De la misma manera que con los otros tipos de pavimentos la estructura del pavimento de adoquines se debe apartar del nivel freático del terreno.
- ❖ Si la capa de adoquines queda bien colocada, sellada y compactada no debe perder su sello y su estabilidad ante la caída de lluvias, por copiosas que estas sean; pero nunca se debe poner a trabajar un pavimento de adoquines como canal colector de aguas, que pueda llegar a soportar corrientes voluminosas y rápidas tipo “arroyo”.
- ❖ Los pavimentos de adoquines nunca se deben someter a la acción de un chorro de agua a presión. Si esto se hace intencionalmente puede ocasionar la pérdida del sello de las juntas, por lo cual no se recomienda para zonas de lavado de automóviles.
- ❖ Por estar compuesto por un gran número de piezas, el tráfico sobre un pavimento de adoquines genera más ruido que sobre los otros tipos de pavimentos, e induce mayor vibración al vehículo; por estas razones no es aconsejable para velocidades superiores a los 80km/h.

Lo expuesto anteriormente refleja la versatilidad, bondad y economía de la pavimentación con adoquines de concreto. La gran acogida que ha tenido este sistema de pavimentación durante los últimos años en ciudades y poblaciones en diferentes partes del mundo y los resultados arrojados por los planes promovidos por diversas entidades, con innegables beneficios socioeconómicos, son ejemplos más que

suficientes, sobre los cuales se puede medir el verdadero alcance de la pavimentación de adoquines como generadora de bienestar para la comunidad.

2.2 SUBRASANTE

En términos genéricos, subrasante: es el piso o terreno sobre el cual se construirá el pavimento y que sirve como fundación. Puede ser de terreno natural o mejorado.

La construcción de pavimentos con adoquines de concreto se inicia con una exploración y análisis de la zona con la preparación del terreno o la subrasante, esto es un trabajo preliminar y fuera diferente si el pavimento se construyera sobre terreno natural o sobre un pavimento existente. Una de las actividades primarias consiste en retirar los materiales ajenos a la vía como lo son árboles, piedras, restos de construcciones y de pavimentos antiguos cuando no se vayan a utilizar estos últimos como parte de la estructura del nuevo pavimento.

Para poder determinar la subrasante es necesario el estudio de los niveles y perfiles del terreno sobre el cual estará el pavimento. Cabe mencionar que los niveles son la referencia de altura entre dos puntos, y perfiles; geoméricamente hablando es la representación del pavimento cortado por un plano vertical. Esto nos permite la necesidad de estudiar las pendientes naturales del terreno, para definir si:

1. Hay que hacer cortes y rellenos
2. Con que pendiente va a quedar el pavimento

3. Que estructuras se deben construir para el drenaje, como cunetas, sumideros, etc.

La subrasante debe de quedar al nivel y pendiente indicados que tendrá el pavimento, para poder colocar capas de igual espesor en toda el área del pavimento, se retiran las capas de material orgánico, arcilla u otro material existente que afecte de una forma significativa el pavimento, hacer una investigación de acuerdo al tipo de nivel freático de la zona para verificar que cuando se hagan los cortes del terreno no existan nacimientos de agua, por lo que si existe humedad en la parte inferior se deben de construir filtros en el borde de la vía.

A la subrasante se le dará el mismo perfil especificado para la superficie de adoquines, de forma que cuando estemos colocando la base y la capa de arena tengan ambas un espesor uniforme en toda el área del pavimento y llegando al final a las cotas de diseño conservando dicho perfil. El comportamiento del terreno natural deberá de ser lo más uniforme posible. La superficie acabada no deberá variar en más de 10mm, cuando se compruebe con una regla de 3m, aplicada tanto paralela como normalmente al eje de la vía. Tampoco podrán existir zonas capaces de retener agua.

Los cambios en lo ancho de los caminos, las curvas y las uniones no presentan serias dificultades, debido a que los adoquines son pequeños, y se pueden colocar fácilmente para adaptarse a cualquier disposición del camino.

2.3 SÚB-BASE Y BASE

SUB-BASE

Realmente se trata de una base de menor calidad, ya que al estar más alejada de las cargas del tráfico, estas le llegan más atenuadas. Su función consiste en proporcionar un cimiento uniforme para la base y una adecuada plataforma de trabajo para su puesta en obra y compactación. En muchos casos se ha atribuido a esta capa una función drenante, en particular cuando las capas inferiores son poco permeables. Sin embargo esto no debe ser considerado como general, e incluso, el que la sub-base sea muy permeable, puede ser perjudicial para el pavimento, por su capacidad de almacenar agua si no tiene una adecuada salida.

Los pavimentos con adoquines de concreto pueden construirse sobre sub-bases nuevas, sobre las ya existentes, o sobre otras formaciones, los materiales de la sub-base del pavimento deben cumplir, al menos con los requisitos de las autoridades de caminos estatales o del gobierno local, para materiales de baja plasticidad, para sub-base de pavimentos flexibles.

La sub-base debe de extenderse, por lo menos, hasta el ancho total del pavimento, más el de los bordes de confinamiento, cuando estos se construyen con el pavimento.

Los materiales que se emplean en esta capa son: agregados naturales, o procedentes del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural, con prescripciones menos rigurosas que en el caso de la capa de base

Las bases granulares permiten un grado de absorción es por ello que son más propensas a ahuellamiento y consolidación, las bases más impermeables como lo son las de suelo cemento, relleno fluido o concreto pobre, reducen el ahuellamiento (que es la manera de deterioro de los pavimentos con adoquines de concreto al envejecer, por lo que al ejecutar dicho pavimento se dejaran provisiones para el drenaje de la capa de arena).

BASE

Constituye el principal elemento portante de la estructura del pavimento, por lo que debe de absorber en mayor proporción, las cargas verticales transmitidas por el tráfico. Puede ser simple o estar compuesta por dos o más capas de materiales adecuados.

Los materiales y métodos constructivos para bases deberán cumplir con las normas obligatorias de las entidades oficiales o privadas a quienes corresponde velar por la calidad de los pavimentos que se van a construir y al menos con los requisitos mínimos que se presentan a continuación:

1. Bases de suelo cemento: el requisito básico para la aceptación o rechazo será, que la resistencia a la compresión, en función del tipo de suelo alcance por lo menos lo que se estipula en la tabla 2.3A:

TABLA 2.3A

Requisitos Básicos de Base de Suelo Cemento

TIPO DE SUELO	CLASIFICACIÓN UNIFICADA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)	
		7 días	28 días
Arenoso y cascajoso	GW, GC, SW, SC, SP, SM, GP	2	2.7
Limosos	ML y CL	1.7	2
Arcillosos	MH y CH	1.4	1.7

Fuente: Notas Técnicas ICPC; Construcción, Mantenimiento y Reparación de Pavimentos con adoquines de concreto. (4-24-241)

Es necesario considerar el Factor Base (FB), el cual permite transformar un espesor determinado de concreto asfáltico en otro de diferente material, que aporte la misma capacidad estructural, para el caso de base de suelo cemento el $FB = 1.2$; siempre y cuando esto se cumpla con la tabla 2.3A. Se deberá colocar un espesor mínimo de base de suelo cemento de 100mm para subrasante con CBR menor o igual a 6 y 75mm para valores mayores que 6.

2. Bases Granulares: Los requisitos básicos que deben cumplir se estipulan en la tabla 2.3B:

TABLA 2.3B**Requisitos Básicos de Bases Granulares**

CBR	>80%
Límite Líquido ¹	<25%
Índice de plasticidad ²	<6
Granulometría:	
- Tamaño máximo	38.1mm (1 ½")
- Fracción que pasa por el tamiz 75 μ (Nº 200)	Menor que los 2/3 de la fracción que pasa por el tamiz 420 μ (Nº 40)
Compactación	> 97% (Proctor modificado)
Desgaste de la máquina de los Ángeles	< 50%

Fuente: Notas Técnicas ICPC; Construcción, Mantenimiento y Reparación de Pavimentos con adoquines de concreto. (4-24-241)

El Factor Base (FB) para este tipo de base granular es de 2, siempre y cuando se cumpla con la tabla 2.3B.

Se deberá colocar un espesor mínimo de base granular de 150mm para subrasante con CBR menor o igual a 6% y 100mm para valores mayores que 6%.

La base se construye por capas, de espesor constante en toda el área del pavimento. Cada capa debe de quedar completamente terminada (compactada) antes de colocar la siguiente. El espesor de cada una de estas capas es función del equipo que se tenga para la compactación. La superficie quedará lo más cerrada posible, sin huecos, para que la capa de arena no se pierda entre ellos. Se puede usar un poco de arena o suelo cemento para emparejar las áreas mas rugosas, pero estos rellenos se deben compactar antes de la colocación de la base.

¹ / ___ De la fracción que pasa el tamiz 420 μ (Nº 40)

² / ___ De la fracción que pasa el tamiz 420 μ (Nº 40)

La base tendrá una densidad uniforme en toda su extensión y profundidad y este requisito se observará de manera especial a las zonas cercanas a las estructuras de confinamiento, sumideros, cajas de inspección, etc, donde el proceso de compactación es más difícil de llevar a cabo.

La superficie de la base se evaluará con una regla de 3m, sobre una línea que no afecte los cambios en la pendiente de la vía, no se separa de la regla la superficie de la base más de 10mm (ver figura 2.3A); cualquier punto de la superficie estará entre +0 y -10mm de la cota de diseño y el espesor no será menor que el proyectado menos de 5mm.

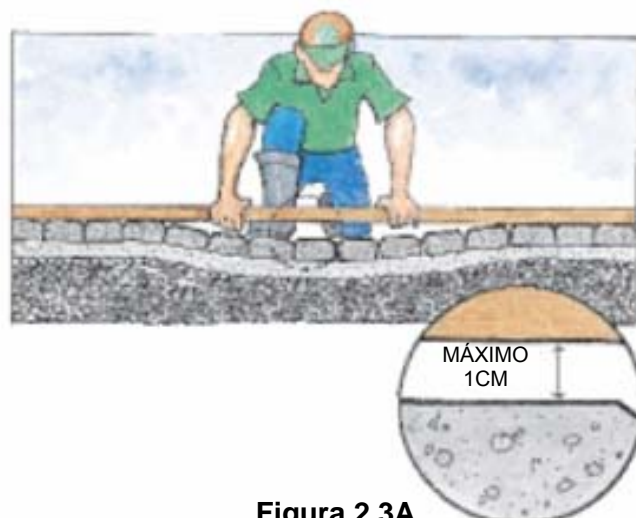


Figura 2.3A

Evaluación de Superficie de Pavimentos con Adoquines de Concreto

Es necesario mencionar que para la construcción de pavimentos con adoquines de concreto para tráfico peatonal (personas, animales, bicicletas, motocicletas, y vehículos similares), no se requerirá base como capa estructural, la capa de arena se colocará directamente sobre la subrasante, debidamente perfilada y compactada, y

cuando ésta no esté conformada con material orgánico, en el caso de encontrar material orgánico se deberá reemplazar por otro material que sea adecuado. Se construirá una base cuando se requiera por consideraciones estructurales, lo que significa que cuando la capacidad de soporte de la subrasante sea extremadamente baja, o cuando se espera la circulación eventual de vehículos más pesados que los mencionados en este párrafo.

2.4 CAPA DE RODADURA

Esencialmente es la capa superior del pavimento que soporta el tráfico. En los pavimentos con adoquines de concreto, la capa de rodadura esta formada por tres elementos esenciales los cuales son: Los adoquines de concreto, la capa de arena, y el sello de arena, unidos por fricción por medio de la compactación, sin ligamentos.

2.4.1 CAPA DE ARENA

El objetivo fundamental de esta capa es de servir de base de apoyo a los adoquines, permitiendo una adecuada compactación y nivelación de los mismos; se ha comprobado que el espesor de la capa de arena influye en la funcionalidad del pavimento con lo que respecta a las deformaciones permanentes provocadas por el tráfico. Estudios realizados a través del tiempo y en base a la experiencia en campo se aconseja un espesor final de 3cm para esta capa, siempre y cuando los adoquines estén ya colocados y se ha realizado la respectiva vibración, por lo tanto el espesor de arena oscila entre 3 a 5cm no compactados.

El contenido máximo de materia orgánica y arcilla debe ser inferior al 3%, la calidad de esta capa es muy importante y repercute en el comportamiento general del pavimento, por lo que debe de controlarse la regularidad superficial de la capa y su homogeneidad para lograr un comportamiento uniforme del pavimento; todos estos parámetros dependen del tipo de granulometría a utilizar, la cual se detalla en la tabla 2.4A .

TABLA 2.4A
Granulometría para Capa de Arena

# de Malla	Tamaño en mm	% que Pasa
4	4.76	95-100
8	2.38	80-100
16	1.19	50-85
30	0.595	25-60
50	0.297	10-30
100	0.149	5-15
200	0.074	0 -10

Fuente: Curso de Pavimentos de Concreto, Tema 12; Pavimentos con adoquines de concreto, IECA
(Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones)

Bajo ninguna circunstancia debe emplearse la capa de arena para corregir el nivel

2.4.2 ADOQUINES

Según la Norma ICONTEC 2017, en su forma más comprensible un adoquín es un elemento macizo de concreto, prefabricado, con forma de prisma recto, cuyas bases son polígonos que permiten conformar una superficie completa.

El diseño de los adoquines de concreto permite un entrelazamiento que facilita la transmisión de cargas en pisos y pavimentos, por lo que es la parte de mayor calidad,

este debe de poseer condiciones de funcionalidad, tales como rodadura cómoda y segura, y de estética ya que es la parte visible del pavimento.

El adoquín de concreto se elabora industrialmente por vibrocompresión de concretos muy secos, con características de obtener una regularidad de las propiedades del producto final, diversidad de formas, textura superficial, etc., estas características se diferencian notablemente de los resultados que puedan obtenerse con este producto respecto a los adoquines de piedra labrada, en relación a regularidad superficial, comodidad de circulación, costo, etc., pero es necesario hacer notar que además de la elaboración industrial a gran escala se pueden producir también en equipos sencillos y pequeños.

PATRONES DE COLOCACIÓN DE ADOQUINES

Colocación de Adoquines

El adoquinado se coloca por hileras, cuya disposición final depende del arreglo de conjunto o patrón deseado, cuidando los perfilamientos longitudinal y transversal que se aplique al proyecto. Las pendientes recomendables son: longitudinal 1: 180, y transversal 1: 40. Cuando se estén colocando los adoquines se tendrá cuidado de no pisar la "cama" o base de arena.

En las inmediaciones de los confinamientos, elementos restrictivos, banquetas, pozos de visita, alcantarillas, etc. se utilizarán fragmentos de adoquines, los cuales provendrán de cortes hechos con guillotinas.

En caso de que los huecos por rellenar sean tan pequeños que la ejecución de fragmentos no sea práctica, podrá colocarse en los bordes a manera de rellenos concreto de $f'c = 300\text{kg/cm}^2$, con un tamaño máximo de agregado de 1cm, ver figura 2.4A.

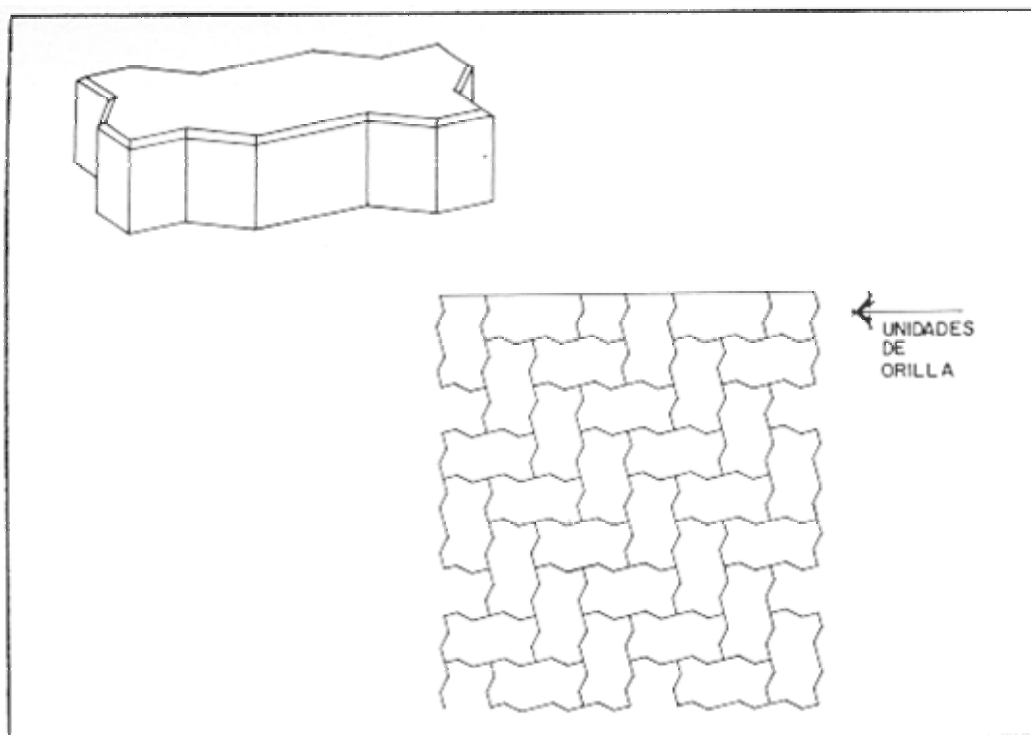


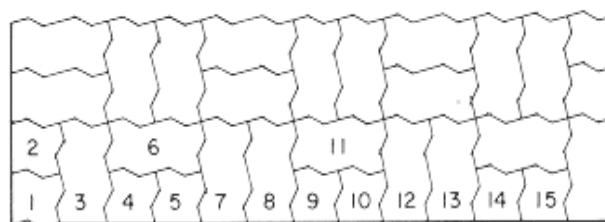
Figura 2.4A

Forma de Relleno de Bordes del Pavimento

- **Tipos de Arreglos**



ARREGLO DE CORREDOR.



ARREGLO TIPO PARQUET.



COLA DE PESCADO A 45°



COLA DE PESCADO A 90°

Figura 2.4B

Los adoquines se ubican siguiendo un patrón de colocación, según figura 2.4B; que es la manera como van puestos los adoquines, uno al lado de otros, se debe seguir también un alineamiento, que es la posición del patrón con respecto al eje de la vía. Ambos se deben definir antes de empezar la colocación. Para el tránsito vehicular no se pueden dejar juntas continuas en el sentido de circulación de los vehículos, por lo cual hay que buscar que no queden alineadas con el eje de la vía.

En pavimentos para tránsito vehicular, los adoquines rectangulares se colocan preferiblemente en patrón de espina de pescado, alineado con el eje de la vía o en el ángulo que se desee, por lo cual no hay que cambiar de alineamiento cuando se llegue a curvas o esquinas. No está de más mencionar que cuando se usen adoquines normales o de jardinería, es aconsejable emplear unidades dentadas colocadas según la disposición de espina de pez a 45° o 90° , con el objetivo de obtener una superficie estable y teniendo cuidado de asegurar los adoquines de jardinería cuando la pendiente del talud supere los 45° . Si los adoquines rectangulares se colocan en hileras, éstas deben ir entrelazadas, como los ladrillos de un muro, atravesadas al eje de la vía principal y al llegar a curvas o esquinas hay que girar el patrón de colocación, el cambio se hace con ajustes bien partidos o con un cordón transversal, nunca se pondrán en hileras alineadas con la vía, ver figura 2.4C

Si se tienen adoquines con otras formas (“I”, cruz, trébol, etc.), sólo se pueden colocar en hileras, igualmente deben quedar atravesadas al eje de la vía principal, pero no es necesario girar el patrón de colocación al llegar a curvas o esquinas. Cada patrón de colocación tiene una secuencia en la cual se colocan los adoquines para

tener un rendimiento óptimo, de tal forma que puedan trabajar varios colocadores simultáneamente.

Para alcanzar esta secuencia se recomienda colocar un tramo de ensayo de 2 ó 3m para corregir alineamientos y aprender la secuencia.

Un alineamiento correcto en los adoquines es un indicador de buena calidad en su construcción. No existe gran diferencia en el rendimiento de colocar adoquines cuidadosamente alineados y otros puestos sin el debido cuidado, pero el resultado final, tanto en calidad como en apariencia, se podrá observar fácilmente.

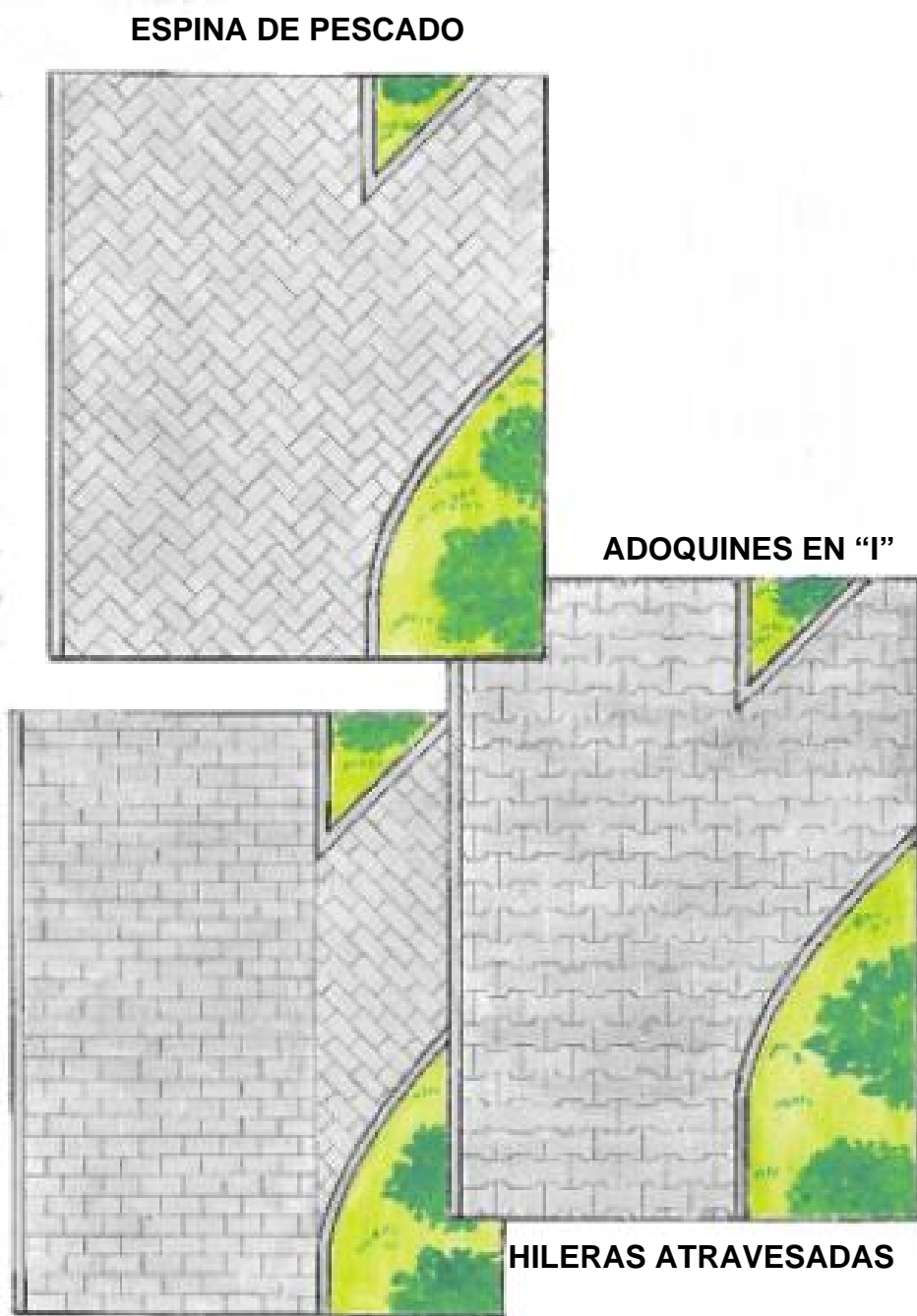


Figura 2.4C

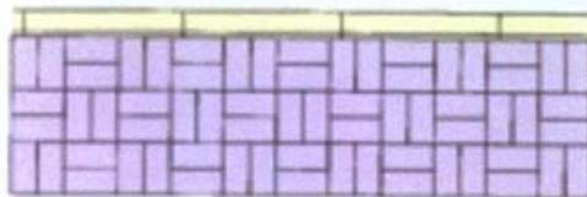
Figura Representativa de Patrones de Colocación

Es muy importante que tanto el patrón como el alineamiento se mantengan a lo largo de la vía o de la zona que se vaya a pavimentar, para esto se deben utilizar hilos a lo largo y a lo ancho, colocados mediante estacas de madera, trozos de varilla o unos cuantos adoquines bien alineados y nivelados. Se deben tener al menos un hilo a lo largo y un hilo transversal cada 5m, así los desajustes casi siempre se podrán corregir sin quitar los adoquines, usando un palustre, cincel o barra pequeña, teniendo cuidado de no dañar los adoquines.

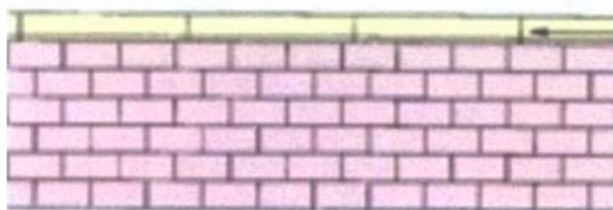
Es requisito que los hilos transversales se encuentren a escuadra con los longitudinales. Cuando se tengan interrupciones en el pavimento, como sumideros, cámaras de inspección, jardineras, etc., se deben colocar hilos alrededor para asegurar que los adoquines conserven su alineamiento cuando se avance por ambos lados del obstáculo y se encuentren nuevamente al otro lado.

A continuación en la figura 2.4D se presentan algunos patrones de colocación utilizados en zonas peatonales, tráfico moderado, ligero y tráfico pesado.

Patrones de Colocación para Zonas Peatonales

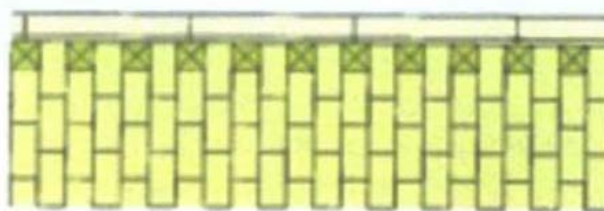


Parquet

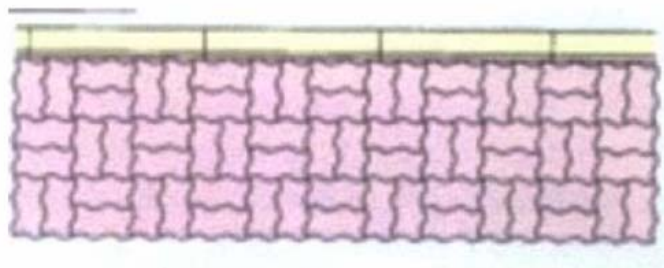


Matajunta con borde de confinamiento paralelo

Patrones de Colocación para Tráfico Moderado y Ligero



Matajunta

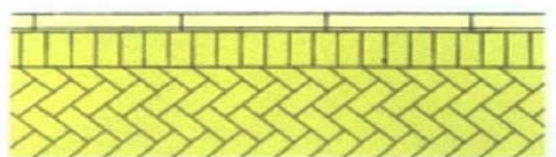


Parquet

Patrones de Colocación para Tráfico Pesado



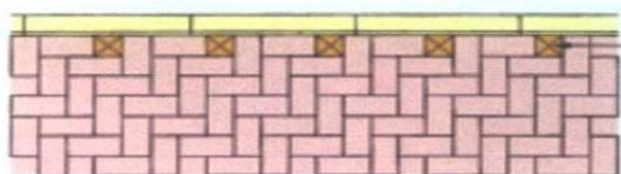
Espina de Pez con remate simple



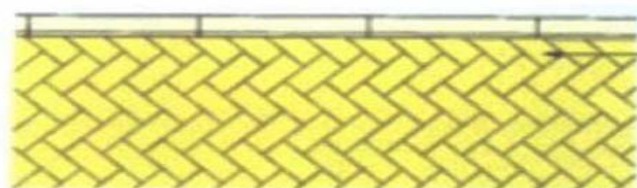
Espina de Pez con remate perpendicular



Espina de Pez con remate doble



A 90°



A 45°

Figura 2.4D

2.4.3 SELLO DE ARENA

El sello de arena esta constituido por la arena que se coloca como relleno de juntas, además sirve como sello y contribuye al funcionamiento como un todo de los elementos de la capa de rodamiento, se trata de una arena fina que ocupa el espacio que queda entre los adoquines, ayuda a confinar los bloques lateralmente y transmite las cargas verticales entre ellos, además proporciona una cierta impermeabilidad al pavimento, disminuyendo la permeabilidad de agua que se podría dar.

El trabajo de sellado de las juntas es primordialmente importante y se realiza extendiendo sobre la superficie de todo el pavimento una arena fina y seca en el momento de la colocación, posteriormente con una escoba o cepillo se barre para que la arena entre por los espacios dejados entre los adoquines, posteriormente se hace un vibrado final que asegure un mejor llenado de todas las juntas, por lo que la arena que sobra en el pavimento se debe retirar mediante un barrido y no por lavado de agua. No debe terminarse una jornada de trabajo sin completar el vibrado y sellado del pavimento realizado, pues la lluvia podría dañarlo.

Si las juntas están mal selladas, los adoquines quedan sueltos, el pavimento pierde solidez y se deteriora rápidamente. Esto se aplica tanto a pavimentos recién hechos como los antiguos. Lo recomendable con respecto al tamaño de los granos de arena para la utilización de sello es que no sea mayor de 2.5mm de gruesos, y nunca se le debe adicionar cemento, cal o remplazarla por mortero, puesto que el sello quedaría quebradizo y se saldría con el tiempo. Por lo tanto esta arena se debe pasar con una malla cuadrada conocida como angeo cuadrado de 8 x 8, para quitarle los

granos mayores de 2.5mm, los materiales contaminantes; como madera, plástico, metal, etc, quedando sueltos se pueden secar más rápidamente, las juntas entre los adoquines no debe exceder de 5mm, por lo que la arena de sello también puede ser de la misma usada para su lecho pero cribada por el tamiz N° 8 , las ranuras que queden entre los bordillos o cunetas laterales o entre los remates o travesaños de concreto y los adoquines, serán rellenos con sello de arena y cemento pórtland en proporción de 4:1³

2.5 CONFINAMIENTO

El confinamiento es también llamado guarnición según figura 2.5A y su función primordial es la de evitar que los adoquines se desplacen lateralmente por empuje horizontal del tráfico vehicular, por lo tanto rodeará completamente el área del pavimento de adoquines, por lo que su estructura consiste en cunetas, andenes, muros o la estructura de otro pavimento, etc.

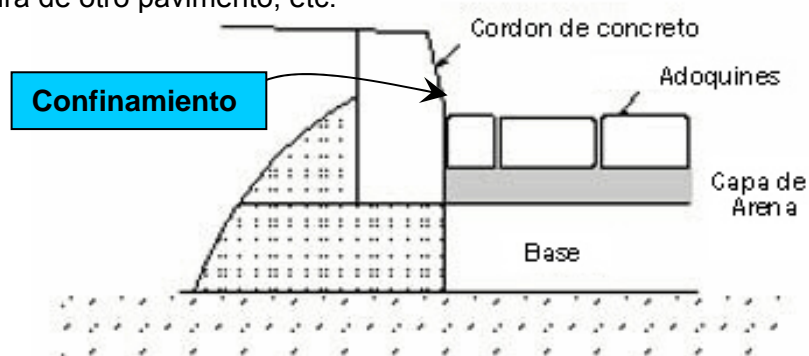


Figura 2.5A

Esquema de Confinamiento

³ / ___ Manual Centroamericano “Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes”

El confinamiento deben de tener la estabilidad suficiente para soportar el impacto ocasional del tránsito de vehículos, una recomendación dada es que deben de tener una profundidad de por lo menos 15cm por debajo de los adoquines, pudiendo utilizar los bordillos, cunetas de concreto u otro pavimento , en caso de que solo se reemplaza una parte del mismo.

Se pueden mencionar dos tipos de confinamiento en general como lo son: el externo que es el que rodea el pavimento y el interno el que rodea las estructuras que se encuentran dentro del externo. Es necesario construir el confinamiento antes de esparcir la capa de arena, para poder colocar ésta, y los adoquines dentro de una forma de caja, cuyo fondo sea la base compactada y sus paredes las estructuras de confinamiento.

Confinamiento Externo: esta conformado generalmente por:

- El cordón de un andén
- Un cordón contra una zona verde o un cordón, a ras
- Contra otro tipo de pavimento

Ya que el elemento de confinamiento esta en contacto directo con las llantas de los vehículos, serán de concreto de muy buena calidad y terminación aceptable en términos de servicialidad según figura 2.5B



Figura 2.5B

Tipo de confinamiento Externo

Confinamiento Interno: son las estructuras que se encuentran dentro del pavimento como lo son; sumideros, cámaras de inspección, cunetas, etc, sus paredes serán de concreto o de algún otro material. No se tiene que construir cordones transversales de confinamiento para los adoquines cada cierta distancia, por temor a que estos se desplacen, por lo que se recomienda construirlos cuando haya cambios fuertes de pendientes de la vía, mayores del 8%, se confina al comenzar y termina cada cuadra, en calles, y cada 100m, en carreteras, estos cordones transversales de confinamiento serán de concreto según figura 2.5C, prefabricado o algún otro material, cuando se construye el pavimento de adoquines por carriles, sin detener el tránsito de los carriles vecinos, se debe de construir un cordón longitudinal de confinamiento, similar a los transversales o uno provisional.



Figura 2.5C

Tipo de Confinamiento Interno

Es necesario que este elemento sea colocado antes de la puesta en servicio del pavimento. La estructura del confinamiento por conveniencia se debe de construir antes de la colocación de la capa de rodadura, pero en caso de no ser así se deberá tener cuidado para no dañar los adoquines del borde, ni antes ni después de la colocación de la capa de rodadura.

TIPOS DE CONFINAMIENTO

Restricción de orillas

Estos elementos estructurales son los que restringen los movimientos laterales del adoquinado y del material de plantilla, debido al paso del tránsito, ver figura 2.5D. Estos elementos de confinamiento contribuyen además a transferir carga en el sistema de pavimento y a minimizar su deformación con el tiempo. Asimismo, los elementos

confinantes se diseñan para permanecer en su sitio, cuando ocasionalmente reciben impactos por las llantas de vehículos.

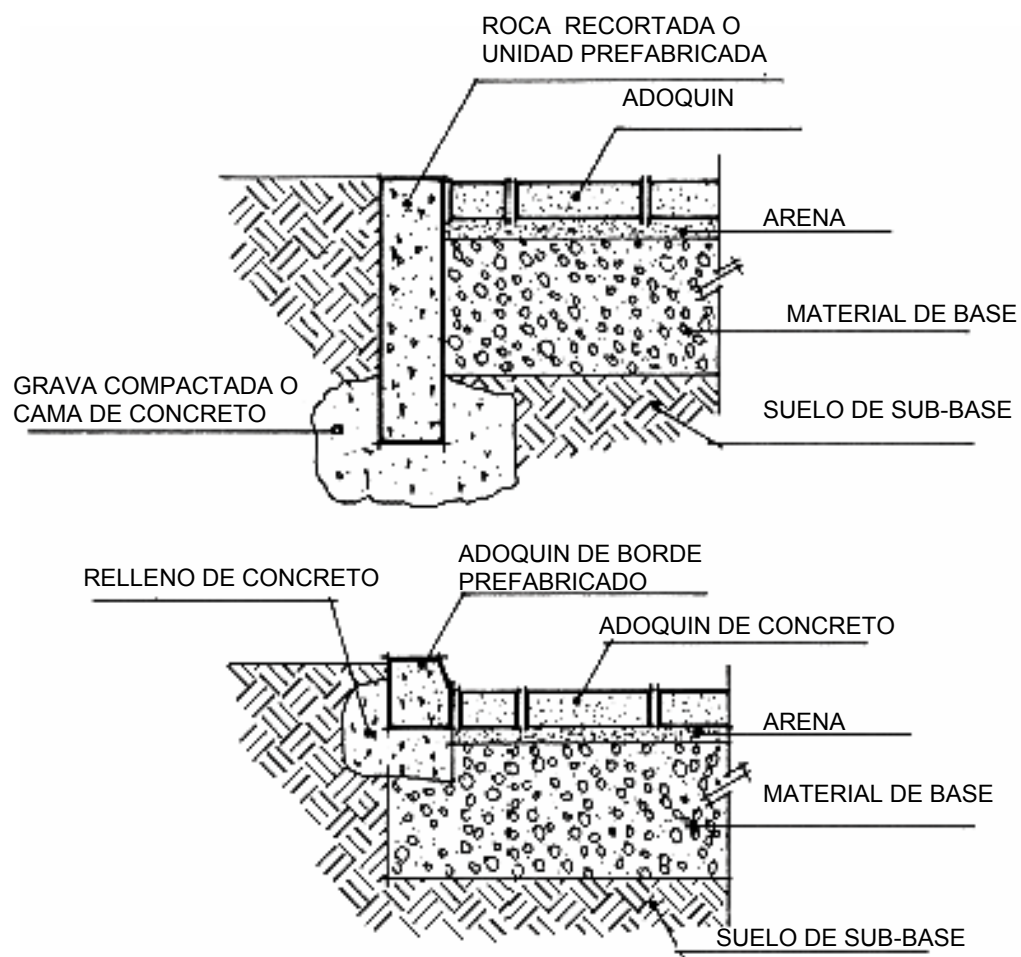


Figura 2.5D

Tipos de Confinamiento

De madera: las regletas confinantes deben quedar 0.6cm por abajo del nivel del adoquín. Esto se hace para tomar en cuenta los pequeños asentamientos que puedan sufrir las piezas, así como para evitar los desgarramientos de la pieza confinante, y finalmente el drenaje superficial. Las regletas deben prevenir la migración de la plantilla de arena por las orillas. En caso de que se prevean tales migraciones, ya sea debajo de los adoquines, o por las orillas, se deberá colocar un geotextil. Este deberá traslaparse del orden de 15cm en la junta formada por las regletas en la dirección horizontal y vertical. De manera temporal se podrá colocar suelo y arena para contener los adoquines, mientras se coloca la regleta confinante definitiva.

En el caso de que las regletas sean de madera, deberán ser tratadas contra insectos o pudrición y, de ser posible, reforzadas con muestras metálicas a intervalos regulares para resistir los alabeos. La regleta se debe introducir bien dentro de la capa sub-base o base, y sujetarla a estacas por la parte exterior.

Plástico: se pueden instalar regletas de plástico. Este tipo confinante se instala de manera sencilla y rápida, con la ventaja de que no se pudre ni sufre tantas irregularidades como la madera. Este tipo de regletas se debe diseñar según el uso al que se vaya a destinar, para trabajo ligero o aplicación del tipo industrial. Normalmente se pueden sujetar al terreno mediante pasadores metálicos o clavos que penetren hasta la capa granular. Los pasadores son de 1cm de diámetro, con largos entre 25 y 30cm.

De aluminio: se pueden seleccionar piezas de aluminio cuando se pretenda lograr suavidad especial en las orillas del adoquinado. Se pueden usar estacas y/o pasadores metálicos, otra vez, que penetren completamente dentro de la capa sub-base, colocada por afuera de la instalación. Las piezas de acero siempre deberán ser pintadas, a fin de que sus oxidaciones potenciales no emigren hacia el sistema de adoquín. Las regletas metálicas o de aluminio se fabrican en varios espesores; para las zonas de tránsito vehicular se recomienda escoger las más peraltadas.

Concreto allanado: en el sitio de obra se pueden fabricar elementos confinantes de concreto. Esto normalmente se coloca sin cimbrado. Si el concreto se construye con un talud descendente hacia afuera, tal como se esquematiza en la figura 2.5E, incluso el césped puede crecer adyacente al adoquinado. Esta solución es aplicable a pasajes con tránsito ligero o de tipo peatonal. La guarnición protectora o confinante de concreto debe tener un ancho mínimo en su fondo de 15 cm. La zona más ancha debe ser a la profundidad total entre adoquinado y plantilla de arena.

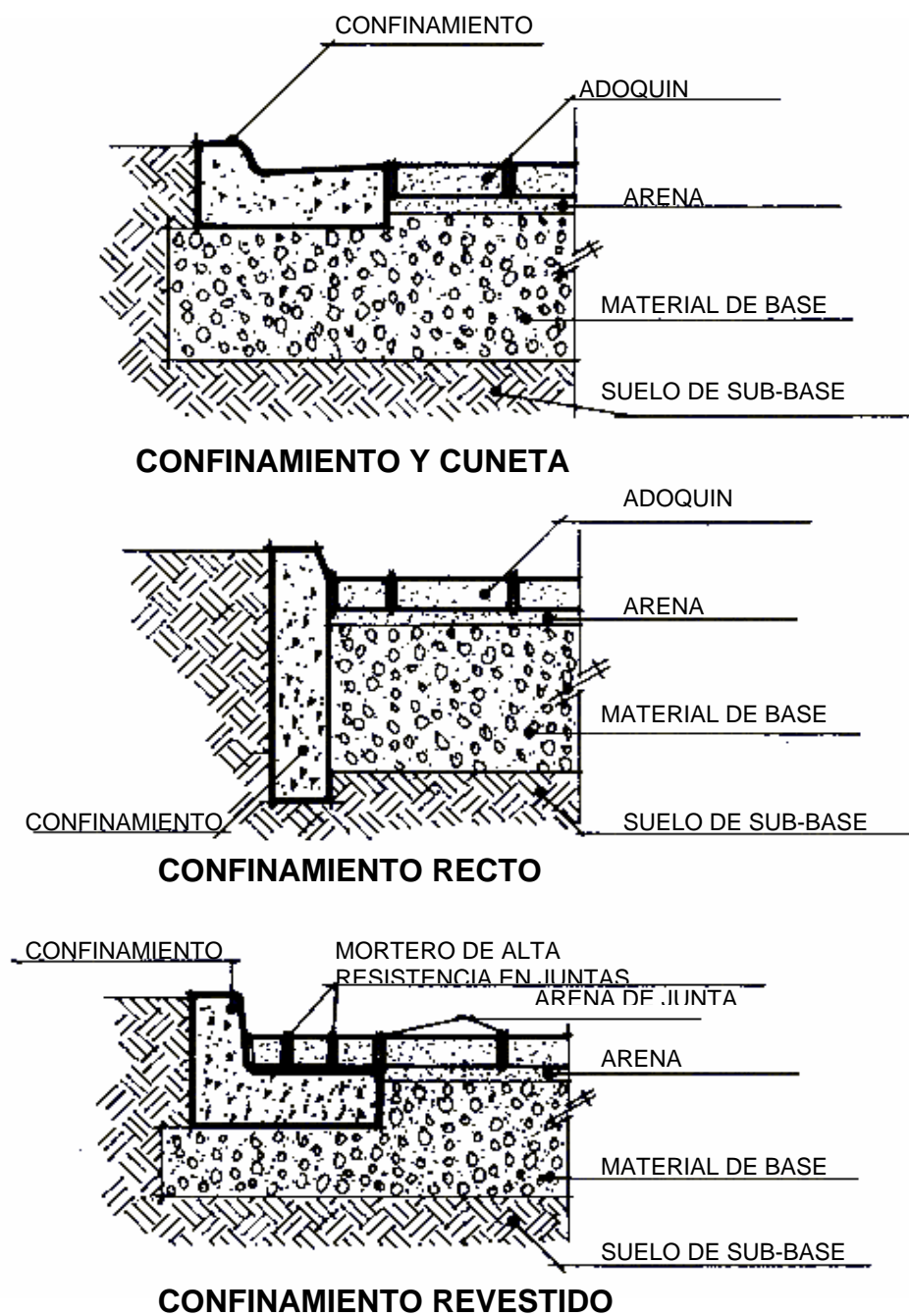


Figura 2.5E

Tipos de Confinamiento

Confinamientos de adoquín y prefabricados: se pueden hacer confinamientos de elementos prefabricados o piezas de adoquín especialmente construidas para las orillas. Estas piezas normalmente se colocan o construyen embebidas en rellenos o camas de concreto.

En todos los casos, las piezas se deben empotrar como mínimo 2.5cm bajo la plantilla de arena. En el caso de calles con tránsito medio a alto se recomienda colocar el elemento confinante o la guarnición hasta el fondo de la capa base. Si por alguna razón ello no es posible, entonces al menos el relleno o la cama de concreto en donde se apoya la pieza prefabricada deberá extenderse hasta el fondo de la capa granular.

Confinamientos colados en sitio: los confinamientos funcionan adecuadamente como elementos confinantes. Para cumplir con esta función, estas piezas deben empotrarse como mínimo dentro de la plantilla de arena. Las piezas se pueden colar enrasadas con el nivel del adoquinado y se les puede dar una inclinación hacia afuera para colocar encima césped, si así se requiere para que éste último crezca adyacente a los adoquines. Cuando los confinamientos restrinjan escalones o banquetas, se recomienda colocar geomembranas en las juntas de expansión con el fin de evitar la migración de arena por esas zonas debido a la acción del agua. De esta manera, el agua podrá drenar libremente sin arrastrar partículas.

Estas precauciones son importantes, ya que el material de juntas tiende a contraerse y/o a descomponerse. En caso de que no se construyan juntas de expansión, alternativamente se podrán disponer salidas de agua para el drenaje

espaciado convenientemente. En las zonas de tapas de registro de electricidad, de visita, etc, se deberán construir brocales de concreto alrededor de ellas, según figura 2.5F.

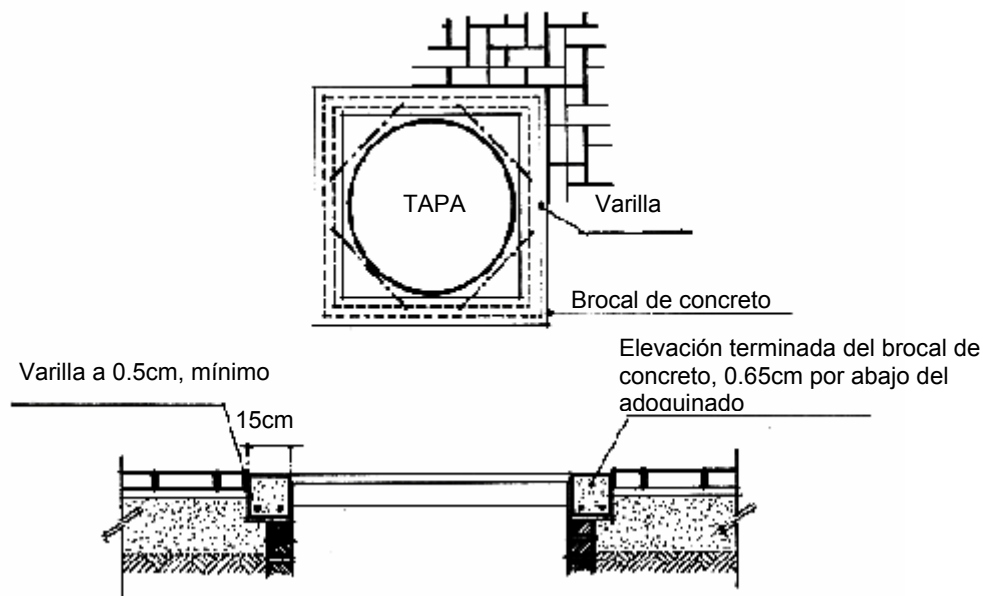


Figura 2.5F

Tapa de Registro

Los niveles de los brocales deben de estar aproximadamente 7mm por abajo del correspondiente a los adoquines.

En caso de recarpeteo con adoquines de superficies dañadas de concreto asfáltico o del tipo hidráulico, las cubiertas de los pozos de visita, alcantarillado, registros, etc. se deben elevar, con su correspondiente brocal de concreto. En caso de sobreelevar las cajas o registro, se deberá inspeccionar la integridad de la parte nueva

recién construida, ya que se podrían generar grietas por donde pudiesen emigrar las partículas de arena de la plantilla hacia las tuberías de drenaje o alcantarillado. En este caso se deberán reparar los fisuramientos, y en caso extremo, colocar geomembranas de acuerdo a las especificaciones del fabricante a manera de filtro bajo la arena.

En el caso de cruces peatonales, se pueden colocar los adoquines recargados sobre una viga de concreto. La función de la viga sería la de resistir frenajes, giros y arrancones de vehículos. Cuando el tránsito sea muy pesado, se deberá proveer una capa adicional de concreto bajo el conjunto formado por la plantilla de arena y adoquines, entre las secciones de vigas.

A continuación se muestra una alternativa de solución para las orillas de los confinamientos, el cual consiste en un corte con disco ejecutado en un pavimento asfáltico. Las paredes del pavimento funcionan como elemento confinante. El corte en este tipo de cruce se debe prolongar hasta abajo de la plantilla de arena, con ello se evita la pérdida de arena en la junta. Un mejor elemento de retención se logra colocando geomembranas en las orillas. Ver figura 2.5G.

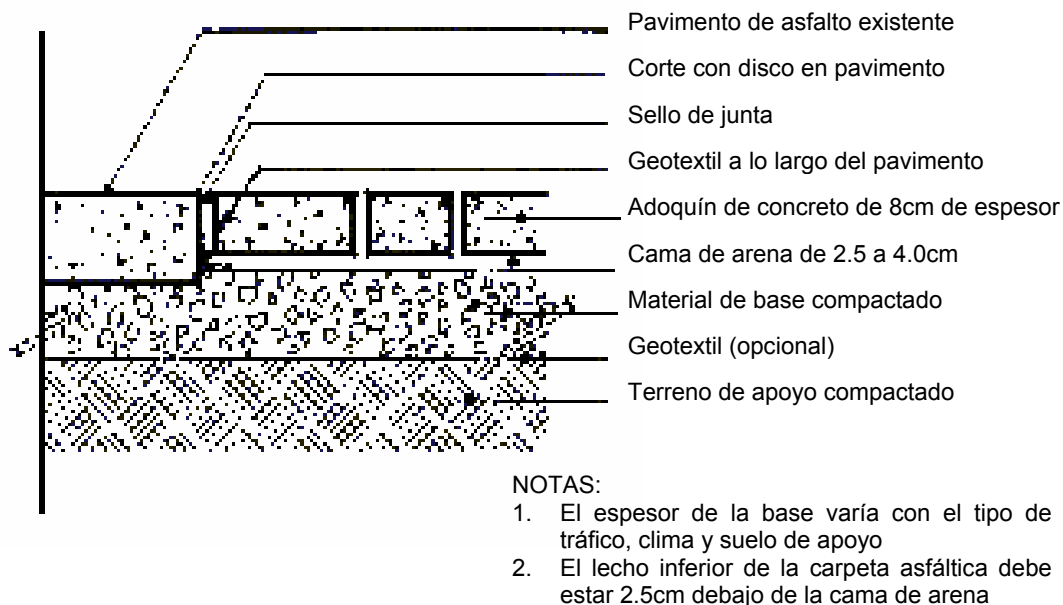


Figura 2.5G

Alternativa de Solución para las Orillas del Confinamiento

En algunos casos conviene, en lugar de cortar y colocar fragmentos de adoquín en las orillas, colar concreto en dichas zonas una vez que ya se instalaron las piezas. Se pueden usar regletas de madera o metálicas como sujetadores temporales en la dirección horizontal.

Si se utiliza suelo como elemento confinante temporal, entonces deberá ser convenientemente colocado y compactado, previo a la colocación de los adoquines para evitar la migración de la arena de plantilla. Posteriormente, y en un tiempo razonable, se puede remover una hilera de adoquines con su correspondiente franja de plantilla y capa granular de base, para luego proceder a colocar elementos de

retención (guarniciones) colados en el sitio o prefabricados. En caso de colar concreto a lo largo de las orillas, se deberá colocar previamente un plástico para evitar el flujo de la mezcla hacia los adoquines.

2.6 SISTEMAS Y ESTRUCTURAS DE DRENAJES

Las estructuras de drenajes sirven para la recolección, conducción y evacuación del agua, tanto superficialmente como internamente en el pavimento, llamados comúnmente drenaje subterráneo.

El drenaje natural corresponde a las pendientes longitudinales como transversales, cunetas, sumideros como se muestra en la figura 2.6A.



Figura 2.6A

Tipo de Drenaje Sumidero

El drenaje subterráneo corresponde a las redes de desagüe, filtros, etc

Es necesario colocar drenaje a la superficie, a la subrasante, y a los canales y desagües. Los adoquines de concreto pueden tener un chaflán (corte pronunciado en una arista) entre sus caras superiores y sus caras verticales, después de la compactación, sus caras superiores deben de quedar por encima de los niveles de las superficies de los canales adyacentes de drenaje de los rebordes, o de las coladeras, con el fin de asegurar un drenaje adecuado de las ranuras formadas por los adoquines adyacentes. Es recomendable que los diseñadores de pavimentos de este tipo señalen detalladamente este requisito en sus planos.

Los niveles y la uniformidad de la superficie de adoquines se pueden considerar como parte de los requisitos de drenaje, por que sin estas, las pendientes o las estructuras de drenaje no funcionan adecuadamente.

La humedad tiene un papel muy importante sobre las propiedades de los materiales que constituyen el pavimento de adoquines de concreto y su respectivo comportamiento. Es necesario tomar en cuenta la influencia del agua en el diseño, ya que esto conlleva a la migración de partículas de suelo, creando problemas de erosión, por lo que puede ocurrir un ablandamiento de la subrasante cuando ésta se satura y permanece saturada durante un prolongado periodo, etc.

En todo buen diseño de pavimentos con adoquines de concreto debe de buscarse que la subrasante, sub-base y base estén lo más protegidas de la acción del agua, por lo que se debe de considerar:

- a) Usar materiales que sean insensibles a la humedad y que no provoquen daños relacionados con la humedad
- Usar materiales estabilizados para capas granulares (estabilización con cemento o productos bituminosos).
 - Seleccionar materiales granulares con bajo contenido de finos y baja plasticidad que puedan resistir los efectos de la humedad.
- b) Proveer un drenaje adecuado para remover efectivamente todo tipo de humedad que pueda entrar en el pavimento antes de que se produzcan deterioros. Para ello se debe:
- ❖ Diseñar un sistema de drenaje que mantenga el nivel freático por debajo del pavimento o que pueda evacuar fácilmente el agua que eventualmente pueda ingresar en las diferentes capas del pavimento.
 - ❖ Usar bases y sub-bases permeables, diseñadas no sólo desde el punto de vista estructural, sino también como capas drenantes. Debido a esto el agua que ingresa al pavimento drena en dirección horizontal para salir del camino, en lugar de continuar hacia abajo, hacia la subrasante.
 - ❖ Colocar mantos drenantes debajo de secciones de la subrasante.

Cabe mencionar que no siempre se pueden cumplir con los literales anteriores, pero un buen diseño de pavimentos con adoquines de concreto debe reunir la mayor parte de ellos y saberlos integrar bien.

Sistemas de Drenaje:

El drenaje son los aspectos u obras que sirven para manejar las aguas que puedan afectar el pavimento, se distinguen dos sistemas de drenaje los cuales son:

- Sistema de drenaje superficial
- Sistema de drenaje subterráneo.

Se debe considerar dos fuentes de agua en lo que se refiere a los sistemas de drenaje:

- El agua existente en la zona de saturación a la altura del nivel freático
- El agua de infiltración que entra a través de las juntas de la superficie del pavimento o de las cunetas laterales.

En el diseño de un sistema de drenaje se deben considerar los siguientes conceptos:

Filtración: Movimiento o flujo de agua a través de un medio poroso permeable

Porosidad: Relación entre el volumen de vacíos y el volumen total.

Permeabilidad: Propiedad que tiene un medio para permitir el paso del agua.

Coefficiente de permeabilidad (k): Volumen de agua que atraviesa una unidad de área en medio poroso en una unidad de tiempo bajo un gradiente hidráulico unitario:

$$k = \frac{Q}{A \cdot i}$$

Donde:

K = Coeficiente de permeabilidad

I = Gradiente hidráulico

Sistema de Drenaje Superficial:

El sistema de drenaje superficial es el que maneja y encausa el agua que está sobre el pavimento, siendo de este tipo las pendientes, cunetas, sumideros, etc.

Cuando la pendiente longitudinal de la vía es de, al menos, 2.5%, su pendiente transversal será de, mínimo del 3% y no es necesario construirle cunetas a los lados.

Si la pendiente longitudinal de la vía es menor de 2.5%, se construyen cunetas a uno o ambos lados de la vía, según las pendientes transversales y las cunetas se pueden hacer con adoquines colocados sobre, o de concreto. Si la pendiente longitudinal es menor del 1%, la cuneta tendrá que ser de concreto y de mínimo 15cm de espesor.

Cuando se tienen tránsito peatonal, las cunetas se pueden hacer escalonadas hasta 3cm, con respecto a la superficie del pavimento. En áreas pavimentadas con adoquines, diferentes a vías, como plazas, parqueaderos, patios, etc. La pendiente mínima será del 2%. Y se recomienda que el tipo de mortero a utilizar sea de una relación de 1:4, ver figura 2.6B

En zonas diferentes a vías, como plazas, parqueaderos, patios, etc., la pendiente mínima será del 2% y se dejarán perforaciones en los confinamientos cada 40cm. El lado del tubo que está en contacto con la capa de arena se cubre con geotextil no tejido para que no se pierda la arena. La uniformidad en la superficie adoquinada es un

requisito de drenaje, ya que en una superficie desnivelada o con hundimientos, las pendientes y las estructuras de drenaje no funcionan adecuadamente. Para que el agua circule fácilmente, la superficie debe quedar de tal forma que al colocar un codal o regla de 3m, ningún punto de la superficie de los adoquines tenga una separación de más de 1cm; si así ocurre, se debe corregir el proceso de construcción hasta alcanzar esta calidad.



Figura: 2.6B

Pendientes Recomendadas

Fuente: www.cementovalle.com.co

Sistema de Drenaje Subterráneo:

Es el que maneja el agua que está por debajo del pavimento, siendo de este tipo los filtros, alcantarillas, etc.

Un sistema de drenaje subterráneo puede clasificarse de acuerdo a:

- La fuente de agua subterránea que deben controlar
- La función que cumplen
- Su ubicación y geometría

Entre los sistemas conocidos de drenajes subterráneos tenemos:

a) Drenes Longitudinales

Están ubicados en forma paralela al camino y pueden constar de una cuneta pero con una diferencia de que la profundidad es mayor que los drenajes superficiales o están determinadas por un caño colector perforado y un filtro.

b) Drenes Transversales y horizontales

Son los drenes que corren en forma transversal al camino, formando un ángulo recto generalmente con el eje del camino, este tipo de drenaje es conveniente hacerlo cuando debido a la relación entre pendientes longitudinales y transversales, el agua tiende a ir paralela al eje del camino.

c) Sistemas de Pozos

Los pozos verticales se usan para controlar el caudal de agua dentro del terreno y aliviar las presiones de poros en taludes cuya estabilidad se encuentra seriamente comprometida. En este caso los pozos deben ser bombeados para rebatir el nivel freático durante la construcción o simplemente permitir el flujo para aliviar presiones artesianas, en ocasiones están combinados con sistemas colectores que permiten su drenaje libre hacia lugares más bajos como lo son túneles, drenes horizontales, etc.

**Consideraciones de Drenaje en el Diseño de Pavimentos Flexibles
según AASHTO**

Un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo de resiliencia) aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas. Según la AASHTO los tiempos de drenajes recomendados están basados en el tiempo requerido para drenar la capa base hasta un grado de saturación del 50%, sin embargo el criterio del 85% de saturación reduce en forma significativa el tiempo real usado para seleccionar la calidad del drenaje según tabla 2.6A.

TABLA 2.6A**Tiempo de Drenajes**

Calidad del Drenaje	50% de saturación en:	85% de Saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	mas de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Esta calidad de drenaje se expresa según el número estructural a través de los coeficientes de drenajes “m”, que afectan a las capas no ligadas según tabla 2.6B.

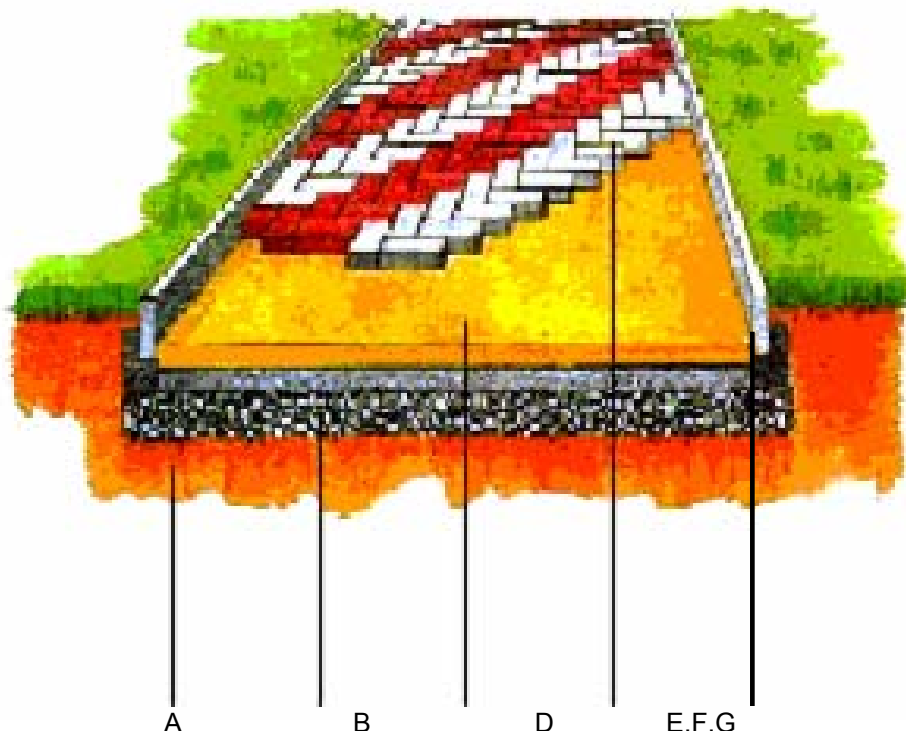
TABLA 2.6B**Coefficientes de Drenaje para Pavimentos Flexibles**

Calidad De Drenaje	% de tiempo en que el pavimento flexible está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy Pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Tomando en consideración los elementos de los pavimentos con adoquines de concreto se presenta la figura 2.6C.

Forma Detallada de Construcción de Pavimentos de Adoquines



- A:** Preparación del Subrasante
- B:** Preparación de la Sub-base; y/o base
- C:** Ejecución de los bordes de confinamiento
- D:** Extendido y nivelación de la capa de arena
- E, F, G:** Colocación de los adoquines, compactación y vibración, relleno de juntas con arena, nuevamente compactación y vibración, barrido de arena sobrante

Figura 2.6C

2.7 OTROS DETALLES CONSTRUCTIVOS

Bordillos Laterales: el objeto es el de proteger y respaldar debidamente al adoquinado por lo que el confinamiento en los bordes laterales por bordillos o cunetas será de concreto simple.

Los materiales y métodos de construcción de los bordillos o cunetas de concreto se ajustarán a lo estipulado de la forma siguiente.

Roca para bordillos en piedra.

(a) Bordillos en piedra, tipo I: deberá cumplir con el tamaño y forma especificados conforme a lo siguiente:

Se deberá suministrar piedra caliza, arenisca, o granito sacada de una fuente aprobada. Se usará un solo tipo de piedra si así se desea. No se deberá usar piedra con marcas visibles de perforación en las caras expuestas.

La superficie de la corona de todo bordillo vertical de piedra deberá ser cortada a sierra o cincelada dejando un plano sin depresiones o protuberancias en la superficie de más de 6mm. Se deberá escuadrar las aristas frontal y trasera para que queden rectas y exactamente alineadas. Se deberán limitar las depresiones o protuberancias en la superficie trasera en tal forma que el desplome o inclinación no exceda 25mm horizontales en 75mm verticales. Se deberá cortar a sierra o dar textura lisa de pedrera a la cara expuesta frontal del bordillo vertical de piedra. Se limitarán las depresiones o

protuberancias en la distancia restante de la cara a 25mm o menos del plano de la cara expuesta. Se deberán cuadrar los extremos de los bordillos verticales de piedra con la parte superior trasera y frontal, acabados de manera que cuando sean colocadas las secciones extremo con extremo no queden espacios de más de 13mm en la junta en todo el ancho de superficie de la corona y en toda la cara frontal expuesta. El resto del extremo puede tener un quiebre hacia atrás de 100mm del plano de la junta.

Las juntas de bordillos de piedra circulares o curvados deberán ser cortadas radialmente. La longitud mínima de cualquier segmento de bordillo vertical de piedra será de 1.20m., sin embargo, la longitud podrá variar cuando sean requeridas secciones de bordillo rebajadas o modificadas en entradas de garajes, intersecciones, cierres, etc.

(b) Bordillos de piedra, tipo II: estos son bordillos de piedra con cara inclinada los cuales deberán cumplir los requisitos exigidos para los de tipo I, excepto en lo siguiente:

La máxima protuberancia o depresión permisible en la superficie de una corona horizontal será limitada a 13mm en las otras caras expuestas, la máxima protuberancia o depresión permisible estará limitada a 25mm para superficies no expuestas la máxima protuberancia o depresión permisible con respecto a un plano verdadero en una longitud de 0.50m, será de 75mm.

El máximo espacio permisible, visible en caras expuestas entre segmentos adyacentes de bordillo inclinado de piedra, será de 19mm la máxima longitud de cualquier segmento de bordillo inclinado de piedra, será de 0.50m.

Cordón o Bordillo y Cuneta

Consiste en la construcción o el reestablecimiento del cordón o bordillo, combinación de cordón y cuneta, o barrera hecha de llantas de automóvil.

El cordón de piedra, será diseñado como Tipo I o II,

Requerimientos para la construcción

General: se realizarán la excavación y el relleno. Se colocará y compactará el material de la capa de base. Se compactará la capa de base con por lo menos tres pasadas de un pisón mecánico liviano, rodillo o sistema vibratorio.

Cordón de piedra o concreto prefabricado: se limpiará la capa de base y se humedecerá inmediatamente antes de la colocación. Se colocará el cordón en la capa de base de tal forma que su cara y sus líneas superiores queden en línea y pendiente adecuadas. Las juntas deberán tener de 10 a 25mm de ancho y serán rellenas con mortero.

Se completarán los 8 primeros metros de cordón para demostrar la capacidad para construirlo, cumpliendo con estos requisitos. No se continuará la construcción hasta que sea aprobada esta sección.

Las juntas del cordón deben tener 19mm de ancho y se rellenarán con mortero todos los vacíos entre el cordón.

Cordón y cuneta de concreto hidráulico: el cordón y cuneta se pueden colar en sitio usando formaleta deslizante.

Requerimientos para la construcción

Composición del concreto. Debe ser de acuerdo a la tabla 2.7A

TABLA 2.7A

Composición del Concreto para Estructuras Menores

Propiedad	Especificación
Contenido mínimo de cemento kg/m ³	362
Máxima relación agua/cemento	0.49
Revenimiento máximo, mm	125
Máximo contenido de aire	4
Tamaño de agregado grueso	AASHTO M43, con 100%, pasando la malla 37.5mm
Esfuerzo mínimo a la compresión a los 29 días, Mpa	25

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Antes de producir el concreto, someter las proporciones propuestas de concreto, para aprobación, y como mínimo debe incluir:

- (a) Tipo y fuente de todos los materiales propuestos a ser usados.
- (b) Certificación de calidad, de todos los materiales propuestos.
- (c) Masa saturada superficie seca, de todos los agregados finos y gruesos, por

metro cúbico de concreto.

- (d) Graduación de los materiales, gruesos y finos.
- (e) Masa del agua de la mezcla, por metro cúbico de mezcla.
- (f) Masa de cemento, por metro cúbico de concreto. Puzolanas, cenizas, escorias de altos hornos, vapores de sílice pueden presentarse por cemento.
- (g) Contenido de aire en la mezcla de concreto, en porcentaje por volumen.
- (h) Revenimiento máximo del concreto plástico, en milímetros.

Requerimientos para la construcción

Realizar los trabajos de excavación y el relleno, cuando el concreto está rajado, astillado o con escamas, remover el concreto hasta la junta más cercana.

Diseñar y construir los encofrados libres de pandeos, alabeos o abombados, y que permitan ser removidos sin dañar el concreto. Cuando el concreto contiene aditivos retardantes, cenizas, o puzolanas sustitutivas del cemento, diseñar los encofrados, para una presión lateral, igual al ejercido por un líquido que pesa, 2400 kilogramos por metro cúbico.

Usar madera, metal, o cualquier otro material adecuado para encofrados.

Mantener los encofrados limpios y cubiertos con un desmoldante o aceite, antes de colocar el concreto.

Colocar y amarrar el acero de refuerzo.

Colocación del Concreto.

Humedecer los encofrados y las fundaciones, inmediatamente antes de colocar el concreto, descargar el concreto, dentro de los límites de tiempo.

Prevenir la segregación, cuando se está colocando concreto. Consolidar o compactar con vibradores. No usar tubería de aluminio, para transportar o colocar concreto. Los intervalos entre entregas de batchadas, para colado en una estructura, no deben exceder en 30 minutos.

No aplicar agua al concreto plástico, durante las operaciones de acabado.

Curado del Concreto: curar el concreto un mínimo de 7 días. Si se usa concreto, de resistencias altas a temprana edad, curar el concreto un mínimo de 3 días. Acabar las superficies de concreto expuesto.

La aceptación de los materiales para estructuras de concreto menor, incluyendo concreto, acero de refuerzo y acero estructural para estructuras menores, deben ser evaluadas

Cordones colados en sitio: se usarán encofrados que cubran el espesor total del concreto. Se usarán encofrados curvos en curvas con un radio de 90m o menos.

Juntas de contracción: se construirá el cordón en secciones uniformes de 3m de largo con juntas de contracción de 3mm de espesor usando separadores de metal. Cuando el cordón se construya adyacente al pavimento de adoquines de concreto, se harán coincidir sus juntas de contracción con las del pavimento.

Juntas de expansión: se formarán las juntas de expansión cada 18m usando un relleno de junta preformado de 19mm de espesor. Cuando el cordón se construya, adyacente o sobre el pavimento de adoquines de concreto, se harán coincidir sus juntas de expansión con las de los adoquines.

Se acabará el concreto en forma lisa y pareja con una llana de madera y se terminará con cepillo, paralelamente a la línea del cordón. Cuando es requerido un acabado de agregado expuesto se dejarán los encofrados en su sitio durante 24 horas, o hasta que el concreto haya fraguado lo suficiente, de tal manera que los encofrados pueden ser removidos sin dañar el cordón.

Encofrado deslizante: se usará una máquina autopropulsada automática para cordón, o una pavimentadora con accesorios para cordón. La máquina será lo suficientemente pesada, para obtener la consolidación sin que la máquina se eleve o monte sobre la fundación.

Si es necesario, se ajustará la graduación del agregado de concreto para producir un cordón o un cordón y cuneta, con una definición clara de la sección transversal. Se removerán y recolocarán las secciones que queden con cráteres u

hormigueros de más de 5mm, o cualquier otra sección que tenga defectos constructivos. La reparación con repello de secciones defectuosas no es permitida.

Cordón o bordillo de concreto asfáltico.

Cuando se construyen cordones sobre un pavimento, se colocará una capa de liga, de acuerdo al área bajo el cordón. Se construirá el cordón de concreto asfáltico, y se usará una máquina autopropulsada automática para cordón o una pavimentadora con accesorio para cordón, que sea lo suficientemente pesada, como para compactar el cordón, sin elevarse sobre la fundación. Se construirá el cordón uniformemente en textura, forma, y densidad. El cordón puede ser construido por otros medios solamente en secciones cortas o secciones con radios pequeños.

Recolocación de cordones de piedra o de concreto prefabricado.

Se removerán cuidadosamente y se limpiarán, y almacenarán los cordones. Se cortarán o ajustarán, según sea necesario, para su instalación. Se recolocarán todos los cordones dañados o destruidos

Barrera de llanta vehicular.

Se empernarán las barreras de llantas con dos secciones de 1m de varillas de acero de 19mm de diámetro. Se recolocarán las barreras de llantas en la misma forma.

2.8 NORMATIVAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL Y GEOMÉTRICO DE LOS PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO.

A continuación se describen las normas y especificaciones más relevantes para los pavimentos con adoquines de concreto (VER ANEXO N° 1)

NORMA ASTM C 33

“ESPECIFICACIÓN ESTÁNDAR PARA AGREGADOS DE CONCRETO”

En esta norma se estudian los agregados finos como los gruesos y se determinan los requerimientos de calidad y graduación (VER ANEXO N° 2), se toma en consideración el análisis del tamizado para los usos de los agregados a utilizar en las bases o sub-bases, capa de arena, arena de relleno de juntas, los agregados a utilizar en los tipos de confinamiento; como en las estructuras de drenaje de los pavimentos con adoquines de concreto.

NORMA ASTM C936

“ESPECIFICACIÓN ESTANDAR PARA PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO SÓLIDO”

La norma estudia las condiciones de fabricación para la construcción de superficies pavimentadas con adoquines de concreto, dando los parámetros de dimensionamiento y materiales a utilizar en la fabricación de dichas unidades, para

que su implementación en la capa de rodadura sea aceptable desde el punto de vista estructural.

NORMA ICONTEC 2017

“ADOQUINES DE CONCRETO”.

Se establecen de una forma similar a la norma ASTM C936, pero con un enfoque más explicativo con respecto a los requisitos y ensayos llevados para las unidades de adoquines de concreto usados en el pavimento. Su estudio y análisis es realizado por el ICPC (Instituto Colombiano de Productores de cemento), que es una institución con amplia experiencia en este campo de aplicación.

NORMA AASHTO T180

“MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA RELACIONES DENSIDAD-HUMEDAD DE SUELOS USANDO UN MARTILLO DE 4.54 KG (10LB) Y 457 MM (18 PULG) DE CAÍDA”.

Estableciendo el estudio de los materiales y los adoquines que serán utilizados en los pavimentos con adoquines de concreto por medio de las normas anteriores, es necesario el análisis de la subrasante que es el elemento inicial sobre el cual estará el pavimento, por consiguiente los resultados de densidad y humedad podrán determinar si el suelo en estudio es apto para un determinado diseño de pavimentos, sin embargo dependiendo de estos resultados se tomarán las disposiciones necesarias para hacer del suelo o materiales a utilizar aptos para el diseño del pavimento.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Estas especificaciones proporcionan los requisitos básicos para los pavimentos con adoquines de concreto. Se deberá dejar establecido el listado de las características que deben cumplir todos los elementos que intervienen en el pavimento

Referencias:

Normas AASHTO

Normas ASTM

Normas ICONTEC

ESPECIFICACIONES BÁSICAS GENERALES Y NORMAS

Generalidades:

Todos los materiales especificados se consideran de primera calidad y su aplicación y comportamiento son de responsabilidad del constructor o contratista de una determinada obra.

En donde se especifica un material o un producto de fábrica por su nombre específico, debe entenderse siempre que se trata solo de una referencia indicativa de la calidad deseada; puede ser un producto, un material, o similar, aprobado por el inspector de obra.

MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LOS ADOQUINES

Especificaciones Generales

Las siguientes especificaciones generales son complemento y parte de las especificaciones particulares para cada capítulo, las cuales se agrupan de la siguiente forma:

- A- Cementos
- B- Aguas
- C- Aditivos
- D- Agregados

A. CEMENTOS:

El ejecutor de una determinada obra realizada con adoquines de concreto, tendrá en cuenta las normas vigentes tales como las de ICONTEC, ASTM, AASHTO, pudiendo tomar como referencia más congruente los parámetros y lineamientos del ICPI, por ser un ente en materia de diseño de pavimentos con adoquines de concreto.

CEMENTO PARA ADOQUINES DE CONCRETO

El cemento utilizado debe ser cemento PORTLAND, tipo 1, de acuerdo a las normas

ICONTEC 30 y 31⁴

⁴ / _____

ICONTEC N° 30:
ICONTEC N° 31:

Cemento pórtland- clasificación y nomenclatura.
Cemento, definiciones.

ICONTEC 121 y 321⁵

Y las respectivas normas ASTM referente al cemento tales como

ASTM C150 (Especificación estándar para cemento pórtland)

ASTM C595 Tipo 1 (PM); Pórtland Modificado con puzolana (Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados)

ASTM C1157 tipo HE

ASTM C150; Cemento Blanco Tipo 1

Las normas anteriores corresponden a especificaciones físicas, mecánicas y químicas. Además el cemento deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- ❖ No se harán mezclas con cemento que por reciente fabricación esté a temperatura superior a lo que especifiquen las normas.
- ❖ No se utilizará cemento que por meteorización o por envejecimiento presente signos de alteración en sus características químicas, físicas o mecánicas.
- ❖ El cemento a granel deberá almacenarse en tanques herméticos. El cemento en sacos debe guardarse en depósitos cubiertos, sobre plataformas de madera elevadas por lo menos 30cm sobre el nivel del suelo, en arrumes que no excedan de 2.00m de altura y estén separados por lo menos 50cm de las paredes. Se tendrá especial cuidado en evitar absorción de humedad. El cemento deberá usarse en el orden cronológico en que se reciba.
- ❖ Si existieran dudas en cuanto a disminución de calidad del cemento por meteorización, envejecimiento, o almacenaje deficiente, el FABRICANTE DE

⁵ / _____ ICONTEC N° 121: Especificaciones físicas y mecánicas que debe cumplir el cemento pórtland.
 ICONTEC N° 321: Especificaciones químicas del cemento pórtland

ADOQUINES rechazará el material o bien ordenará al fabricante la correspondiente comprobación de sus características por parte de un laboratorio competente, corriendo el fabricante con los gastos que esto conlleve.

- ❖ Para los ensayos pertinentes, en caso de que se presentara las dudas enunciadas en el párrafo anterior, se seguirán las normas citadas que se indican a continuación:

Para el cemento en general, se deben cumplir las siguientes normas ICONTEC:

Normas Generales:

NORMA N° 30: Cemento pórtland- clasificación y nomenclatura.

NORMA N° 31: Cemento, definiciones.

Especificaciones:

NORMA N° 121: Especificaciones físicas y mecánicas que debe cumplir el cemento pórtland.

NORMA N° 321: Especificaciones químicas del cemento pórtland

Ensayos:

NORMA N° 33: Método para determinar la finura del cemento por medio del aparato Blaine de permeabilidad al aire.

NORMA N° 107: Ensayo en autoclave para determinar la expansión del cemento.

NORMA N° 108: Extracción de muestras.

NORMA N° 109: Método para determinar los tiempos de fraguado del cemento hidráulico por medio de las aguas de GILLMORE.

- NORMA N° 110: Método para determinar la consistencia normal del cemento.
- NORMA N° 117: Método para determinar el calor de hidratación del cemento pòrtland.
- NORMA N° 118: Método para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de VICAT.
- NORMA N° 184: Cementos hidráulicos - métodos de análisis químicos.
- NORMA N° 221: Método de ensayo para determinar el peso específico del cemento hidráulico.
- NORMA N° 225: Falso fraguado del cemento pòrtland, método del mortero.
- NORMA N° 226: Método de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico sobre los tamices ICONTEC 74 ó 149.
- NORMA N° 294: Método para determinar la finura del cemento hidráulico sobre el tamiz ICONTEC 44.
- NORMA N° 297: Falso fraguado del cemento Pòrtland, método de la pasta.
- NORMA N° 597: Determinación de la finura del cemento pòrtland por medio del tribidímetro.
- NORMA N° 1512: Ensayo químico para determinar la actividad puzolánica.
- NORMA N° 1514: Ensayo para determinar la expansión por el método de las agujas de CHATELIER

B- AGUAS

El agua que se utilice en la fabricación del concreto, como también en el proceso de curado, deberá ser fresca, limpia y libre de cantidades perjudiciales de cloruros, ácidos, álcalis, materia orgánica u otras impurezas que puedan ser dañinas. Toda agua utilizada

en la fabricación de concreto deberá ser previamente aprobada. En caso de duda, el fabricante de adoquines podrá realizar un análisis químico del agua, cuyos resultados deberán cumplir las siguientes limitaciones:

Ph	5.5 - 9.0
Sustancia disuelta	15 g/l
Sulfato (como SO ₄)	1 g/l
Sustancias solubles disueltas en éter	15 g/l
Ión de Cloruro	8 g/l
Hidrato de Carburo	No debe contener

C- ADITIVOS

Aquellas substancias que sea necesario incorporar al concreto, tales como endurecedores, adherentes, impermeabilizantes, acelerantes, plastificantes, aireantes, etc., deberán dosificarse con especial cuidado y en todo caso siguiendo fielmente las instrucciones y bajo la asesoría de la respectiva casa especialista, previa aprobación del fabricante, y sin que esto conlleve disminución en las características mínimas exigidas al concreto.

Aquellos aditivos que no estén especificados en planos ni en especificaciones particulares y que el contratista utiliza con el objeto de facilitar las condiciones de trabajo, acelerar o retardar su rendimiento etc. serán por cuenta del fabricante sin costo alguno para la obra.

Para fines prácticos se utilizará superplastificantes en proporciones entre el 1% y el 2% del contenido del cemento en peso, para fluidificar la mezcla, obtener mayor densidad y mejor acabado, manteniendo baja la relación agua/cemento.

D- AGREGADOS

Los agregados gruesos y finos para la fabricación de concreto, deberán conformarse con las especificaciones C33 de la ASTM.

Agregado Grueso

El agregado grueso será grava tamizada o roca triturada lavada de la mejor calidad obtenible en fuentes aprobadas por el Interventor. El contratista deberá controlar que los despachos de los materiales que se hagan de determinada fuente, sean de calidad uniforme y vengan libre de lodo y material orgánico.

La calidad del material sometido a la prueba de desgaste en la máquina de los Ángeles, no debe acusar un desgaste superior al 40% en peso. Los tamaños de los agregados gruesos pueden variar entre ½" y 1 ½" [10mm ó 35mm].

Los agregados no pueden presentar planos de exfoliación definidos y deben provenir de rocas de gran fino.

Si por dificultades locales fuera necesario alguna excepción en los límites anteriores, ello debe acordarse con el supervisor, según ensayo y diseño de mezclas previo con estos materiales.

Agregado fino

El contratista será responsable de que la calidad de la arena sea uniforme, limpia, densa y libre de lodos y materia orgánica.

El tamaño debe estar comprendido entre 0.5 y 2mm, muy bien gradado.

El contratista deberá hacer periódicamente los ensayos de las muestras de arenas, para cerciorarse de la bondad de la misma, en cuanto al contenido de arcilla y de materia orgánica.

Almacenamiento

El almacenamiento de agregados finos y gruesos deberá hacerse especialmente preparados para este fin, que permita que el material se conserve libre de tierra.

Se recomienda obtener una granulometría completa como la que se muestra en la tabla 2.8A

TABLA 2.8A

Granulometría para Fabricación de Adoquines de Concreto

Tamiz	% que pasa en peso
1/2"	100
3/8"	100
Nº.4	85
Nº.8	65
Nº.16	50
Nº.30	35
Nº.50	15
Nº.100	5
Nº.200	3

Fuente: Curso de Adoquines, ISCYC (Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto).

Pero con la condicionante de que se deben revisar las normas ASTM C33, C136, C140, C144

SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE LOS ADOQUINES DE CONCRETO

A continuación se dan a conocer las especificaciones más relevantes consistentes en el suministro y colocación de adoquines de concreto sobre una superficie preparada de conformidad razonable con las líneas, rasantes y secciones transversales. Como ya es sabido un pavimento de adoquines de concreto es aquel cuya rodadura está conformada por adoquines colocados sobre una capa de arena y con un sello de arena entre las juntas de los adoquines.

Materiales

Los materiales a usar en el adoquinado deberán llenar los siguientes requisitos:

(a) Adoquines de Concreto. El adoquín a usarse, incluyendo las “cuchillas”, será el denominado TIPO TRÁFICO, cuya resistencia característica a los 28 días no deberá ser menor que los siguientes valores.

Tipo 1 para Tráfico Pesado: 49.0MPa

Tipo 2 para Tráfico Liviano: 35.0MPa

El adoquín no deberá presentar en su superficie; fisuras, cortes ni cavidades, ni tener materiales extraños tales como piedras, trozos de madera o vidrio, embebidos en

su masa. Las aristas deberán ser regulares y la superficie no deberá ser extremadamente rugosa. El tamaño de los adoquines deberá ser uniforme para evitar irregularidades o juntas muy anchas al ser colocados. El tamaño máximo del agregado a usar en el concreto es de 19mm.

(b) Arenas. Se requieren dos tipos de arena: una para la capa de soporte y otra para el sellado. La capa de arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular y uniforme y no deberá contener más del 2% (en peso) de limo, arcilla o de ambos.

Su graduación será tal que pase totalmente por el tamiz de 9.5mm (3/8pulg) , que pase del 95 al 100% por el tamiz de 4.75mm (N° 4), del 80 al 95% por el tamiz de 2.36mm (N° 8), del 50 al 85% por el tamiz de 1.18mm (N° 16) , del 25 al 60% por el tamiz de 0.6mm (N° 30), del 10 al 30% por el tamiz de 0.3mm (N° 50), del 5 al 15% por el tamiz de 0.15mm (N° 100) y del 0 al 5% por el tamiz de 0.075mm (N° 200). El espesor de esta capa no deberá ser menor de 3cm ni mayor de 5cm. La arena de sellado debe tener como tamaño máximo 1.25mm (0.05pulg) y un máximo pasando la malla de 0.075mm (N° 200) del 5%.

(c) Remate del Pavimento. Las áreas adoquinadas deberán quedar confinadas en todos sus bordes y a los intervalos mostrados en los planos. Al comienzo y al final del adoquinamiento deberán construirse remates de concreto simple. Los materiales y métodos de construcción de estos remates se ajustarán a lo establecido por el diseñador.

Requerimientos para la Construcción

(a) Aceptación del Adoquín. Antes de iniciar el transporte de los adoquines al Proyecto, el Contratista someterá muestras representativas de los mismos al Contratante, a fin de que éste pueda autorizar su uso, si llenan los requisitos de calidad y resistencia. A este efecto, el Contratista suministrará certificado de un laboratorio de materiales independiente en que se haga constar que los lotes de adoquines destinados al Proyecto han sido debidamente muestreados (al azar) tomando no menos de 10 muestras por cada orden de menos de 20,000 bloques. El muestreo deberá ser hecho en la planta de fabricación de los adoquines y las pruebas se referirán a la exactitud dimensional y a la uniformidad de los adoquines tanto como a la resistencia a la compresión.

El cálculo de la resistencia característica a la compresión se hará por medio de la desviación estándar de la muestra de los 10 especímenes tomados del lote, cuya fórmula es la siguiente:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_i - f_m)^2}{n - 1}} \quad \text{o} \quad S = \sqrt{\frac{\sum f_m^2 - \frac{\sum f_i^2}{n}}{n - 1}}$$

Donde:

S : Desviación estándar, en Mpa

f_i : Sucesivamente la resistencia a la compresión de cada uno de los especímenes (Mpa).

f_m : Media aritmética de las resistencias a la compresión de todos los especímenes (Mpa)

n : Número de especímenes (10)

La resistencia característica, f_k , se calculará con la fórmula: $f_k = f_m - 1.64s$.

La resistencia característica deberá ser reportada al MPa más cercano.

Las muestras deberán prepararse cortando con sierra de diamante y puliendo las caras superior e inferior de manera que queden perfectamente paralelas y sin protuberancias en la superficie. Al cortar deben eliminarse los biseles en las aristas superiores. Los adoquines se secarán al aire bajo techo durante 24 horas antes de probarlos. Las placas de acero que se colocan en la parte inferior y superior de los adoquines en la máquina de compresión deben estar debidamente calibradas y tener el espesor adecuado de manera que no se produzcan concentraciones de esfuerzos.

(b) Capa de Apoyo. El adoquinado se apoyará en una capa de terracería mejorada, sub-base o base del espesor indicado por el diseñador. La construcción de la capa requerida, sub-base o base, será hecha de acuerdo a diseño, según corresponda. El perfil de la superficie de apoyo del adoquinado deberá ser igual al requerido para la superficie final del pavimento, con una tolerancia de 20mm. del nivel de diseño.

(c) Lecho de Arena. Sobre la superficie de apoyo se colocará una capa suelta de arena que servirá de lecho a los adoquines. El espesor requerido de arena suelta que se colocará dependerá de su contenido de humedad, graduación y grado de compactación. Dado que la arena no es vibrada sino hasta que los adoquines han sido

colocados, el espesor suelto correspondiente al espesor compacto requerido de 3 a 5cm es determinado por tanteos al comenzar los trabajos. Se deberán hacer frecuentes comprobaciones del nivel de la superficie del adoquinado para asegurarse de que el espesor que se está colocando de arena sin compactar es el correcto.

Una vez que la arena se ha depositado y esparcido sobre la superficie de apoyo, se emparejará y alisará por medio de reglas de enrasamiento (codales). En calles o caminos de 5m o menos de ancho se podrán usar las cunetas o bordillos laterales como guías para el enrasamiento de la superficie de la capa de arena; en pavimentos más anchos será necesario colocar rieles "provisionales para apoyar los codales de enrasamiento. Durante el esparcido y enrasamiento de la capa de arena, no será permitido que nadie se apoye, ponga el pie o camine sobre la arena, pues de hacerlo se producirá una precompactación dispereja lo que causará irregularidades en la superficie final del pavimento. Para minimizar los riesgos de alteración, se deberá evitar el enrasamiento de la arena en grandes distancias adelante de la brigada de colocación de adoquines.

Asimismo, antes de iniciar el trabajo de enrasamiento, se deberá remover de la arena todos los pedruscos, raíces, pedazos de madera, ripios, lodo, etc. que contenga la arena.

(d) Adoquinamiento. El adoquinado comprende cuatro etapas:

- 1) La colocación de los adoquines sobre la superficie preparada
- 2) El recorte de los adoquines en los bordes de la vía

- 3) La vibración de toda el área adoquinada y
- 4) Rellenado con arena de sellado.

1) Colocación de los Adoquines. Las primeras filas de adoquines deberán ser colocadas con mucho cuidado para evitar el desalojo de los bloques que ya están colocados. Una vez que se han colocado las primeras filas, se asentarán las demás firmemente dejando ranuras de 3 a 5mm, entre adoquines. A estas alturas no se deberá intentar el recorte de los adoquines para ajustarlos a los bordes. El adoquinador deberá trabajar a partir de la capa de adoquines previamente colocada y evitará la alteración de la arena enrasada y la última fila de bloques colocados, comprobando frecuentemente que los bloques están bien asentados y acomodados y, si es necesario, acomodándolos a golpes de un mazo de hule o madera. Si hay áreas en que hayan quedado ranuras muy abiertas se les removerá y volverá a colocar.

2) Recorte de los Adoquines. Aquellas formas irregulares que queden en los bordes serán rellenadas con cuñas o pedazos de adoquín cortados con un cortador de adoquines o aserrados. Se evitará colocar piezas muy pequeñas o delgadas, pues con frecuencia se hacen pedazos con la vibración. El recorte de los adoquines para ajustar el pavimento a los bordes, no se hará sino hasta haber colocado adoquines en un área considerable.

En las parrillas de tragantes, en pozos de visita y tapas de inspección se procederá de una manera similar hacia los bordes, teniendo cuidado de que los

bloques, al ser compactados, queden ligeramente más arriba del nivel de entrada al dren.

3) Vibración. Una vez que los bordes del adoquinado hayan sido completados a lo largo de la calle o camino, se vibrará la superficie por medio de una plancha o rodillo vibratorio. El número de pases requerido dependerá de una variedad de factores y será determinado por medio de tanteos en el sitio, tratando de obtener una superficie que sea transitable con suavidad y que no sea posteriormente compactada por los vehículos. Generalmente, bastan dos o tres pasadas. No se aplicará vibración a áreas que queden dentro de un metro de adoquines no confinados; por otra parte, no se deberán dejar áreas sin vibrar de un día para otro.

4) Rellenado con Arena. Finalmente, se rellenarán las ranuras o juntas entre adoquines con arena de sellado, la que será aplicada con escoba o cepillo y, luego, se pasará el vibrador dos o tres veces hasta completar la trabazón entre los bloques.

Tan pronto como se haya completado la vibración, se podrá abrir el camino o calle al tráfico. Las ranuras que queden entre los bordillos o cunetas laterales o entre los remates o travesaños de concreto y los adoquines serán rellenas con mortero de arena y cemento Pórtland en proporción de 4:1 por peso. Antes de aceptar cada tramo de adoquinado se comprobará si la rasante longitudinal y el bombeo cumplen con las pendientes asignadas.

CAPITULO III

DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO

La ejecución de los pavimentos con adoquines de concreto, se ha realizado en el transcurso del tiempo en base a la experiencia adquirida en diferentes proyectos. La resistencia de este tipo de pavimentos en sus diferentes elementos, como en el acabado deben de cumplir con las normas o especificaciones técnicas a que podrían estar sometidos.

El comportamiento estructural de los adoquines se analiza de acuerdo a sus esfuerzos de forma vertical, horizontal y rotacional, observándose con ello el comportamiento que estos adquieren cuando son sometidos a diferentes tipos de cargas.

El comportamiento estructural de los pavimentos de adoquines ha sido analizado usando el método de elementos finitos. Se han evaluado los valores de las cargas, los valores de rigidez de la superficie, los esfuerzos de sub-base y los espesores de la superficie mediante el análisis de pavimentos en los cuales estos factores han sido variados.

Las variables y los criterios a considerar en el diseño es una fase predominante de todo diseñador de pavimentos, ya que aquí se analizan las propiedades de la subrasante, las características de los materiales, los factores del medio ambiente y otros tipos de variables que podrían intervenir en el diseño.

Dependiendo de las variables y criterios adoptados para el diseño, se obtiene una clara noción del funcionamiento que el pavimentos debe de tener en el transcurso de su vida útil.

Es muy importante estudiar las fallas para ver los materiales desempeñándose hasta sus límites y poder determinar acertadamente los factores de seguridad en todos los componentes de la estructura.

Finalmente en este capítulo se estudia el diseño estructural de los pavimentos con adoquines de concreto, por los métodos de organismos especializados como lo son: ICPI, CCA, los cuales se analizan individualmente de acuerdo a sus parámetros de diseños específicos, obteniéndose al final de cada método estudiado ejemplos representativos, de forma lógica y esquematizada de los pavimentos con adoquines de concreto.

3.1 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Una de las características únicas del comportamiento de los adoquines es la estructura mecánica de la trabazón, que es un beneficio estructural, la cual lleva a que la superficie adopte un modo de funcionamiento similar al de un material flexible convencional.

El Dr. John Knaption definió trabazón como la habilidad de un adoquín para moverse independientemente de los más cercanos, y categorizó la trabazón a través de sus tres componentes: rotacional, vertical y horizontal; determinándose de la forma siguiente:

- ❖ Trabazón vertical: esta dada por el material de lleno de las juntas.
- ❖ Trabazón rotacional: se logra por la provisión de los confinamientos laterales.
- ❖ Trabazón horizontal: está dado por el uso del patrón de espina de pescado o posiblemente, por el uso de adoquines con formas adecuadas.

Un pavimento que tenga trabazón completa puede soportar altos niveles de aplicación de cargas. Se puede observar que un pavimento de adoquines se comporta de forma que los adoquines actúan conjuntamente como un sistema semejante al de un pavimento que tiene más de un carácter de material homogéneo y flexible en vez de un conjunto de unidades individuales comportándose independientemente.

En el caso de existir la trabazón, la definición de trabazón manifiesta: si los adoquines próximos no pueden moverse independientemente unos de los otros, la capa de arena debajo de ellos tiene que soportar valores de esfuerzos de compresión verticales similares a lo largo de los límites entre adoquines, dado que cualquier diferencia en los esfuerzos vecinos, llevaría a deformaciones diferenciales en la capa de arena y a la pérdida de la trabazón vertical.

En la capa de arena los esfuerzos de compresión ocurren sólo en una esquina de la cara inferior del adoquín y los esfuerzos cero ocurren en las tres esquinas restantes. A medida que la huella de la carga ocupa progresivamente más área superficial del adoquín, se logra que los esfuerzos sean de compresión en dos esquinas del adoquín. Eventualmente, en el régimen de esfuerzos vertical, la huella de la carga se arrastra o se mueve lentamente hacia dentro del adoquín, entonces las tres esquinas presentan esfuerzos de compresión sobre la capa de arena. Finalmente se desarrolla esfuerzo de compresión en cada una de las cuatro esquinas en la capa de arena, en el régimen de esfuerzos verticales.

Los procedimientos de diseño para pavimentos de adoquines se basan en hacer equivalentes los adoquines con los materiales tradicionales de construcción de pavimentos flexibles. Por eso, es importante considerar la influencia del material de superficie en el comportamiento de los pavimentos flexibles. Esto se intenta ahora, asignando esfuerzos y deformaciones en los puntos críticos del pavimento para materiales de superficie de distintas propiedades mecánicas y espesores.

La intención de los componentes de la estructura de los pavimentos es distribuir las cargas de tráfico para que los esfuerzos y deformaciones desarrolladas por ellas en la capa de la sub-base y base estén dentro de la capacidad de los materiales de estas capas.

Lo que se busca en cualquier diseño de pavimentos es de asegurar un comportamiento satisfactorio durante toda la vida del pavimento, teniendo superficies durables, no resbalosas para los peatones, no deslizantes para los vehículos, transitable y atractiva, por lo que implica predecir la manera en que el tránsito modificará el comportamiento del pavimento a partir desde el momento de su construcción. Algunas pruebas aceleradas del tránsito y observaciones sobre adoquines de concreto en servicio, han establecido que el comportamiento en sus inicios se da de manera similar a los pavimentos flexibles, excepto por las diferencias siguientes:

- 1) Dependiendo de la práctica de la construcción y subrasante estable, los pavimentos con adoquines de concreto bajo tránsito, adquieren progresivamente mayor rigidez y tienden a desarrollar una condición de hermeticidad. Esto se da por el incremento en la capacidad de distribución de la carga de pavimento y la reducción de la rapidez de la deformación.
- 2) Teniendo una hermeticidad en el pavimento de adoquines de concreto, este adquiere una condición de equilibrio que se afecta por el volumen del tránsito, por la magnitud de las cargas de una rueda, dentro de 2 a 7 toneladas, por lo

consiguiente los adoquines actúan en este momento como una capa estructural y no como una superficie de desgaste.

- 3) Los pavimentos con adoquines de concreto con sub-bases granulares generalmente pueden presentar deformaciones elásticas hasta de 2mm, y al mismo tiempo muestran solamente deformaciones de rodadas pequeñas.

Por lo anterior, los pavimentos con adoquines de concreto por su comportamiento estructural se asemejan a los pavimentos flexibles, pero según sean las capas inferiores que lo componen siendo estas más o menos rígidas, se consideran un caso intermedio entre los pavimentos flexibles y rígidos. Aun cuando los adoquines son elementos de gran rigidez, la ausencia de ligante entre ellos hace que las cargas aplicadas afecten a un número limitado de piezas, por lo cual sus deformaciones se consideran localizadas. La transmisión de cargas verticales entre los bloques, que es lo que determina el grado de flexibilidad o rigidez del pavimento, se realiza por rozamiento, a través de la arena fina situado entre las juntas, por consiguiente una serie de aspectos consecutivos, como la separación entre los adoquines afectaran al comportamiento del pavimento como se muestra en el figura 3.1A

En términos compresibles en un pavimento de adoquines de concreto, ya que la transmisión de los esfuerzos verticales se realiza por rozamiento, a través de una arena fina de sellado que se coloca entre las juntas entre los bloques, las acciones horizontales del pavimento debe de estar confinadas lateralmente, mediante elementos rígidos como lo son los bordes de confinamiento tales como bordillos, cunetas de

concreto, etc. Para esta función, desempeña un papel fundamental la arena de sellado, limitando los desplazamiento individuales de los bloques.

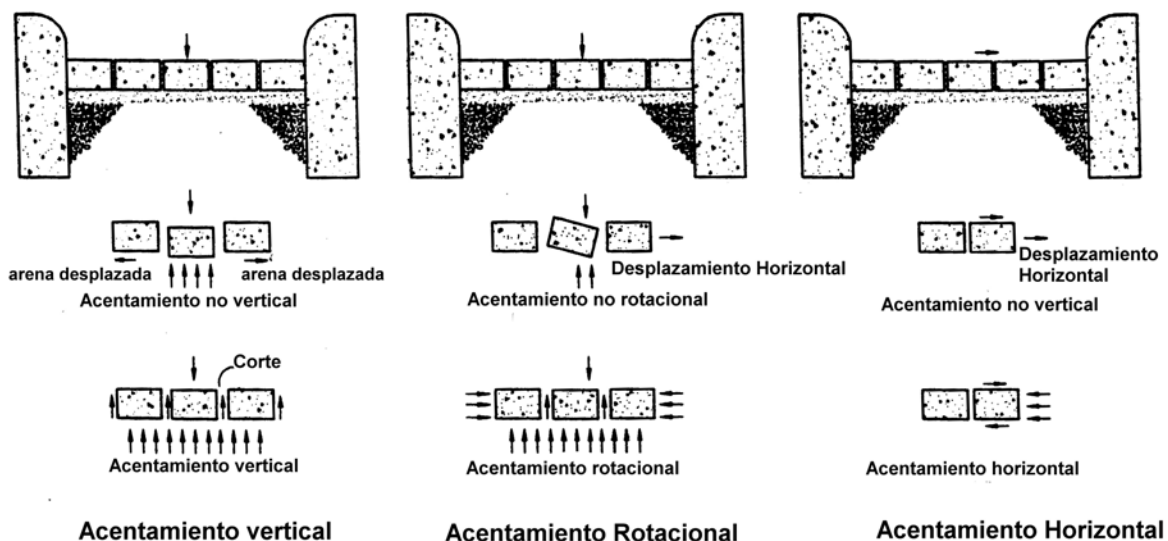


Figura 3.1A

Tipos de Comportamiento Estructural: Vertical, Rotacional y Horizontal

3.1.1 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El modelo de elementos finitos comprende una idealización de simetría axial en la cual un sistema de capas cilíndrico, de 7m de diámetro y 2.5m de profundidad, fue modelado mediante 70 elementos rectangulares, cada uno con un nodo en cada una de las esquinas y en los puntos medios de cada una de los lados. Cada nodo perimetral del modelo fue restringido horizontalmente y cada nodo en el nivel más bajo fue restringido horizontal y verticalmente. Se aplicó una carga concentrada en el nodo más alto del centro del modelo. Para simular exactamente el efecto de una huella

circular originada por la carga, se generó, sobre el cilindro, un elemento de simetría axial, extra rígido, de radio igual al radio de la huella de carga. El modelo muestra cómo la inclusión de un elemento muy rígido en el punto de aplicación de la carga causa que el elemento permanezca casi horizontal a medida que se deflecta verticalmente. Esto demuestra que la verdadera huella de la carga se ha modelado de manera precisa, El radio de la huella de la carga fue determinado asumiendo la carga como una presión entre 0.4N/mm^2 y 3.2N/mm^2 . El modelo se graduó de manera que se colocaron elementos más pequeños cerca del punto de aplicación de la carga, donde la variación de esfuerzos era más pronunciada y se tenían esfuerzos mayores a mayor profundidad y radio. Usando el modelo de elementos finitos con módulo elástico del material de superficie, entre 100N/mm^2 y $16,000\text{N/mm}^2$ (es decir, valores que van más allá de los rangos en los cuales se encuentran normalmente los materiales de superficie) y valores del espesor de la superficie abarcando los que frecuentemente se tienen, ha sido posible evaluar la respuesta de todo el pavimento al rango completo de características de los materiales de superficie. El pavimento resultante fue definido en términos de deflexión superficial, esfuerzos de tracción y esfuerzos de compresión.

Los resultados presentados permiten evaluar la sensibilidad de estas respuestas los cambios en las propiedades de la superficie para varias condiciones de soporte de la subrasante, caracterizados mediante valores de la Relación de Soporte de California CBR del 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 10% y 30%. El modelo se basó en la teoría lineal elástica en la cual los materiales de cada capa son asumidos como isotrópicos, homogéneos y linealmente elásticos. El modelo ha sido analizado para espesores de superficie de 110mm, 120mm, 130mm, 140mm, 150mm, 160mm, 170mm, 180mm,

190mm, y 200mm, y para un millón de repeticiones de carga de ejes equivalentes de 100KN, 200KN, 400KN y 800KN.

ANALISIS DE RESULTADOS DEL MÉTODO

La máxima deflexión en la superficie decrece rápidamente aumentando la resistencia de la subrasante hasta que ésta consigue un nivel casi estable para valores de CBR de la subrasante por encima del 10%. La máxima deflexión de la superficie se reduce ligeramente con el incremento en la rigidez de la superficie y con la reducción de la magnitud de la carga. Cuando los valores de CBR de la subrasante caen por debajo del 5% la deflexión máxima de la superficie aumenta rápidamente con el aumento de la magnitud de la carga.

La influencia de la superficie del pavimento se ha evaluado por la remoción de la superficie y la aplicación directa de las cargas sobre la base para entender cómo la presencia de una superficie influye en la deflexión. El valor de CBR de la subrasante tiene una mayor influencia que la rigidez de la superficie sobre la deflexión superficial. En particular, la deflexión crítica es muy sensible al cambio en el valor de CBR de la subrasante, en aplicaciones con cargas altas. Además, la presencia de la superficie incrementa la estabilidad del pavimento, al prevenir el decrecimiento en su deflexión.

El esfuerzo de tracción crítico disminuye hasta casi un nivel estable con los incrementos en los valores de CBR de la subrasante y se reduce significativamente con la reducción en la magnitud de la carga. El esfuerzo de tracción máximo aumenta

ligeramente con el incremento en la rigidez superficial y alcanza un nivel casi estable con incremento en el valor de CBR de la subrasante. Sin embargo, para magnitudes de carga relativamente bajas, un incremento en el valor de CBR de la subrasante tiene poca influencia en el esfuerzo de tracción. Cuando los valores de CBR de la subrasante están por debajo del 5% el máximo esfuerzo de tracción aumenta significativamente con el incremento en la magnitud de la carga. Esos incrementos llegaron a ser significativos en aplicaciones para carga pesadas.

Cambios grandes en la rigidez de la superficie tienen efectos pequeños en el comportamiento de la base y que los cambios en el esfuerzo de tracción máximo, son insensibles para valores de CBR por encima del 10%.

En el caso de rigidez de la superficie relativamente alta, el incremento en el esfuerzo a compresión no es sensible al incremento del valor de CBR de la subrasante. El incremento promedio del esfuerzo de compresión es de sólo el 6%. Es demostrable que un cambio en la rigidez de la superficie de 100N/mm^2 a $16,000\text{N/mm}^2$, con un CBR del 2%, llevó a una disminución del 25% en los esfuerzos de compresión resultantes de huellas de carga con fluctuaciones entre 100kN y 800kN. La variación en la rigidez de la superficie, de $2,000\text{N/mm}^2$ a $5,000\text{N/mm}^2$ lleva a una variación en los esfuerzos de compresión menor del 1%. Grandes variaciones en la rigidez de la superficie, tienen un efecto pequeño en el comportamiento de la base del pavimento.

**El efecto del espesor de la superficie en deflexiones críticas para
varias rigideces de la superficie**

La deflexión máxima disminuye hasta llegar a un nivel casi estable con el incremento tanto en el espesor como en la rigidez de la superficie. El más sensible cambio de la deflexión ocurre en el caso de una rigidez de la superficie relativamente baja. Cuando la rigidez de la superficie excede los $7,000 \text{ N/mm}^2$, los cambios en la deflexión tienen un menor efecto en el comportamiento. Sin embargo los cambios en el espesor de la superficie tienen una influencia directa en la deflexión máxima, particularmente en pavimentos con rigideces de superficie relativas bajas. Por eso, un aumento en el espesor de la superficie hace que un pavimento sea más estable.

**La influencia de la rigidez y del espesor de la superficie en los esfuerzos de
tracción en la parte de abajo de la base.**

El esfuerzo de tracción crítico disminuye hasta llegar a un nivel casi estable con un aumento en la rigidez y del espesor de la superficie, especialmente en pavimentos con altos espesores de superficie. Una rigidez de superficie de $1,500 \text{ N/mm}^2$ es aceptable, significa que cuando la rigidez cae debajo de este valor, el esfuerzo principal máximo aumenta con la reducción en el espesor de la superficie. Sin embargo cuando la rigidez excede los $1,500 \text{ N/mm}^2$, el aumento en el espesor de la superficie reduce rápidamente el esfuerzo de tracción. Las variaciones en la rigidez de la superficie tienen efectos menores en la distribución de esfuerzos críticos de tracción para un espesor de 110mm.

**El efecto del espesor y rigidez de la superficie en el esfuerzo mínimo principal
(compresión) en la parte de abajo de la base.**

El esfuerzo crítico de compresión disminuye hasta el punto de cambio con el incremento en el espesor y la rigidez de la superficie. Esos puntos de cambio están entre una rigidez de la superficie de $1,000\text{N/mm}^2$ y $4,500\text{N/mm}^2$. Un incremento después del punto de cambio tiene una pequeña variación del funcionamiento. Por eso el uso de materiales de superficie con una rigidez menor de $4,500\text{N/mm}^2$ ofrece el mismo funcionamiento que un material cuya rigidez sea más alta de $4,500\text{N/mm}^2$

3.2 VARIABLES Y CRITERIOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO

La mayoría de las deformaciones de los pavimentos con adoquines de concreto se forman durante el periodo de carga inicial, antes de lograr la hermeticidad o rigidización hay ciertos factores a considerar los cuales son:

La selección de variables de diseño

Las propiedades de la subrasante, características de los materiales, importancia del tránsito, factores de medio ambiente y otro tipo de variables, son las que intervienen en el diseño de estructuras de pavimento. Muchas veces, para caminos y calles de menor importancia, la información no está disponible o actualizada, por lo que es necesario recabarla.

Algunos valores de diseño están especificados y pueden variar con el tipo de carretera ó nivel de tránsito. Para tránsito pesado se han seleccionado valores más conservadores con resultado de espesores mayores. Por ejemplo, un valor de esfuerzo de diseño para la subrasante, puede resultar bajo para un tránsito pesado pero aceptable para un tráfico liviano.

Poco conocimiento de las características de la subrasante y las propiedades de otros materiales particularmente de la pavimentación, variarán su calidad y desempeño, lo que traerá como consecuencia un alto costo de mantenimiento; también la selección del tipo de base puede afectar el comportamiento del pavimento

Los criterios a considerar en el diseño

En los procedimientos de diseño, la estructura de un pavimento es considerada como un sistema de capas múltiples y los materiales de cada una de las capas se caracterizan por su propio Módulo de Resiliencia.

La evaluación de tránsito esta dada por la repetición de una carga en un eje simple equivalente de 80kN (18,000lb) aplicada al pavimento en un conjunto de dos juegos de llantas dobles. Para propósitos de análisis estas dobles llantas equivalen a dos platos circulares con un radio de 115mm ó 4.52" espaciados 345mm ó 13.57" centro a centro, correspondiéndole 80kN ó 18,000lb de carga al eje y 483kPa ó 70Psi de presión de contacto sobre la superficie.

Este procedimiento puede ser usado para el diseño de pavimentos compuestos de varias combinaciones de superficies, bases y Sub-bases. La subrasante que es la capa más baja de la estructura de pavimento, se asume infinita en el sentido vertical y horizontal; las otras capas de espesor finito son asumidas finitas en dirección horizontal. En la superficie de contacto entre las capas se asume que existe una completa continuidad o adherencia.

Conversión De Transito En ESAL´s según Tabla de Diseño:

Es determinante decir que esta tabla (VER ANEXO N° 3) es elaborada por el método riguroso para poder tener una mayor análisis del tipo de tráfico y poder dar datos más verosímiles para el diseño de los pavimentos con adoquines de concreto.

Tráfico Actual:

Es el volumen diario contado para cada vehículo tipo.

Factores de Crecimiento:

Es el factor de Crecimiento para cada tipo de vehículo. El factor de crecimiento depende de la tasa de crecimiento y del periodo de análisis y se obtienen de la tabla 3.2A.

Cada tipo de vehículo puede tener una tasa de crecimiento distinta, dado que no tiene porque crecer al mismo tiempo.

TABLA 3.2A

FACTORES DE CRECIMIENTO DE TRANSITO								
Periodo de Análisis (Años)	Factor sin Crecimiento	Tasa de Crecimiento Anual %						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	18.29	19.60	21.02	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.54
18	18.00	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	29.78	33.07	36.79	41.00	45.76	57.27
25	25.00	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.00	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.00	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

En la columna del Factor de crecimiento = $((1 + g)n - 1)/100$ donde $g = \text{tasa}/100$

Y no debe ser nula. Si esta es nula el factor es igual al periodo de análisis

Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos METODO AASHTO 1993, Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, Facultad de Ingeniería, Universidad nacional de San Juan.

Tráfico de Diseño:

La multiplicación de la columna de tráfico actual por la columna de factores de crecimiento multiplicada por 365 días nos da la columna del tráfico de diseño que no es más que la cantidad acumulada de vehículos de cada tipo en el período de análisis.

Factores de Eje Equivalente:

Esta columna se obtiene por medio de las tablas de diseño de pavimento flexibles proporcionados por la AASHTO y que dependen de cada peso y configuración o tipo de camión (ejes simples, tandem o tridem) y los valores asumidos de índice de servicialidad final y el número estructural (SN para pavimentos flexibles) VER ANEXO N° 4 (TABLAS DE DISEÑO).

ESAL's: (Carga Axial Simple Equivalente)

Los pavimentos se diseñan en función del efecto de daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida de diseño (ver el ANEXO N° 5). Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferentes pesos y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes llamado ESAL's, para el caso del ANEXO N° 3, es el producto del tráfico de diseño por el factor de eje equivalente, y la sumatoria total de esta columna, es el número total de ESAL's para el diseño del pavimento a considerar y el cual debe afectarse por el factor de distribución por dirección y el factor de dirección por carril.

Factor de Distribución por Dirección (Factor de Sentido)

Es el factor del total del flujo vehicular, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; pues la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede ser que una dirección el flujo sea mayor que en la otra, lo cual puede obtenerse por conteos vehiculares ó de la tabla 3.2B.

TABLA 3.2B**Factor de Sentido**

Número de Carriles en Ambas Direcciones	% LD
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Factor de Distribución por Carril (Factor de Carril)

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril, para calles de varios carriles, el de diseño será el extremo, por el hecho de que los vehículos pesados viajan por ese carril ó según tabla 3.2C.

TABLA 3.2C**Factor de Carril**

Número de Carriles en una sola Dirección	LC
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Criterios de adopción de niveles de servicialidad:

Índice de Servicialidad: es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo.

Para el Cálculo de ESAL's que se aplicará a una estructura de pavimento es necesario asumir en primera instancia, para pavimentos flexibles el número estructural (SN), que se considere adecuado a las cargas, también se asume el índice de servicialidad final aceptable de acuerdo con los programas de mantenimiento que se considere necesario el tipo de carretera.

La servicialidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de servicialidad presente P_{si} , mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 = pésimas condiciones, 5= perfecto.

En el diseño de pavimentos se deben elegir la servicialidad inicial y final. La inicial P_o , es función del diseño de pavimento y de la calidad de la construcción. La servicialidad final P_f , es función de la categoría del camino y es adoptada en base a éstas y al criterio del proyectista, los valores recomendados según la AASHTO son:

Servicialidad inicial:

$P_o = 4.2$ Para Pavimentos Flexibles (Nuestro Caso)

Servicialidad Final:

$P_f = 2.5$ o más para caminos muy importantes

$P_f = 2.0$ para caminos de menor tránsito

No es práctico, ni económico la colocación de capas de un espesor menor que el mínimo requerido. Además las capas de un cierto espesor por encima de un mínimo

son más estables. Muchas veces se especifica un número de espesor de capas para mantener la estructura del pavimento por encima del nivel de congelamiento o para mitigar los efectos de los suelos expansivos.

El espesor de una capa de tratamiento superficial es despreciable en lo que se refiere al porcentaje de SN (Número Estructural) absorbido, pero tiene gran efecto en la base y sub- base ya que reduce la entrada de agua en la estructura del pavimento.

Los espesores mínimos en función del SN (Número estructural) [que no es más un valor de espesor asumido en pulgadas, por lo consiguiente si el número estructural es 1, significa que corresponde a 1pulg, y así sucesivamente, según figura 3.2A están basados en el concepto de capas granulares no tratadas y deben estar protegidas de tensiones verticales excesivas que les producirían deformaciones permanentes.

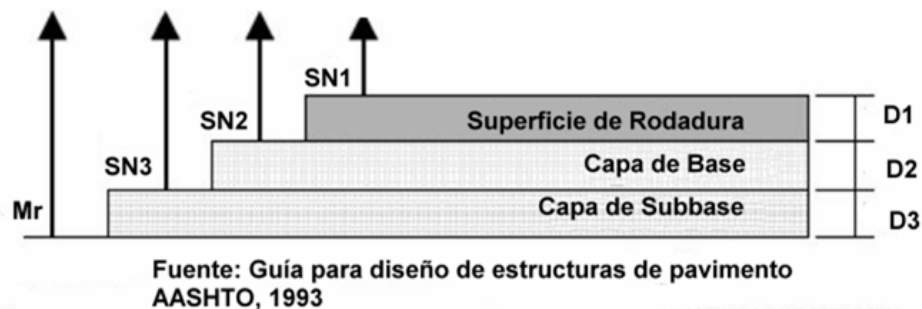


Figura 3.2A

Procedimiento para Determinar el Espesor

3.3 FUNCIONAMIENTO

El objetivo primordial de un funcionamiento es lo perteneciente o relativo a las funciones; por lo tanto en los pavimentos con adoquines de concreto, se determina todo aquello que en su diseño u organización se ha atendido, sobre todo, la facilidad, utilidad y comodidad para el tipo de tráfico a que estará sometido en su vida útil.

- ❖ Cada adoquín transfiere las cargas verticales, horizontales y torsionales a los demás adoquines que se encuentran a su alrededor (área de influencia) rodadura homogénea y flexible como se muestra en la figura 3.3A.

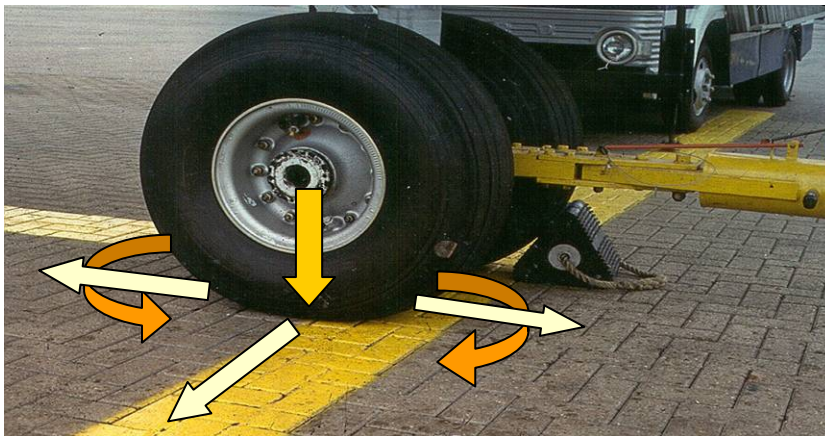


Figura 3.3A

Transferencia de Cargas en Pavimento de Adoquines

- ❖ El pavimento de adoquines de concreto se comporta como una estructura flexible, en función del espesor y rigidez de las capas de base y sub-base que se le coloquen.
- ❖ En la capa de rodadura, cada adoquín transfiere parte de la carga o empujes, impuestos por el tráfico, a los adoquines circundantes y esos, a su vez, a los que

los rodean, hasta un diámetro cercano a 60cm. En esto tiene una importancia radical la calidad de la obra.

- ❖ Una adecuada transferencia de carga requiere (ver figura 3.3B)
 - Unidades con dimensiones precisas.
 - Juntas pequeñas (alrededor de 2.5mm) y llenas.
 - Compactación adecuada de todo el conjunto.
- ❖ Para la estabilidad del pavimento de adoquines no es suficiente contar con adoquines de buena resistencia y durabilidad sino que sus tolerancias dimensionales estén dentro de los límites permisibles.

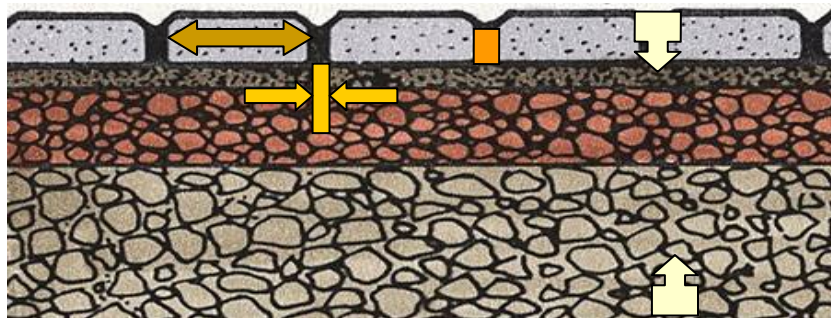


Figura 3.3B

Transferencia de Cargas en Pavimento de Adoquines

- ❖ Adicionalmente, un proceso cuidadoso de diseño estructural sólo podrá dar los resultados esperados si en el proceso constructivo se mantuvieron las premisas básicas de juntas estrechas y bien llenas de material para facilitar la transferencia de carga.

3.4 TIPOS DE FALLAS

La investigación de fallas puede ser compleja porque una falla corriente puede llevar a una falla futura. A menudo la conclusión inicial no es correcta.

Las fallas se pueden resumir en tres tipos:

1. De diseño
2. De construcción.
3. De aplicación de producto.

La falla estructural de un pavimento se manifiestan por si misma cuando la superficie muestra grandes deformaciones, causadas generalmente por la falla de una o más capas subyacentes. Este es debido a que poseen un espesor o una calidad inadecuados para soportar las cargas aplicadas, estando colocadas sobre la subrasante. Las propiedades del material utilizado pueden cambiar con el tiempo. La falla se genera cuando las capas estructurales no pueden sostener una superficie libre de grietas y a medida que más y más arena entre en las grietas, se tendrá una superficie cada vez más inaceptable para el paso de vehículos.

La selección inadecuada del material de base puede causar fallas, particularmente cuando se permite que penetre la humedad en estas capas.

El confinamiento inadecuado de los adoquines en servicio, da como resultado el desplazamiento de los mismos. Las juntas de espesor inapropiado o irregular pueden causar fallas al permitir la entrada de agua a través de ellas. El funcionamiento del pavimento depende de la trabazón y, por lo tanto, de los movimientos elásticos relativamente bajos. Los detalles constructivos pobremente ejecutados y los cortes en los extremos pueden contribuir a la pérdida de trabazón.

Las depresiones en la superficie, de cerca de 1m de diámetro han sido denominadas "huellas del elefante", y fueron atribuidas originalmente a fallas en la arena cuando las partículas de arena se degradan, causando que varíe el volumen de arena.

Los adoquines se han partido en dos, y esto se atribuye, generalmente, a un inadecuado espesor de la capa de arena o a cargas de gran impacto.

3.4.1 FALLAS EN EL DISEÑO

En todos los métodos de diseño, es necesario conocer la resistencia de la subrasante definida de acuerdo con el valor de la Relación de Soporte de California CBR. Los métodos actuales de diseño usan el valor de CBR saturado en vez del valor de CBR determinado en el sitio. Existen dos valores de CBR relevantes: uno durante la construcción, y el otro el de la vida de servicio. En términos generales mientras más alto el valor CBR, más fuerte es el suelo y la construcción total puede ser reducida.

Un pavimento se diseña para una vida útil y según el número de vehículos que van a pasar sobre el pavimento. En la evaluación correcta de CBR de la subrasante, el no tomar muestras suficientes del sitio de la investigación puede resultar en un subdiseño, por ejemplo, por no tomar el menor valor representativo del CBR. El no obtener unos valores estimados correctos acerca del número de vehículos que van a transitar la vía, puede derivar en un espesor mayor o menor de la estructura diseñada para construcción.

La elección del material errado para la sub-base puede dar como resultado que la superficie se levante. Cuando se coloca una capa rígida de base, se le debe construir un drenaje a la capa de arena, ya que las investigaciones muestran como resultado que la capacidad de soporte de la arena se puede reducir debido a su fluidificación o degradación.

Se deben tener en cuenta las pendientes de la superficie, importantes para la rápida remoción de agua superficial, lo que evitará la formación de charcos

Para las carreteras, la pendiente mínima se especifica generalmente como el 1% longitudinalmente y el 2.5% transversalmente. Cuando se utilizan drenajes, estos deben estar más bajos que la superficie del pavimento para poder drenar el agua del área. La tolerancia de la superficie de adoquines de concreto cercana a los sumideros, a los canales de drenaje de la superficie y las salidas deben ser de +6mm – 0mm

La información escrita acerca de las fallas en diseño donde se ha presentado ahuellamiento, es muy limitada.

Los ahuellamientos son causados porque las capas estructurales subyacentes se consolidan por el tráfico canalizado que pasa sobre los adoquines. Cuando se especifican los detalles de confinamiento lateral, es importante tener conocimiento del tipo y peso de los vehículos.

La trabazón, como se describió previamente, requiere que los adoquines sean contenidos y no se permite que se muevan de un lado para otro, apretándolos. Los bordes deben ser lo suficientemente fuertes para tolerar el manejo.

Existen dos alturas (espesores) de adoquines que se especifican comúnmente: 60mm y 80mm recomendados para el uso bajo tráfico. Como guía para su uso, los adoquines de 80mm se utilizan para lugares con tráfico pesado, mientras que los de 60mm se utilizan en áreas de tráfico liviano.

Algunas formas de adoquines sólo se pueden colocar en patrón de hiladas. Para los adoquines rectangulares, se prefiere el patrón de espina de pescado en áreas con tráfico vehicular. Cuando se colocan los adoquines rectangulares en hiladas, en áreas de mucho frenado, los adoquines se han apartado de su alineamiento.

3.4.2 FALLAS DE CONSTRUCCIÓN

Aun cuando se han escrito muchas normas acerca de los métodos para la construcción de pavimentos de adoquines, muchos contratistas continúan empleando subcontratistas con pocas o casi nulas habilidades en la construcción de pavimentos con adoquines de concreto.

Muchos de estos subcontratistas son empleados para colocar la capa de arena y la de adoquines, correspondiéndole al contratista principal colocar las capas subyacentes.

La capa de arena no se puede usar como material nivelador para la base. Cuando se construye una base flexible, esta debe ser cerrada, de manera que la arena no caiga dentro de los espacios vacíos y los llene. Esto resultaría en un perfil inaceptable en la superficie. Si la superficie de la base tiene que tener una textura abierta, se debe tratar de acabar con dedicación y se puede sellar con un material más fino.

Al colocar la arena, usando el método no compactado, de colocación, debe ser de densidad uniforme. Al comienzo del enrasado, se toma cerca de medio metro de avance antes de que se pueda formar una sobrecarga detrás del enrasador. Dado que varía el volumen de la arena, después cuando se expone el pavimento al tráfico, el

resultado es una pequeña depresión entre el área principal de adoquines de concreto y la superficie existente,

Cuando se utilizan materiales estabilizados con cemento (CBM) para las bases, es necesario curar y proteger correctamente base ya compactada [En áreas más grandes donde se han utilizado un CBM Tipo 3 (suelo-cemento), se debe esperar a que endurezca la base y se contraiga] Estas fisuras se deben sellar de tal manera que no penetren partículas de arena en ellas, ya sea mediante membranas impermeabilizantes u otros medios,

En situaciones en las cuales se construyen pavimentos con adoquines de concreto en vías existentes y la base es discontinua, puede suceder que ocurran fisuras entre la construcción existente y la nueva construcción, creando una grieta natural entre ellas. Una vez más, la arena puede penetrar en las fisuras después de puesto el pavimento al tráfico, dando como resultado que en este momento el pavimento de adoquines de concreto está por debajo de su nivel original.

La mayoría de las vías cuentan con formas variadas de cámaras de inspección construidas dentro de ellas, normalmente en mampostería. Esto puede ocasionar dos problemas serios: primero, el material importado usado para la base, no ha sido compactado al mismo nivel de las áreas abiertas del lugar. Cuando el tráfico pasa sobre el pavimento terminado, consolida esta capa a través de las capas superiores, causando una depresión alrededor de la cámara. El segundo problema que puede ocurrir es similar al problema descrito previamente cuando se construye con otro

material diferente. Ambos se pueden reducir compactando la base alrededor de la cámara en capas más delgadas y colocando un geotextil sobre la subrasante o la base y subiéndolo hacia las paredes de la cámara. Cuando una tapa de la cámara no se ha pegado bien a la estructura de mampostería, se tiene como resultado la pérdida de arena a través de la fisura creada por los vehículos que la pisan, lo que ocasiona que el marco de metal se desplace. La solución es pegar firmemente el marco con un mortero epóxico fuerte y empalmar el marco y la mampostería mediante pernos, en vez de, únicamente, asentar el marco sobre un mortero débil.

Los otros métodos de tratamiento alrededor de las cámaras de inspección son rodear el marco de la cámara con un marco de concreto,

En muchos casos el contratista define los confinamientos y los fija rígidamente, y generalmente deja ningún margen de tolerancia para los adoquines. Esto resultará en que haya que hacer cortes muy pequeños para acomodarlos o que las juntas entre adoquines se abran para permitir que se acomoden.

Ambos métodos pueden generar fallas por las pequeñas piezas que pueden ser succionadas por tráfico o por las máquinas limpiadoras de calles que genera el desplazamiento de los adoquines y la pérdida de la trabazón.

Otro punto a considerar es el agua que puede movilizar la arena y causar un perfil superficial insatisfactorio, lo que tiene efecto en el comportamiento de las capas subyacentes. La recomendación de la norma es que la colocación de la arena, de los

adoquines, el corte de los ajuste, el vibrado, el llenado de las juntas se lleve a cabo diariamente o a medida que avanza el proceso.

La definición del lugar de los confinamientos se debe hacer con mucho cuidado, pues si se alinean en forma incorrecta, puede originar cortes excesivos.

Como se dijo al principio para que los pavimentos con adoquines de concreto trabajen correctamente se requiere de la trabazón. Para lograrla es necesario que los adoquines sean restringidos mediante el uso de bordillos adecuados, los cuales no deben ser muy largos.

Además de contener los adoquines, el confinamiento debe contener la capa de arena.

3.4.3 FALLA DE LOS MATERIALES

Los materiales de la construcción son la capa de arena gruesa y los adoquines de concreto.

Los adoquines generalmente no fallan, en algunas ocasiones las esquinas se desbordan. Esto se explica ya sea por productos de unos moldes nuevos o que los adoquines han estado en contacto directo, unos con otros, debido a la deflexión de la base, más allá de lo usual.

Los adoquines, cuando están colocados, se pueden secar en formas diferentes, haciendo que parezcan húmedos o empapados. Esto puede ser ocasionado por que los adoquines hayan sido pobremente compactados, o que hayan sido producidos con agregado muy fino en la matriz.

Los adoquines pueden ser suministrados con deficiencia en los finos de la superficie, lo que causa que ésta sea tosca, mientras que algunas veces la superficie tiene una textura abierta.

Generalmente se culpa a los adoquines de las fallas, pero las causas son otras, por ejemplo tenemos un calle donde los adoquines se están quebrando, la causa del daño se puede deber al impacto de la parte de abajo de los buses al rozar la superficie. La causa es que los buses van a muy alta velocidad y la rampa es demasiado corta.

La característica de la aparición de partículas de arena fina alrededor y sobre los bordes de los adoquines, generalmente indica degradación de la arena. Pero este no es siempre el caso.

3.5 DESEMPEÑO DE LA SUPERFICIE

Un aspecto del desempeño de la superficie son sus propiedades de resistencia al frenado y al deslizamiento, que son muy importantes; y la selección de los productos correctos es primordial para el desempeño.

Es necesario diferenciar entre la resistencia al deslizamiento y al resbalamiento. Resbalar es para los peatones y deslizarse para los vehículos. Considerando la resistencia a deslizarse en términos sencillos, la llanta del vehículo se desplaza sobre la piedra de la superficie de la vía. Esta es llamada la textura macro y la fricción entre la piedra y la llanta forma la micro textura. En forma similar para los adoquines, las juntas entre ellos forman la macro textura y el acabado de la superficie se relaciona con la micro textura.

La Norma Británica BS 6717 [4] restringe el contenido de partículas de agregado solubles en ácido, para los adoquines de concreto, con el fin de minimizar el riesgo de deslizamiento y resbalamiento. No existe comparación directa entre los valores utilizados de resistencia al deslizamiento de los diferentes materiales, y el solicitar valores para productos en lugares para baja velocidad, por ejemplo, hasta 50km/h, según los solicitados para las normas en autopistas no tiene sentido. En los laboratorios se puede determinar un valor de resistencia al deslizamiento.

El resbalamiento es mucho más difícil de evaluar puesto que todo el mundo camina con una marcha diferente, diferentes condiciones de calzado y, en muchos casos, diferentes características de carga. En un estudio reciente fue muy interesante observar el caminado de las personas. Es posible que se pueda medir la presión aplicada a través del contacto con el tacón y la acción del contacto inicial con el mismo, y esto podría probablemente determinar el riesgo de cuándo y cómo ocurre el resbalamiento. La textura de la superficie, el tipo de agregados y el estado de limpieza influyen en la resistencia al resbalamiento. Las investigaciones, produjeron una tabla

de valores de resbalamiento. Utilizando ésta y un método de laboratorio para evaluar y obtener una cifra para el resbalamiento, se puede especificar un valor mínimo de 35. Una autoridad local de Londres decidió especificar cerca del doble de esta cantidad y colocó productos adecuados para este valor tan alto. Si bien esto no les causó problemas a las personas con todas sus capacidades, le causó grandes problemas a los menos capacitados, dado que el agarre entre el piso y las suelas de los zapatos era demasiado bueno para moverse libremente sobre la superficie.

3.6 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO

3.6.1 DISEÑO POR EL MÉTODO DEL ICPI

3.6.1.1 PARÁMETROS DE DISEÑO ESPECÍFICOS DEL MÉTODO DEL ICPI

Los parámetros a considerar son cuatro, los cuales se pueden determinar como factores influyentes en el espesor y material final del pavimento, referirse al ANEXO N° 5.

- a) Medio Ambiente
- b) El Tráfico
- c) Capacidad de Soporte de la Subrasante
- d) Materiales del Pavimento

La evaluación de estos factores con sus respectivos efectos determinará el espesor y material final del pavimento. Los valores pueden ser suposiciones cualitativas y correlaciones muy aproximadas. Cada uno de estos factores, pueden ser medidos muy precisamente con estudios de ingeniería detallados y amplias pruebas de laboratorio. Por lo cual al tener más información de ellos aumenta la confiabilidad del diseño.

Una vía pública principal debe recibir más análisis de la subrasante y mezcla de tráfico que una calle residencial. Aún más, el grado de análisis e ingeniería debe aumentar según disminuya la consistencia del suelo y según aumente el nivel de tráfico anticipado. Por lo que los pavimentos para un volumen alto de tráfico sobre suelos débiles debe tener el nivel más alto de análisis de cada factor según sea el caso.

a) Medio Ambiente:

La humedad y la temperatura afectan significativamente el pavimento. Según aumenta la humedad en el suelo o base, así disminuye la capacidad de soportar pesos o la consistencia de la base. También la humedad causa elevación o hinchazón de ciertos suelos. La temperatura puede afectar la capacidad del pavimento para soportar pesos.

Los efectos perjudiciales mencionados pueden ser reducidos o eliminados por cualquiera de tres formas:

- ❖ Se puede evitar que entre la humedad en la base del pavimento o suelo.
- ❖ Se puede eliminar la humedad antes que ésta debilite el pavimento.

- ❖ Los materiales del pavimento pueden ser utilizados de manera que resistan la humedad y movimiento por expansión o congelamiento.

Presupuestos de construcción limitados a menudo no permiten protección completa contra los efectos perjudiciales. Por lo que sus efectos deben ser mitigados según lo permita el presupuesto y materiales disponibles.

En este proceso de diseño, los efectos de la humedad y congelamiento son parte de la caracterización de la consistencia de la explanada o subrasante y los materiales de pavimentación. Descripciones subjetivas de la calidad de drenaje y condiciones de humedad influyen los valores de consistencia del diseño para subrasante y materiales granulares sueltos. Además, si existe congelación-deshielo, entonces se reduce la consistencia del suelo de acuerdo a su grado de susceptibilidad al congelamiento.

b) El Tráfico:

Cuándo hay tráfico sobre el pavimento, éste recibe desgaste o daño. La cantidad de daño depende:

- ❖ Del peso de los vehículos y
- ❖ El número esperado de pases en un periodo de tiempo dado.

El período de tiempo, o diseño de vida es usualmente de 20 años. El tráfico predicho sobre la vida del pavimento es un estimado de varias cargas vehiculares, ejes y configuraciones de ruedas y el número de cargas.

Las cargas reales de tráfico a menudo exceden las cargas predichas. Por consiguiente, criterios de ingeniería se requieren al estimar las fuentes de tráfico para las cargas esperadas muy en el futuro.

El daño al pavimento resulta de una multitud de cargas de ejes de carros, camionetas, camiones pequeños, buses y tractores-trailereros. Para predecir más fácilmente el daño, todas las variadas cargas de ejes son expresadas como daño de una carga de eje estándar equivalente. En otras palabras, los efectos dañinos combinados de varias cargas de ejes son igualados al efecto dañino de 18kips (80kN) repeticiones equivalentes de carga de eje único (ESAL's). Factores de daño para otras cargas de eje se muestran en la tabla 3.6.1A.

TABLA 3.6.1 A.			
<i>Factores de Daño de Eje de Carga</i>			
<i>Eje Único</i>		<i>Eje Doble</i>	
Kips (kN)	Factor de Daño	Kips (kN)	Factor de Daño
2 (9)	0.0002	10 (44)	0.010
6 (27)	0.010	14 (62)	0.030
10 (44)	0.080	18 (80)	0.080
14 (62)	0.340	22 (98)	0.170
18 (80)	1.000	26 (115)	0.340
22 (98)	2.440	30 (133)	0.630
26 (115)	5.210	34 (157)	1.070
30 (133)	10.030	38 (169)	1.750
34 (157)	17.870	42 (186)	2.750
38 (169)	29.950	46 (204)	4.110

Fuente: Manual Técnico del ICPI, "TECH SPEC" Número 4.

Por ejemplo, la tabla 3.6.1A muestra que una carga de eje único de 38kips (169kN) causaría el mismo daño al pavimento que aproximadamente 30 pases de un eje único de 18kips (80kN). Para pavimentos que transporten muchas clases diferentes de vehículos, se necesita un mayor estudio para obtener la distribución esperada de cargas de ejes dentro del período de diseño.

Si no hay disponible una información de tráfico detallada, se puede usar la Tabla 3.6.1B como guía general.

TABLA 3.6.1B			
Diseño Típico ESAL's			
Clase de Carretera	ESAL's (millones)	Factor de seguridad	Diseño ESAL's (millones)
Arteria o Calle Principal			
Urbana	7.500	3.775	28.400
Rural	3.600	2.929	10.600
Colector Principal			
Urbana	2.800	2.929	8.300
Rural	1.500	2.390	3.500
Colector Secundario			
Urbana	1.300	2.390	3.000
Rural	0.550	2.390	1.300
Locales			
Comerciales/Multifamiliares			
Urbana	0.430	2.010	0.840
Rural	0.280	2.010	0.540

Se asume 20 años de vida de diseño
Fuente: Manual Técnico del ICPI, "TECH SPEC" Número 4.

Incluye ESAL's típicos como una función de clases de carreteras. En algunas situaciones, el diseñador no puede conocer el tráfico esperado en cinco, diez o quince

años en el futuro. Por consiguiente, la confiabilidad (nivel de conservacionismo) de las predicciones del ingeniero pueden ser modificadas así:

$$\text{ESAL's ajustados} = F R \times \text{ESAL's (estimado o de Tabla 3.6.1B)}$$

Donde:

FR: Factor de confiabilidad.

Los factores de confiabilidad recomendados por el tipo de carretera son también dados en la Tabla 3.6.1B, junto a los correspondientes ESAL's ajustados para su uso en el diseño. En algunos proyectos de desarrollo residencial, se construyen primero las calles de pavimento de concreto entrelazado y luego se construyen las viviendas. Cargas de ejes de tráfico de camiones relacionados con la construcción deben ser factorados en el diseño del espesor de la base. Las cargas pueden ser sustanciales comparadas con cargas más livianas de automóviles después que la construcción está completada.

c) Apoyo del suelo de la Subrasante o Capacidad de Soporte de la Subrasante:

La resistencia de la Subrasante tiene un efecto grandísimo al determinar el espesor total del pavimento de adoquines de concreto. Cuando sea posible, se deben de transferir las pruebas de laboratorio:

- ❖ Módulo de Resiliencia y
- ❖ CBR húmedo de la subrasante típica para evaluar su resistencia.

Estas pruebas deben ser transferidas en las más probables condiciones de campo en densidad y humedad que serán anticipadas durante el diseño de la vida del pavimento. Las pruebas CBR son descritas en ASTM D 1883 o AASHTO T-193. En la ausencia de pruebas de laboratorio, se han asignado valores típicos de Módulo de Resiliencia a cada tipo de suelo definido en el Sistema Unido de Clasificación de Suelo (SUCS), por ASTM D 2487 o los sistemas de clasificación de suelo de la AASHTO según las tablas 3.6.1C y 3.6.1D.

TABLA 3.6.1C				
Resistencia de la Subrasante como una función de SUCS del tipo de suelo. $10^3 \text{ psi} = 6.94 \text{ Mpa}$				
SUCS tipo de suelo	Módulo de Resiliencia (10^3 psi)			Módulo reducido (10^3 psi)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	
GW, GP, SW, SP	20	20	20	N/A
GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC	20	20	20	12
GM, GM-GC, GC, SW-SM, SW-SC	20	20	20	4.5
SP-SM	20	20	20	9
SP-SC	17.5	20	20	9
SM, SM-SC	20	20	20	4.5
SC	15	20	20	4.5
ML, ML-CL, CL	7.5	15	20	4.5
MH	6	9	12	4.5
CH	4.5	6	7.5	4.5

Fuente: Manual Técnico del ICPI, "TECH SPEC" Número 4.

NOTA: Referirse a la tabla 3.6.1E para seleccionar la acción apropiada

TABLA 3.6.1D				
Resistencia de la Subrasante como una función de AASHTO del tipo de suelo. $10^3 \text{ psi} = 6.94 \text{ Mpa}$				
AASHTO tipo de suelo	Modulo de Resiliencia (10^3 psi)			Modulo reducido (10^3 psi)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	
A-1-a	20	20	20	N/A
A-1-b	20	20	20	12
A-2-4, A-2-5, A-2-7	20	20	20	4.5
A-2-6	7.5	15	20	4.5
A-3	15	20	20	9
A-4	7.5	15	20	4.5
A-5	4.5	6	9	4.5
A-6	4.5	10.5	20	4.5
A-7-5	4.5	6	7.5	4.5
A-7-6	7.5	15	20	4.5

Fuente: Manual Técnico del ICPI, "TECH SPEC" Número 4.

Se proveen tres valores de módulos por cada tipo de suelo SUCS o AASHTO dependiendo de las condiciones anticipadas de drenaje y medio ambiente en el sitio.

En la Tabla 3.6.1E se resumen líneas generales para la selección de valores Mr apropiados.

TABLA 3.6.1E				
Opciones ambientales y de desagüe para las características de la subrasante				
Calidad de Drenaje	Duración de porcentaje del pavimento expuesto a humedad a niveles de saturación			
	<1%	1 a 5%	5 a 25%	>25%
Excelente	3	3	3	2
Bueno	3	3	2	2
Adecuado	3	2	2	1
Pobre	2	2	1	1
Muy pobre	2	1	1	1

Fuente: Manual Técnico del ICPI, "TECH SPEC" Número 4.

TABLA 3.6.1F	
Gradación para la cama de arena	
% que pasa	Tamaño del tamiz
3/8" (9.5mm)	100
Nº 4 (4.75mm)	95-100
Nº 8 (2.36mm)	80-100
Nº 16 (1.18mm)	50-85
Nº 30 (0.600mm)	25-60
Nº 50 (0.300mm)	10-30
Nº 100 (0.150mm)	2-10
Nº 200 (0.75mm)	0-1

Fuente: Manual Técnico del ICPI, "TECH SPEC" Número 4.

A cada tipo de suelo en las tablas 3.6.1C y 3.6.1D se le ha asignado un valor Mr reducido (última columna a la derecha) para que se utilice solamente cuando la acción congelante sea una consideración a tomar en cuenta en el diseño. La compactación de la subrasante durante la construcción debe ser al menos 98% de AASHTO T-99 o ASTM D698 para suelos cohesivos (arcilla) y de al menos 98% de AASHTO T-180 o ASTM D1557 para suelos no cohesivos (arenosos o con grava). Se prefieren los estándares de compactación más altos descritos en T-180 o D1557. La profundidad efectiva de compactación en todos los casos debe ser de al menos las doce pulgadas superiores (300mm).

Los suelos que tienen un Mr de 4,500Psi (31Mpa) o menos (CBR 3% o menos) deben ser evaluados para ya sea reemplazo con un material con mayor resistencia,

instalación de una capa agregada a la Sub-base, mejoramiento por estabilización o uso de geotextiles.

d) Materiales del pavimento:

Se debe establecer:

- ❖ El tipo
- ❖ Resistencia y
- ❖ Espesor de todos los materiales de pavimentación disponibles.

Bases agregadas pulverizadas o bases estabilizadas utilizadas en autopistas son generalmente apropiadas para pavimento de adoquines concreto. La mayoría de estados, provincias y municipalidades tienen materiales de construcción estándar para estas bases. Si ninguna hay disponible se pueden utilizar los estándares que se encuentran en ASTM D2940.

Los requerimientos de resistencia mínimos recomendados con Material Granular deben ser:

- ❖ CBR = 80% para bases y de CBR = 30% para Sub-bases.
- ❖ Para material de base Material Granular, el Índice de Plasticidad no debe ser mayor de 6.
- ❖ El Límite de Líquido limitado a 25
- ❖ La compactación debe ser de al menos 98% de una densidad AASHTO T-180.

Para material Sub-base granular suelto, el material debe tener:

- ❖ Índice de Plasticidad menor de 10
- ❖ Límite Líquido menor de 25
- ❖ Los requerimientos de compactación deben ser de al menos 98% de densidad AASHTO T-180.

La densidad en el lugar debe ser revisada en el campo ya que es crítica para el desempeño del pavimento. Si se utiliza una base estabilizada con asfalto, el material debe cumplir las especificaciones de asfalto definidas, bien compactado y de gradación densa, es decir una estabilidad Marshall de al menos 1800 libras (8000N). El material de base tratado con cemento debe tener una resistencia compresiva no confinada a los siete días de al menos 650Psi (4.5Mpa). Los espesores de base mínimos recomendados son de 4pulg (100mm) para todas las capas agregadas sueltas, 3pulg (75mm) para bases tratadas con asfalto y 4pulg (100mm) para bases tratadas con cemento. Un espesor mínimo de base con agregado (CBR = 80) debe ser 4pulg (100mm) para niveles de tráfico bajo 500,000 ESAL's y 6pulg (150mm) para ESAL's mayores de 500,000. La capa de arena debe ser consistente en todo el pavimento y no debe exceder de 1.5pulg (40mm) después de la compactación. Una capa de arena más gruesa no dará estabilidad. Capas de arena más delgadas (menos de $\frac{3}{4}$ pulg [20mm] después de compactación) puede que no produzcan la acción de entrelazado obtenida por la migración de arena hacia arriba dentro de las juntas durante la compactación inicial en la construcción. La capa debe cumplir la gradación según la norma ASTM C33, mostrada en la tabla 3.6.1F. La arena debe ser tan consistente como sea posible obtenerse.

La arena de junta provee entrelazado vertical y transferencia de cargas. Puede ser un poco más fina que la arena de la estratificación. La gradación de este material puede tener un máximo el 100% pasando el tamiz No. 16 (1.18mm) y no más del 10% al pasar el tamiz No. 200 (0.075mm). La arena de estratificación puede ser usada para la arena de junta. Se puede necesitar un esfuerzo adicional al llenar las juntas durante la compactación debido a su gradación más gruesa⁶. Las pavimentadoras de concreto deben cumplir la ASTM C936 en los Estados Unidos. Se recomienda un espesor de pavimentador mínimo de 3.15pulg (80mm) para todos los pavimentos sujetos a tráfico vehicular, excluyendo vías residenciales. Como se mencionó anteriormente, las unidades deben de ser colocadas en un patrón espinapez (herringbone). No se debe de usar menos de un tercio de una pavimentadora de corte a lo largo de los bordes. Investigaciones en los Estados Unidos y otros países han demostrado que la combinación de pavimentadora y capas de arena se endurecen al ser expuestas a números mayores de cargas de tráfico. El endurecimiento progresivo o “entrelazado” ocurre generalmente al inicio de la vida del pavimento, antes de los 10,000 ESAL’s. Una vez que este número de cargas se ha aplicado, $M_r = 450,000\text{Psi}$ (3,100Mpa) para la pavimentadora gruesa de 3.125pulg (80mm) y 1pulg (25mm) de arena de estratificación. El endurecimiento y estabilización del pavimento puede ser acelerado por medio de una rodadura a prueba de estática con una aplanadora de llanta de caucho de 810 T.

⁶ / _____ (Vea las Esp. Téc. 9 de ICPI para la Construcción de Pavimento de Concreto Entrelazado para información adicional sobre la gradación de la arena de estratificación de junta así como también las especificaciones guía Zaphers ICPI)

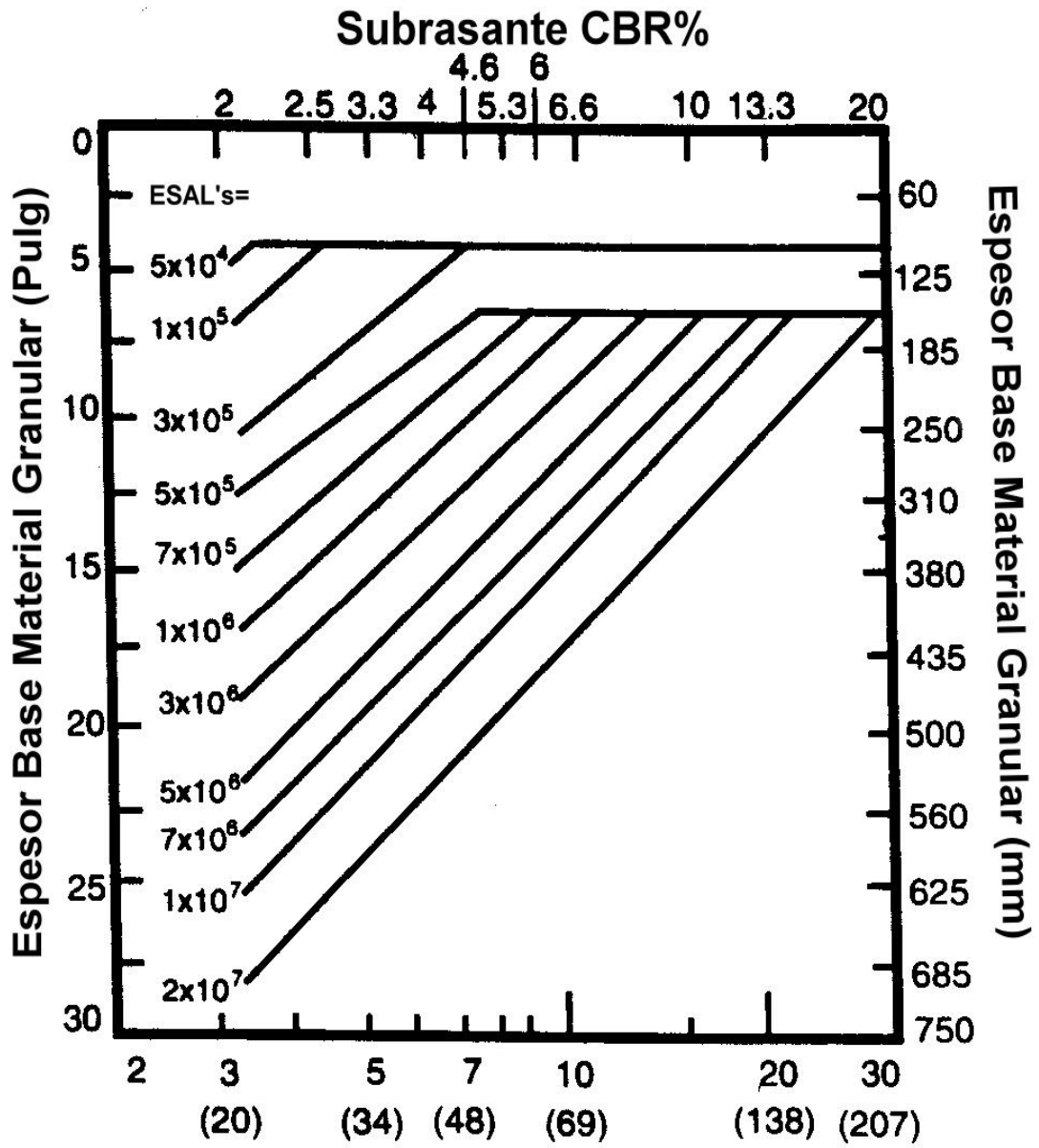
El módulo anterior es similar al de un espesor equivalente de asfalto. La pavimentadora de 3.125pulg (80mm) y la arena de estratificación de 1pulg (25mm) tienen un coeficiente de capa AASHTO al menos igual al mismo espesor de asfalto, es decir, de 0.44 por pulgada (25mm). A diferencia del asfalto, los módulos de pavimentadoras de concreto no disminuirán sustancialmente al incrementar la temperatura ni se volverán quebradizos en climas fríos. Pueden soportar cargas sin apuros o deterioro en temperaturas extremas.

Curvas de Diseño Estructural

Las figuras 3.6.1A, 3.6.1B y 3.6.1C son las curvas de diseño de espesor base para Material Granular y Materiales Estabilizados con Asfalto o Cemento. Los espesores en los cuadros son una función de la resistencia de la subrasante (M_r o CBR) y las repeticiones de tráfico de diseño (ESAL's). Utilice los siguientes pasos recomendados por el ICPI para determinar el espesor del pavimento:

1. Compute las ESAL's de diseño. Utilice valores de tráfico conocidos o utilice los valores recomendados dados en la Tabla 3.6.1B. Los ESAL's son típicos de un estimado de 20 años de vida. Se debe considerar el crecimiento anual de ESAL's en la vida del pavimento.
2. Caracterice la resistencia de la explanada a partir de datos de prueba de laboratorio. Si no hay datos de pruebas de laboratorio o de campo, utilice las tablas 3.6.1C y 3.6.1D para un estimado de M_r o CBR.
3. Determine el espesor de base requerido. Utilice M_r o CBR de la subrasante y ESAL's de diseño como entrada en las figuras 3.6.1A, 3.6.1B, 3.6.1C

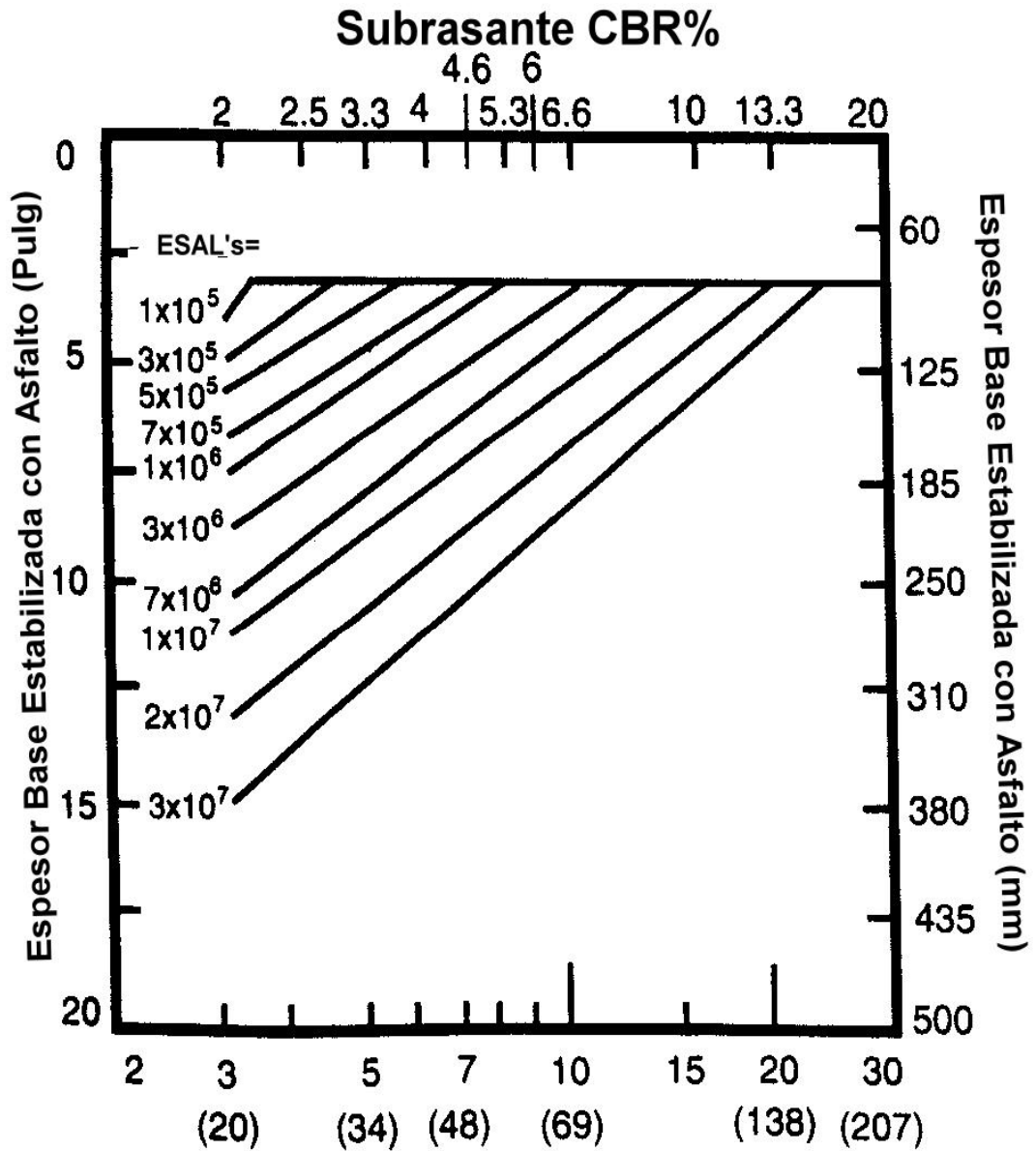
dependiendo del material base requerido. Una porción o todo del espesor base estimado que exceda los requerimientos de espesor pueden ser sustituidos por una capa de Material Granular de menor calidad en la subrasante. Esto se logra a través del uso de los valores de equivalencia: 1pulg (25mm) de base agregada es equivalente a 1.75pulg (45mm) de material sub-base de Material Granular; 1pulg (25mm) de Base Estabilizada con Asfalto es equivalente a 3.40pulg (85mm) de material de sub-base con Material Granular; y 1pulg (25mm) de Base Estabilizada con Cemento es equivalente a 2.50pulg (65mm) de sub-base con Material Granular.



MODULO DE RESILIENCIA X 10³ PSI (Mpa)

Figura 3.6.1A

Curvas de Diseño de Espesores, Base de Material Granular



MODULO DE RESILIENCIA X 10³ PSI (Mpa)

Figura 3.6.1B

Curvas de Diseño de Espesores, Base Estabilizada con Asfalto

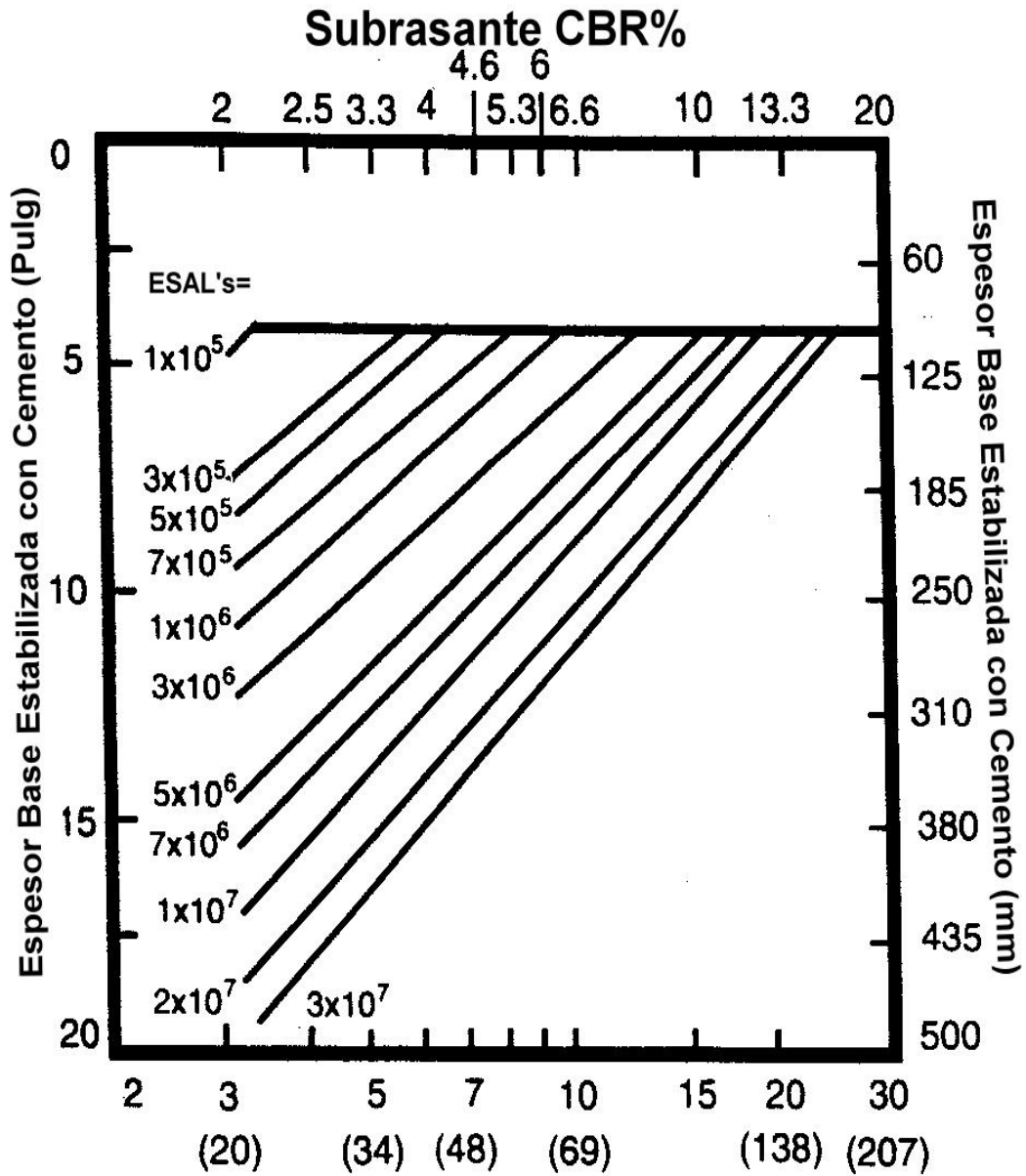


Figura 3.6.1C

Curvas de Diseño de Espesores, Base Estabilizada con Cemento

3.6.1.2 EJEMPLO 1

Datos de diseño:

Una residencial, urbana de dos carriles se diseñará utilizando pavimentadora de concreto. Las pruebas de laboratorio en el suelo de la subrasante indican que el pavimento va a ser construido sobre sedimento arenoso; es decir, tipo de suelo ML de acuerdo al sistema de clasificación SUCS. No hay disponibles datos de campo de Módulo de Resiliencia o CBR. A partir de datos climáticos disponibles y tipo de suelo de la subrasante, se anticipa que el pavimento será expuesto a niveles de humedad próximos a saturación más allá del 25% del tiempo. La calidad del drenaje es aceptable. Datos detallados de tráfico ESAL's no están disponibles.

Utilizando la información anterior, se elaborarán diseños de los siguientes materiales de base y súbbase;

- ❖ Base de material granular
- ❖ Base estabilizada con asfalto
- ❖ Sub-base de material granular

Todos los diseños deben incluir una capa de base pero no necesariamente la capa sub-base de material granular.

Solución: según la tabla 3.6.1G

1. Reconociendo que no hay disponible información detallada de tráfico se utilizará el valor recomendado en la tabla 3.6.1B.

0.84 millones = 840,000 ESAL's de Diseño.

2. Determinando la resistencia de la subrasante: Paso 1 y Paso 2
3. Determinando el espesor de la base requerida: Paso 3
4. Determinando alternativas de solución: Paso 4
5. Esquema de diseño del ejemplo según figura 3.6.1D

Tabla 3.6.1G

Solución de Ejemplo 1

Paso 1	Tabla 3.6.1E
	Calidad del drenaje se determina: Adecuada
	Porcentaje de saturación : >25% Opción: 1
Paso 2	Tabla 3.6.1C
	Modulo de Resiliencia: 7500 Psi CBR : 7500 / 1500 = 5%
Paso 3	Figura 3.6.1 ^a
	Determinamos el espesor de la base requerida
	Espesor de base de material granular: 8.5 " Espesor de la base estabilizada con asfalto = 3"
Paso 4	Alternativas de solución considerando sub-bases equivalentes:
	Espesor mínimo de la base de material granular: 6" .
	Espesor de la sub-base equivalente de material granular: (8.5-6) x 1.75" = 4.37" .
	La equivalencia en la base estabilizada con asfalto no puede existir, ya que es el valor mínimo dado en el paso 3.

Nota:

1. La cama de arena se determina en un espesor de 2.5 a 4cm
2. Por recomendación del método el espesor del pavimento mínimo es de 3.15" (80mm), para todos los pavimentos de tráfico vehicular, excluyendo las vías residenciales.

ESQUEMA DE DISEÑO

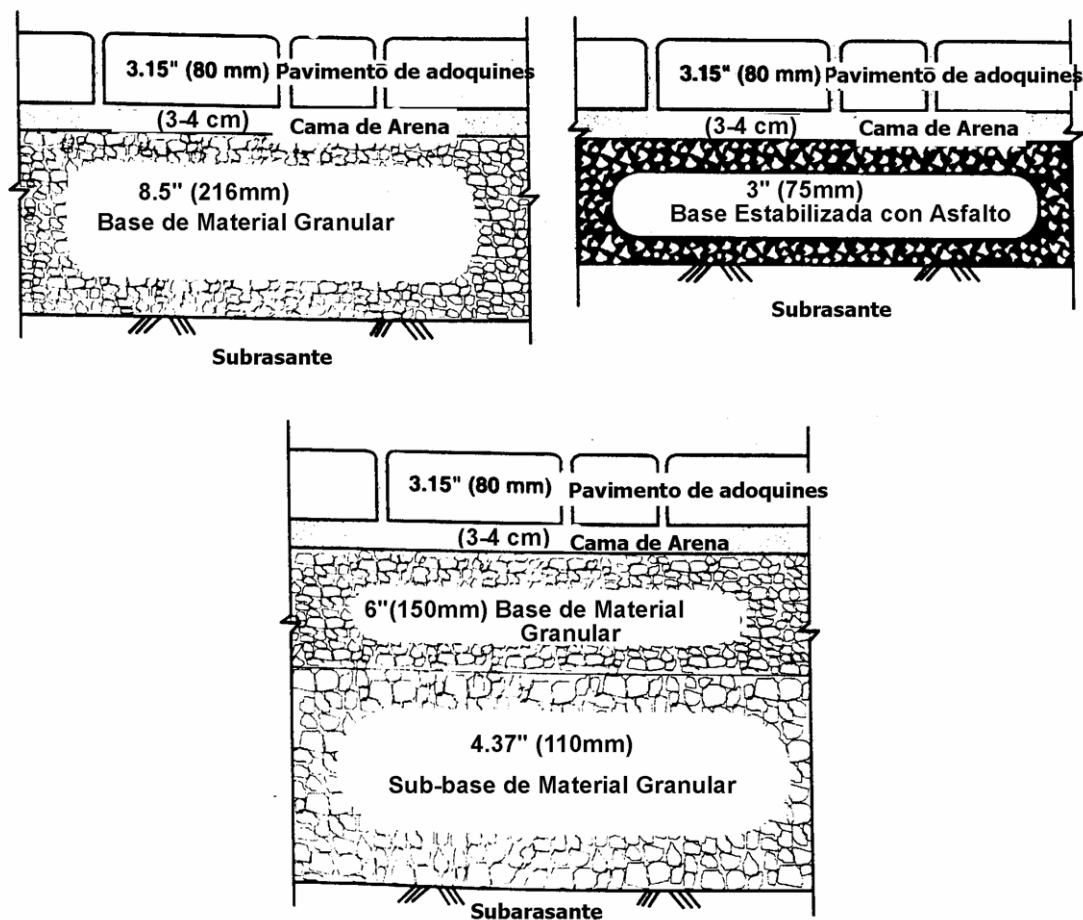


Figura 3.6.1D

Sección Transversal del Pavimento

(VER ANEXO N° 5, "MANUAL TECNICO")

3.6.1.3 EJEMPLO 2

Datos de diseño:

El proyecto consiste en pavimentar calles y avenidas de una urbanización con longitud aproximada de 1Km, con ancho variable de 7.7m, 7.0m y 6.5m se trata de determinar el espesor del pavimento y una alternativa de solución; vida útil del proyecto es de 25 años, no se considerará el crecimiento vehicular por ser un proyecto residencial, ni tampoco congelamiento. La calidad del drenaje se considera buena.

Considerando un invierno de 10 días de lluvia continua se obtiene el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Teniendo un censo vehicular del tipo de tráfico en el lugar tenemos, según la tabla 3.6.1H.

Tabla 3.6.1H

Censo Vehicular del Tipo de Tráfico

Tipo de Vehículo	Carga en eje simple delantero y trasero respectivamente en Kips	Servicialidad Final	Número estructural	Factor de eje equivalente
Automóvil	2.31	2.0	3.0	0.000479
	2.31	2.0	3.0	0.000479
Pick-Up	7.30	2.0	3.0	0.02725
	7.30	2.0	3.0	0.02725
C2	18.56	2.0	3.0	1.0224
	18.56	2.0	3.0	1.0224
C3	11.50	2.0	3.0	0.16425
	11.50	2.0	3.0	0.16425

Ejemplo de cálculo de factor equivalente:

De la tabla de la AASHTO con $P_t = 2.0$, Y Número Estructural = 3 podemos encontrar los factores equivalentes de la forma siguiente con la formula de interpolación:

$$Y = \left[\frac{(Y_1 - Y_0)(X - X_0)}{(X_1 - X_0)} \right] + Y_0$$

Donde:

$X_0 =$ Valor de carga menor

$X_1 =$ Valor de carga mayor

$X =$ Valor de carga por eje

$Y_0 =$ Valor de eje equivalente correspondiente a la carga menor

$Y_1 =$ Valor de eje equivalente correspondiente a la carga mayor

Para el tipo de vehículo Automóvil:

Eje delantero simple:

$$Y = \left[\frac{(0.002 - 0.0002)(2.31 - 2.0)}{(4 - 2)} \right] + 0.0002$$

$$Y = 0.000479$$

Eje trasero simple:

$$Y = \left[\frac{(0.002 - 0.0002)(2.31 - 2.0)}{(4 - 2)} \right] + 0.0002$$

$$Y = 0.000479$$

Total de eje equivalente = $0.000479 + 0.000479 = 0.000958$

Para el tipo de vehículo Pick-Up:

Total de eje equivalente = $0.02725 + 0.02725 = 0.0545$

Para el tipo de vehículo C2:

Total de eje equivalente = $1.0224 + 1.0224 = 2.0448$

Para el tipo de vehículo C3:

Total de eje equivalente = $0.16425 + 0.16425 = 0.3285$

Solución: ver tabla 3.6.1J

1) ESAL's de Diseño.

Tabla 3.6.1I

CÁLCULO DE ESAL's						
UBICACIÓN:			PERÍODO DE ANÁLISIS (AÑOS)		25	
TPDA		124		TASA DE CRECIMIENTO (%)		0
TIPO DE VEHÍCULO	% DE VEHÍCULOS	TRÁFICO ACTUAL	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRÁFICO DE DISEÑO	FACTOR DE EJE EQUIVALENTE	ESAL's
AUTOMÓVIL	48.387	60.00	25.00	547,500	0.000958	525
PICKUP	50.000	62.00	25.00	565,750	0.0545	30,833
C2	0.806	1.00	25.00	9,125	2.0448	18,659
C3	0.806	1.00	25.00	9,125	0.3285	2,998
C4						
12'S1						
					ESAL's	53,014
FACTOR DE CARRIL		1				
FACTOR DE SENTIDO		0.5				
ESAL's		26,507				

2) Se determina las características de la subrasante a partir de los datos de laboratorio, si no ver las tablas 3.6.1C y 3.6.1D para un estimado de Mr o CBR.

Se aprecia que el tipo de suelo está conformado por material orgánico suelto en su primer estrato, luego se observa en un segundo estrato suelo arenoso compuesto por fragmentos de piedra, grava arena y material ligante, poco plástico que de acuerdo a la clasificación en el sistema unificado a un tipo de suelo SW, según tablas de diseño del método ICPI el valor de CBR es de 13.33%. Para este diseño se considera un invierno de 10 días de lluvia continua por lo que tenemos un porcentaje de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad a la saturación.

$$\% \text{tiempo} = (10 \cdot 100) / 365 = 2.74\%$$

La calidad del drenaje se considera buena

Ver Pasos 1 y 2

- 3) Determinando el espesor de la base requerida: Paso 3
- 4) Determinando alternativas de solución: Paso 4
- 5) Esquema de diseño del ejemplo según figura 3.6.1E.

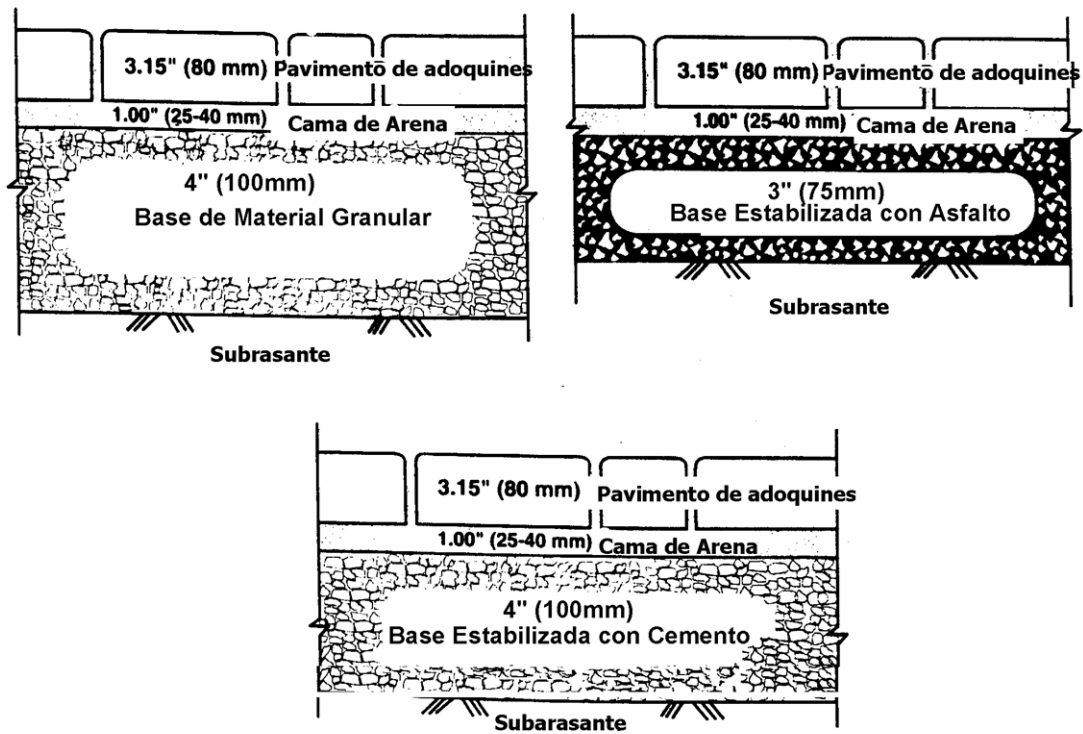
Tabla 3.6.1J
Solución de Ejemplo 2

Paso 1	Tabla 3.6.1E	
	Calidad del drenaje se determina: Buena Porcentaje de saturación : 2.74% Opción: 3	
	Tabla 3.6.1C	
Paso 2	Modulo de Resiliencia : 20,000 Psi según tipo de suelo SW CBR : $20,000/1500 = 13.33\%$ de acuerdo al tipo de suelo	
	Figura 3.6.1A, 3.6.1B, 3.6.1C	
Paso 3	Determinamos el espesor de la base requerida Los espesores de base mínimos requeridos recomendados Espesor de base de material granular: 4 “ Espesor de la base estabilizada con asfalto = 3 “ Espesor de base estabilizada con cemento = 4”	
	Alternativas de solución considerando sub-bases equivalentes:	
	Paso 4	Nota: No podría tener equivalencias ya que en el paso 3; ya se dan los valores mínimos recomendados.

Nota:

- 1) La cama de arena se determina en un espesor de 2.5 a 4cm
- 2) Por recomendación del método el espesor del pavimento mínimo es de 3.15” (80mm), para todos los pavimentos de tráfico vehicular, excluyendo las vías residenciales.

ESQUEMA DE DISEÑO

**Figura 3.6.1E****Sección Transversal del Pavimento**

(VER ANEXO N° 5, "MANUAL TECNICO")

3.6.2 DISEÑO POR EL MÉTODO DE LA CCA.

3.6.2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO ESPECÍFICOS DEL MÉTODO DE LA CCA.

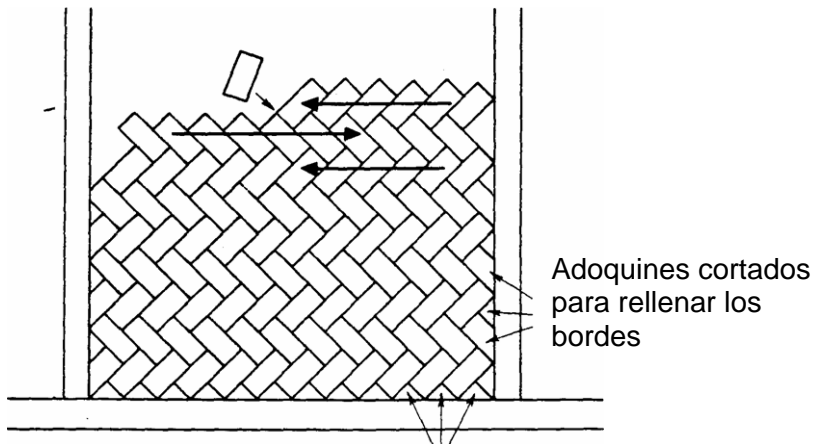
Este método de diseño hace mención que un camino pavimentado con adoquines de concreto, el cual deberá soportar más de 1.5 millones de ejes estándar durante el diseño incluye los siguientes elementos.

- a) Sub-base
- b) Base
- c) Plantilla – capa de 5cm de arena fina
- d) Adoquinado
- e) Confinamiento.

Estos cinco elementos sostienen la disposición de los adoquines (VER ANEXO Nº 5). La base no es necesaria en los pavimentos que deban soportar un total menor de 1.5 millones de ejes estándar.

El adoquinado consta de adoquines que encajan perfectamente; los espacios entre ellos generalmente se encuentra entre 2 y 3mm se llenaran de polvo y partículas de arena, pero es necesario mencionar que en cualquier pavimento transitado por vehículos el método de diseño recomienda, que los adoquines rectangulares se deben de colocar solamente en forma de petatillo como la figura 3.6.2A.

Las flechas indican la dirección en que avanza la colocación de adoquines



Adoquines cortados para rellenar el espacio entre la hilera inicial y el borde del camino existente

Figura 3.6.2A

Forma de Colocación de Adoquines Rectangulares

La influencia destructora de un vehículo, depende principalmente de las cargas axiales, en la tabla 8 de las Road Note 29, se enumera la influencia nociva relativa a las cargas axiales de 900 a 18000Kg, y estas se comparan con un eje estándar de 8160Kg (cifra redondeada a 8000Kg según el Technical Memorando Num. H6/78, publicado en abril de 1978), el cual se da como una unidad de destrucción. En la figura 3.6.2B se proporcionan gráficamente estos datos.

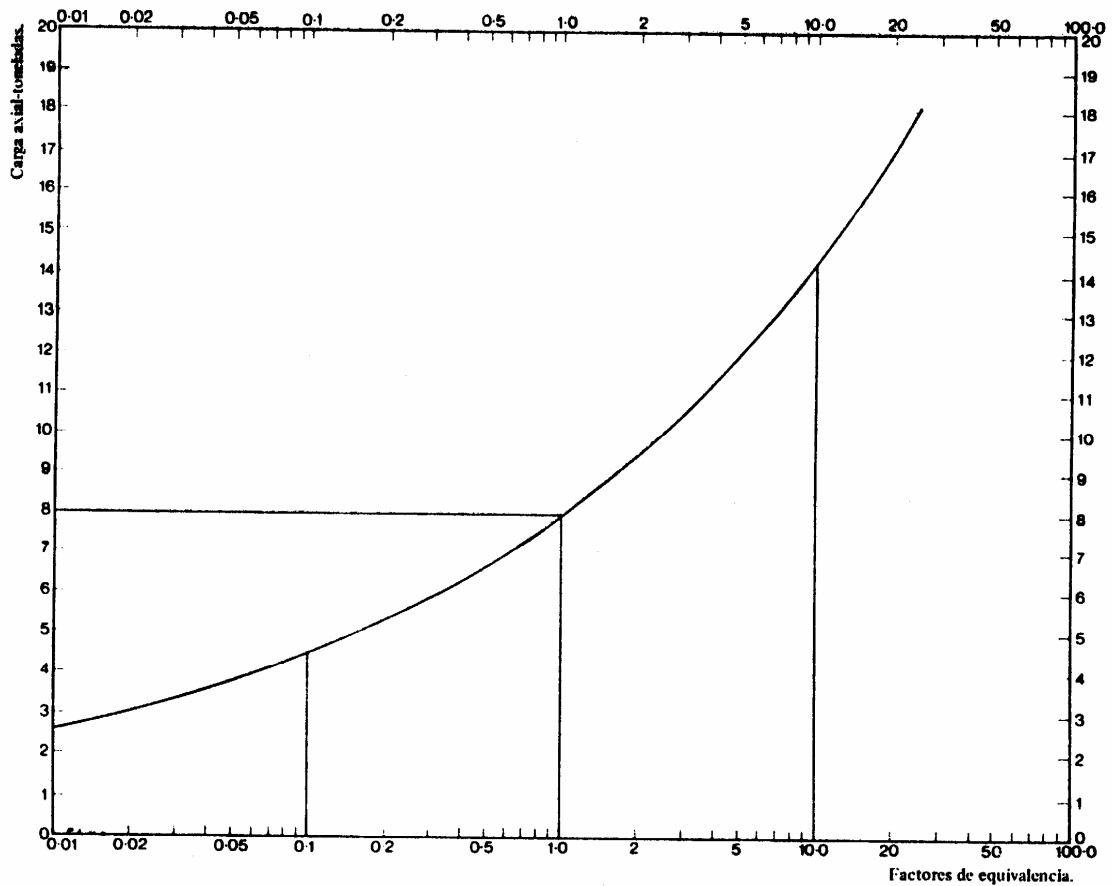


Figura 3.6.2B

Influencia Desfavorable Relativa de las Diferentes Cargas Axiales

Conociendo el total de las cargas axiales individuales, estas pueden ser convertidas utilizando la figura 3.6.2B a un número de ejes estándar equivalentes, y después ser integradas.

SUBRASANTE

La subrasante puede estar constituida por el terreno natural o por un material de terraplén. El valor de soporte tiene una influencia decisiva en el diseño y en el comportamiento del pavimento, este método nos especifica que si el manto freático es de 60cm o menos bajo el nivel de la terracería, se debe adoptar el valor de CBR más bajo, para fines de diseño.

El Technical Memorando Núm. H6/78 del departamento de transito, recomienda que cuando el valor de CBR de la subrasante pueda ser menor a un 5%, es necesario una capa adicional y esta debe tener un valor de CBR de por lo menos del 5% más que el de la subrasante. En los lugares en donde los materiales de la subrasante varían, se debe adoptar el valor más bajo para el diseño, a menos que el porcentaje en cuestión sea demasiado pequeño, por que se quitara el material pobre y se reemplazará con uno de mejor calidad.

a) SUB-BASE

La figura 6 de las Road Note 29, que en nuestro caso es la figura 3.6.2C muestra los espesores de la sub-base requeridos para diferentes valores CBR de la subrasante, así como las diferentes cantidades acumulativas de los ejes estándar.

Si nos referimos a las normas de las Road Note 29, los pavimentos con adoquines de concreto se colocan sobre una sub-base, donde la base, la capa de arena y la superficie de rodamiento se sustituyen con los adoquines y con 5cm de

arena, por lo tanto se puede estimar el espesor de la sub-base, para cualquier subrasante y la duración esperada en diversos caminos, los cuales soportan hasta 1.5 millones de ejes estándar, según la Road Note 29 los caminos Tipo 1 y Tipo 2 se diseñan para durar aproximadamente 40 años, y los de tipo 3 para 20 años, para una mayor comprensión tenemos la tabla 3.6.2A.

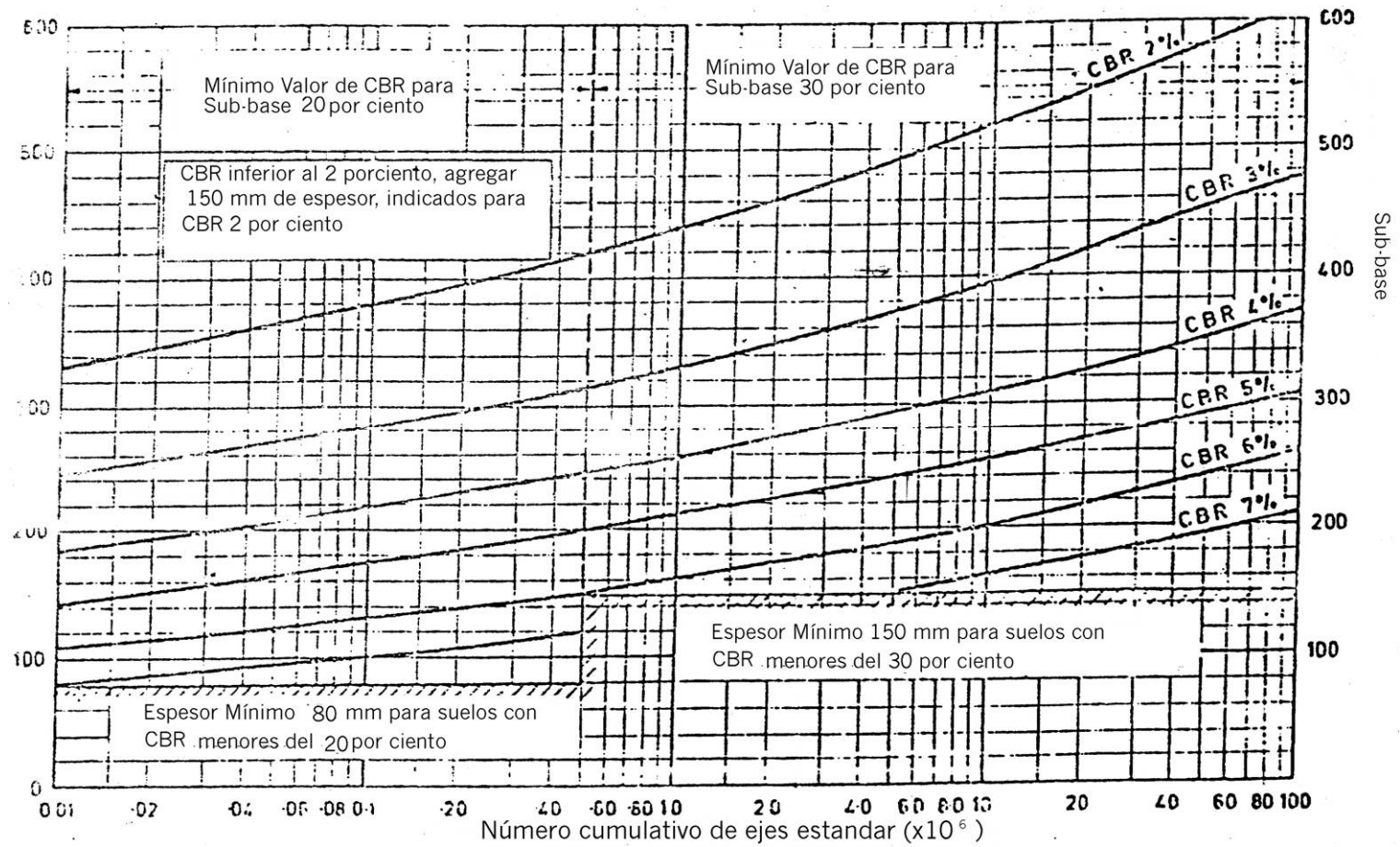


Figura 3.6.2C

Relación %CBR y Sub-base

TABLA 3.6.2A

Espesores de la sub-base (en cm), para diferentes tipos de subrasante y caminos, cuando el manto freático está a más de 60cm por debajo del nivel de formación.

Tipo de Camino	Tipo de Subrasante					
	Vida de Diseño en (años)	Arcilla Dura	Sedimento	Arcilla con Sedimento	Arcilla Arenosa	Arena o Grava Arenosa Bien Graduadas
1. Callejón u otro camino residencial de menor importancia	40	40 (55)	40 (55)	19 (30)	14 (23)	8 (8)
2. Camino transversal, o caminos que soportan rutas regulares de autobuses hasta de 25 vehículos de servicio público al día, en ambas direcciones	40	45 (60)	45 (60)	22 (34)	17 (26)	15 (15)
3. Camino transversal importante, que soporta rutas regulares de autobuses con 25 o 50 vehículos de servicio público al día, en ambas direcciones	20	44 (59)	44 (59)	21 (34)	16 (26)	15 (15)

Fuente: Adoquines de Concreto del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

Notas:

- Las cifras entre paréntesis se deben usar, si el manto freático es menor de 60cm, por debajo del nivel de formación.
- Si se deben de tomar en cuenta otras vidas de diseño, se debe tomar como referencia, las Road Note 29.
- Se deberán consultar las Road Note 29, si las subrasante fuera susceptible a las heladas.

Estos espesores se escogieron, suponiendo que el manto freático está a más de 60cm por debajo del nivel de formación; en caso que sea mayor se deben de utilizar los espesores proporcionados entre paréntesis.

El acabado final de la sub-base no debe exceder el límite de $\pm 2\text{mm}$ del nivel especificado.

Los valores calculados del CBR para las subrasante, abarcan un porcentaje del 2% hacia arriba.

Si la sub-base es transitada con frecuencia, seguramente obtendrá daños, los cuales hay que repararlos antes de la colocación de los adoquines, el acabado final de la superficie de la sub-base debe ser el mismo que cuando se termine el pavimento.

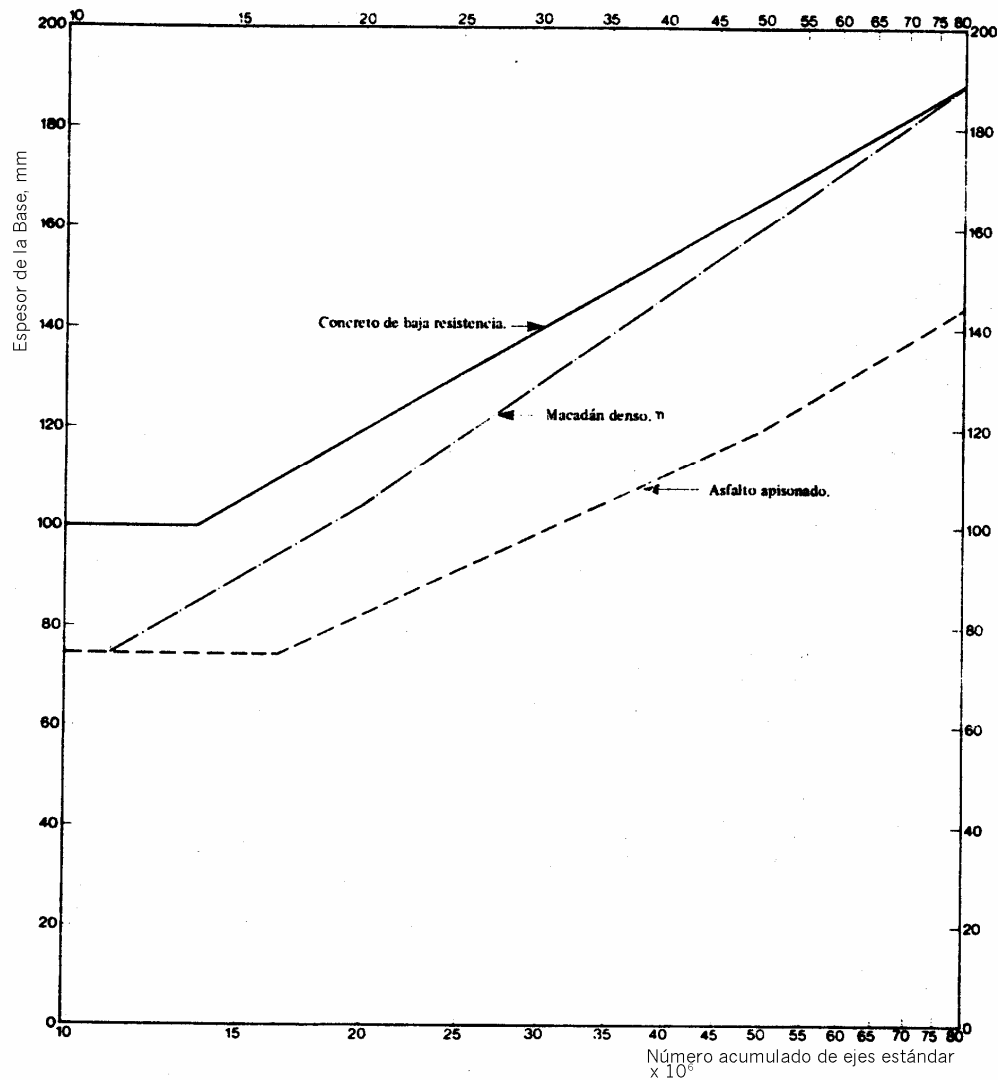
b) BASE

Para las base que se encuentran debajo de las superficies de adoquines de concreto, se aconseja el uso de material cohesivo, conociendo de antemano los parámetros de diseño del pavimento y hasta donde es aceptable según laboratorio el material cohesivo, sin embargo cabe mencionar que las estructuras de drenaje de este tipo de pavimento se diseñan para evitar en lo menos posible daños significativos para este tipo de bases.

Es posible igualar las capacidades de carga del asfalto compactado, el macadán denso y de las bases hechas de concreto de baja resistencia, con las de su revestimiento.

Por lo tanto tenemos que si se hace la comparación al nivel de 1.5 millones de ejes estándar, se puede comprobar que una capa de 22.5cm de concreto y revestimiento de baja resistencia, una capa de 17cm de Madacán y revestimientos densos, una carpeta de 16cm de asfalto compactado y los adoquines de concreto para pavimentación colocados sobre una plantilla de arena, tiene capacidades similares de carga.

En conclusión y deduciendo la capacidad equivalente de carga de los adoquines será posible el Cálculo de espesores de cualquier base requerida entre aquellos, en los casos particulares que se presenten, para una mayor comprensión se presenta la figura 3.6.2D que proporciona los cálculos para los distintos materiales de bases cohesivas.



Los espesores de base, requeridos bajo los adoquines, en pavimentos que soportan hasta 80 millones de cargas axiales estándar.

Figura 3.6.2D

Forma de Cálculo de Bases

Por razones exclusivamente prácticas, las bases combinadas con cemento no deberán tener un espesor menor de 10cm y los materiales bituminosos no deberán tener un espesor menor de 7.5cm.

3.6.2.2 EJEMPLO 3

Un pavimento industrial deberá soportar 50 movimientos de un vehículo triaxial (vehículo de tres ejes) por día, dos de los ejes cargan 8,000kg cada uno y el tercero, 7,500kg. Otros vehículos de dos ejes, cada uno con una carga de 10,000kg, usaran el pavimento 160 veces en total por día. La duración del pavimento es de 20 años, y se toman en cuenta 300 días hábiles por año. La subrasante es una arcilla limosa y tiene un valor estimado CBR de 5%. El manto freático está un metro abajo del nivel de excavación, por medio de la figura 3.6.2E determinarse, tanto los factores de equivalencia, como el número de ejes estándar por día.

Solución:

- a) Encontrando el número de ejes estándar.

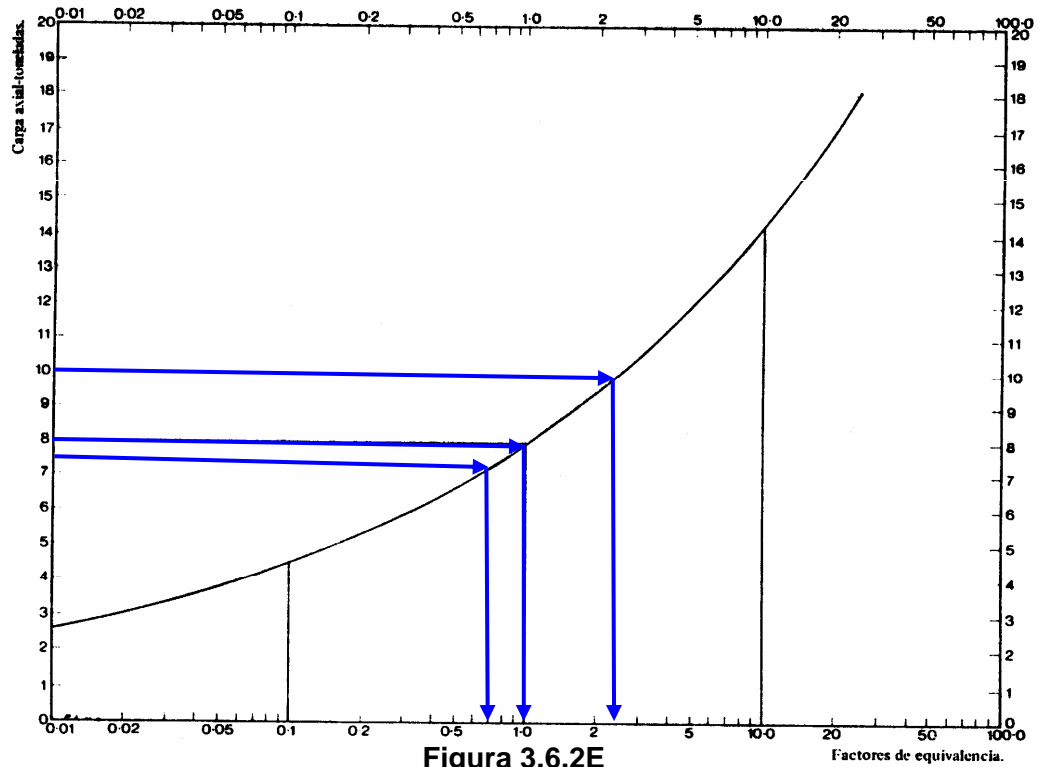


Figura 3.6.2E

Influencia Desfavorable Relativa de las Diferentes Cargas Axiales

Tabla 3.6.2B**Resumen de Datos**

Peso Vehículo/ Eje (kg)	Movimientos/ Vehiculares	Número de/ Ejes	Factor de / Equivalencia	Ejes estándar/ Día
8000	50	2	1.0	100
7500	50	1	0.70	35
10000	160	2	2.5	800

Σ 935

Conversión de Unidades a Kips

$$1T = 1000Kg; \text{ Kips} = 0.4536T$$

Tabla 3.6.2C**Resumen de Datos**

Peso Vehículo en Kips	Movimientos/ Vehiculares	Número de/ Ejes	Factor de / Equivalencia	Ejes estándar/ Día
17.64	50	2	0.9260 2	92.60 2
16.53	50	1	0.6979 15	34.90
22.05	160	2	2.5205	806.5 6

Σ 934.062

Considerando una servicialidad final (Pt) de 2.0, y número estructural (NS) de 1, con eje simple, encontramos los factores de equivalencia exactos de la carga vehicular.

Para la vida útil de diseño tenemos:

$$\text{Ejes estándar por día} \times \text{Días hábiles} \times \text{Período de diseño} = 935 \times 300 \times 20$$

$$= 5610000 \text{ Ejes estándar}$$

b) Analizando la figura 3.7.3F obtenemos el espesor de la sub-base.

Con un CBR = 5%

Ejes estándar 5.61×10^6

Obtenemos el valor de 24.2cm

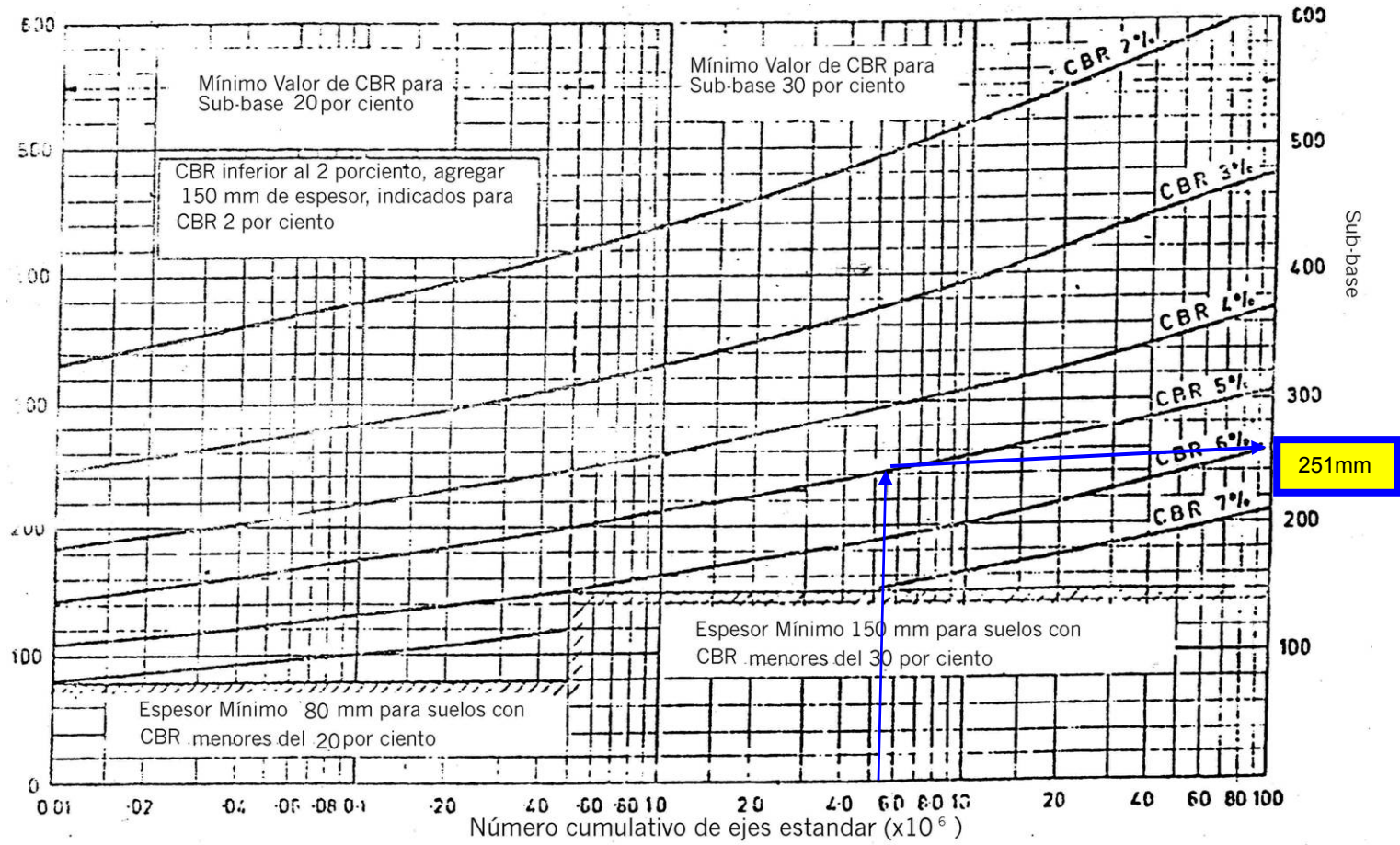


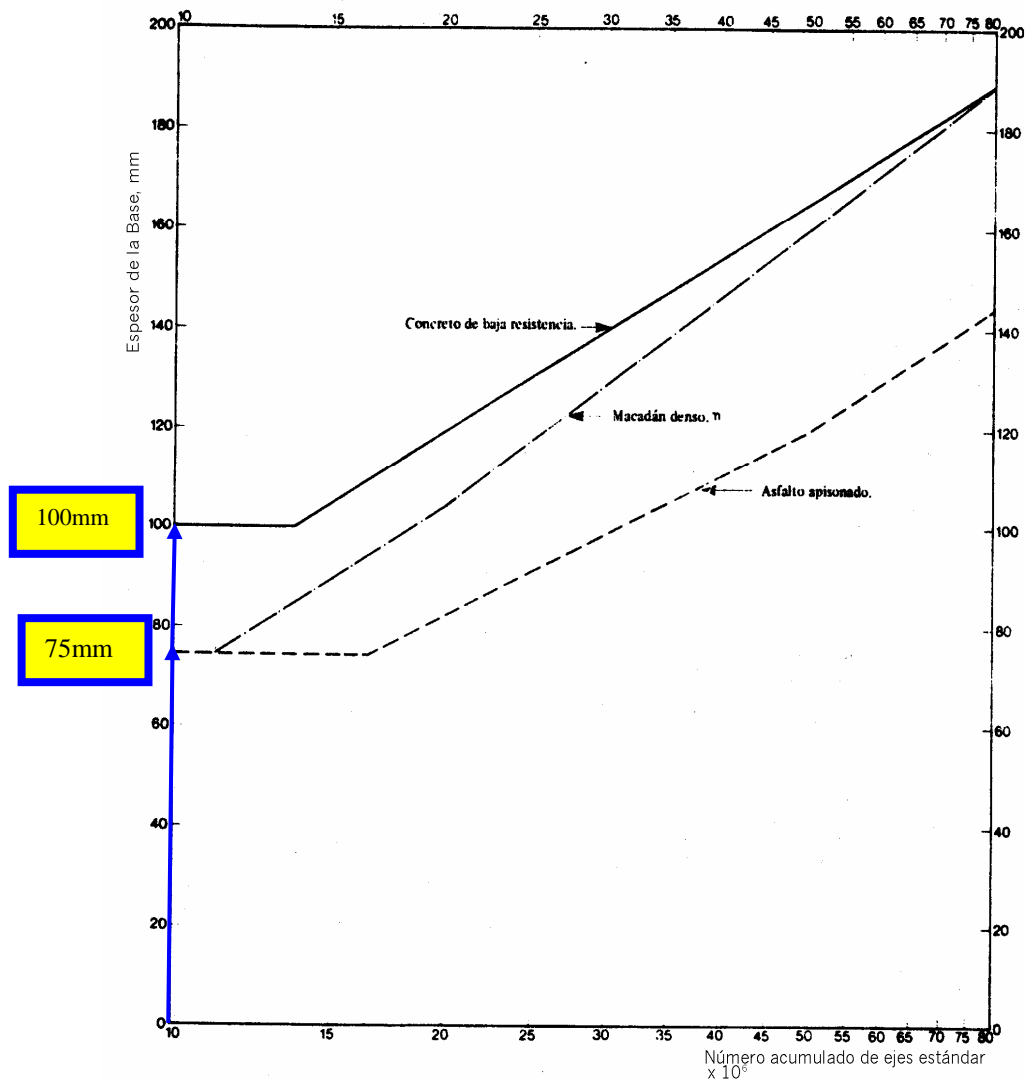
Figura 3.6.2F

Relación %CBR y Sub-base

- c) Determinando el espesor de la base de la figura 3.6.2G observamos que los ejes estándar son menores de 10×10^6 las bases pueden ser.

Base de concreto de baja resistencia = 10cm

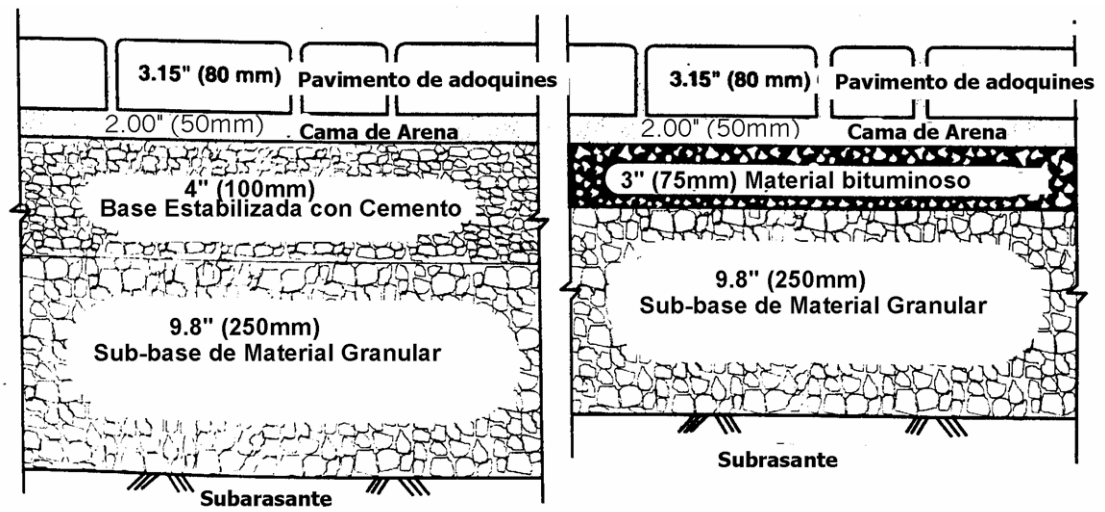
Bases bituminosas = 7.5cm



Los espesores de base, requeridos bajo los adoquines, en pavimentos que soportan hasta 80 millones de cargas axiales estándar.

Figura 3.6.2G

Forma de Cálculo de Bases

ESQUEMA DE DISEÑO.**Figura 3.6.2H****Sección Transversal del Pavimento**

(VER ANEXO N° 5, "MANUAL TECNICO")

3.6.2.3 EJEMPLO 4

Un camino de acceso a un almacén, diseñado para soportar vehículos triaxiales (vehículos de tres ejes), que descargados pesan 15000kg y cargados 30000kg, las respectivas cargas distribuidas uniformemente sobre cada uno de los tres ejes.

El mismo camino podrá soportar vehículos comerciales con un promedio de 1.1 ejes estándar cada uno. Sobre el camino, los vehículos triaxiales harán cada día 600 movimientos de carga y de descarga y los vehículos comerciales harán 2,200 movimientos de carga por día. El camino será diseñado para que dure 20 años y estará en servicio 350 días al año.

Por medio de la figura 3.6.2I deberán determinarse tanto los factores equivalentes para los vehículos triaxiales, como el número de ejes estándar por día.

Solución:

- a) Encontrando el número de ejes estándar.

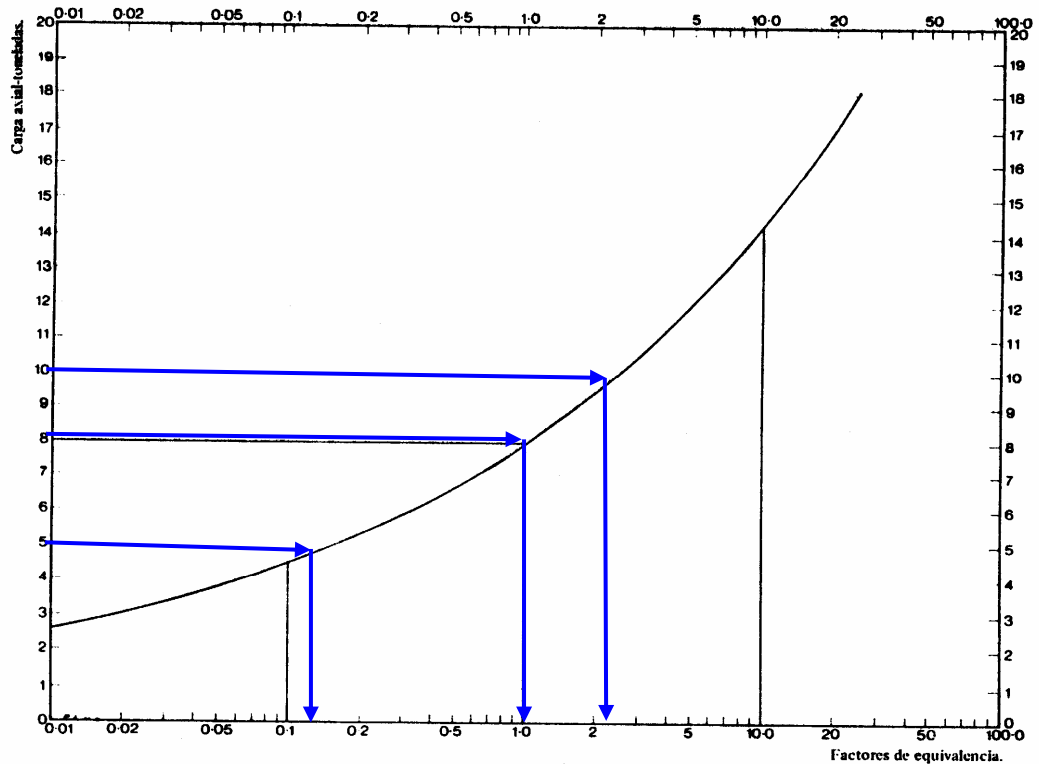


Figura 3.6.2I

Influencia Desfavorable Relativa de las Diferentes Cargas Axiales

Tabla 3.6.2D

Resumen de Datos

Peso Vehículo/ Eje (kg)	Movimientos/ Vehiculares	Número de/ Ejes	Factor de / Equivalencia	Ejes estándar/ Día
5000	600	3	0.15	270
10000	600	3	2.5	4500
	2200	1	1.1	2420

Σ 7190

Conversión de Unidades a Kips

1T = 1000 Kg; 1 Kips = 0.4536T

Tabla 3.6.2E

Resumen de Datos

Peso Vehículo en Kips	Movimientos/ Vehiculares	Número de/ Ejes	Factor de / Equivalencia	Ejes estándar/ Día
11	600	3	0.12	216
22	600	3	2.49	4482
18.34	2200	1	1.1	2420

Σ 7118

Para la vida útil de diseño tenemos:

Ejes estándar por día X Días hábiles X Período de diseño = 7190x350x20

= 50330000 Ejes estándar

b) Espesor de la sub-base

Por recomendaciones del método, se tomará un espesor de sub-base de 45cm.

Por no tener datos de CBR.

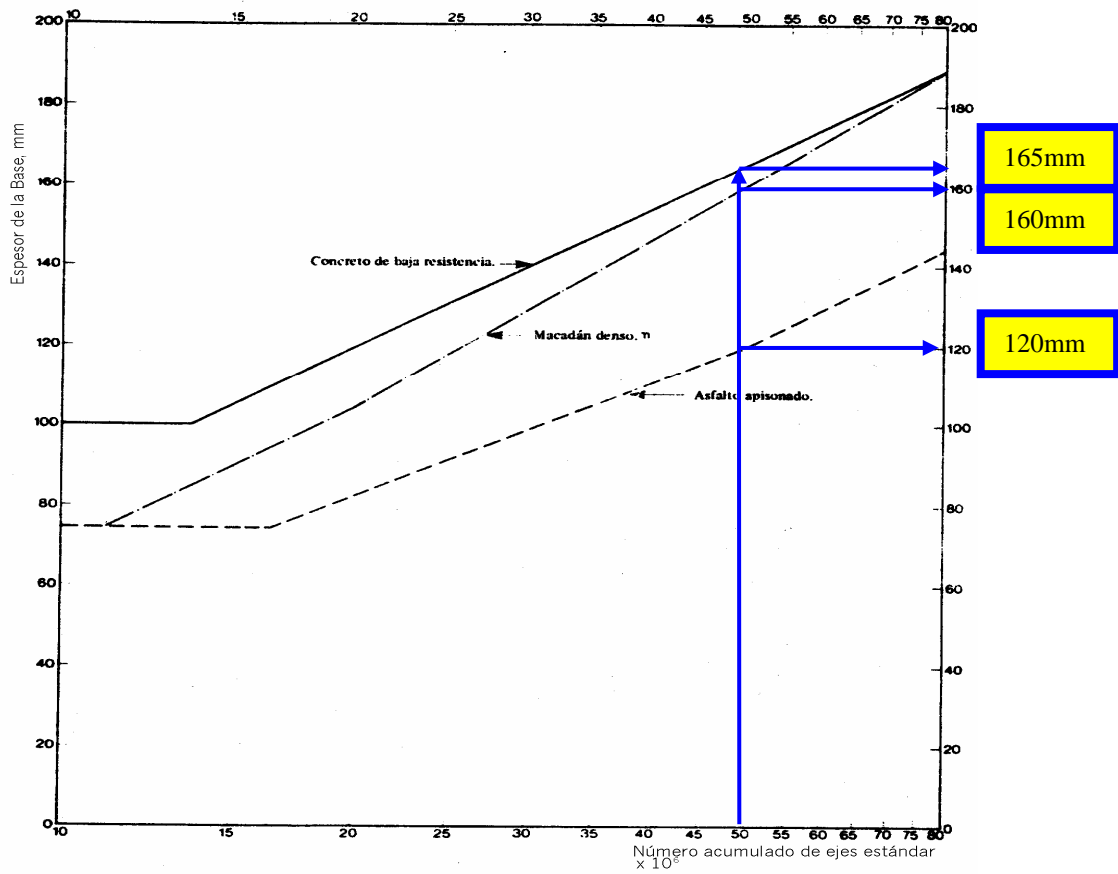
Ejes estándar 50.3×10^6

c) Determinando el espesor de la base de la figura 3.6.2J observamos que los Ejes estándar = 50.3×10^6 las bases pueden ser.

Base de concreto de baja resistencia = 16.5cm

Bases Macadán denso = 16cm

Asfalto apisonado = 12cm



Los espesores de base, requeridos bajo los adoquines, en pavimentos que soportan hasta 80 millones de cargas axiales estándar.

Figura 3.6.2J

Forma de Cálculo de Bases

ESQUEMA DE DISEÑO.

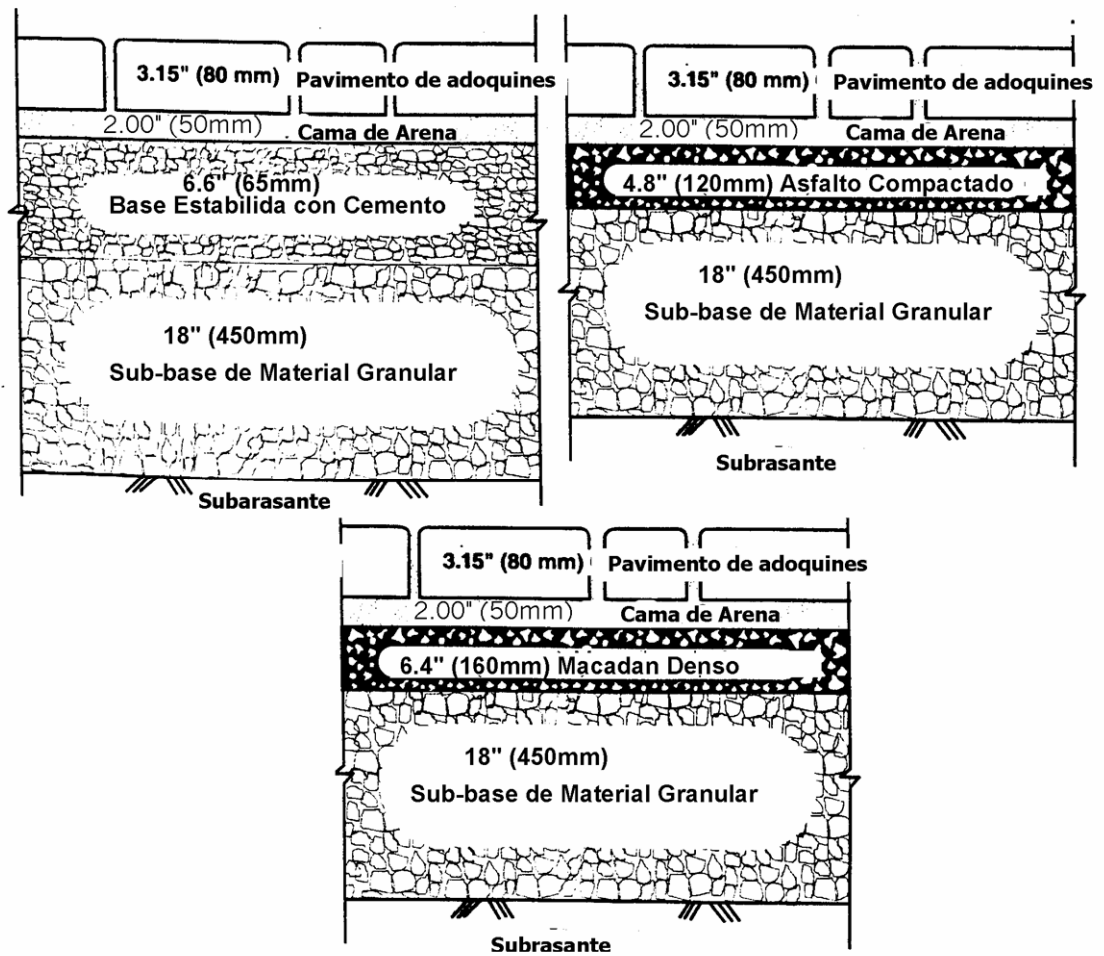


Figura 3.6.2K

Sección Transversal del Pavimento

(VER ANEXO N° 5, "MANUAL TECNICO")

3.7 PRESUPUESTO DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO⁷

La elaboración del presupuesto de la obra tiene 4 pasos fundamentales:

- ❖ Descripción de la obra y de los espesores de diseño del pavimento.
- ❖ Definición de los recursos de trabajo y de los rendimientos.
- ❖ Cálculo de los consumos de materiales.
- ❖ Cálculo de costos unitarios y totales.

3.7.1 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA Y ESPEORES DE DISEÑO DEL PAVIMENTO.

Tipo de obra = _____ (Calle, carretera, plaza, parqueadero, etc.)

Longitud del pavimento = L L = _____ (m)

Ancho del pavimento = A A = _____ (m)

Área del pavimento = a = L x A a = _____ (m²)

Número de adoquines en 1 m² = n (1) n = _____ (un)

Total de adoquines = Na = a x n x 1.05 (2) Na = _____ (un)

Espesor de la base granular = Ebg Ebg = _____ (m)

Espesor de la base de suelo-cemento = Ebs Ebs = _____ (m)

⁷ / _____ CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO (ICPC)
Serie Popular, Serie 12, Número 4, Publicación 1059

3.7.2 DEFINICIÓN DE LOS RECURSOS DE TRABAJO Y DE LOS RENDIMIENTOS.

Es necesario conocer los rendimientos de las actividades de construcción el número de obreros y los equipos que van a estar disponibles.

Número de Maestros = Nm	Nm = _____
Número de Obreros = N°	N° = _____
Tamaño de la cuadrilla = Tc = Nm + N° (3)	Tc = _____
Rendimiento de construcción de la base	Rb = _____ (m ² /d)
Rendimiento de construcción del confinamiento	Rc = _____ (m/d)
Rendimiento de la colocación de adoquines	Ra = _____ (m ² /d)

3.7.3 CÁLCULO DEL CONSUMO DE MATERIALES.

a) Capa de rodadura.

Área de adoquines = a	a = _____ (m ²)
Total de adoquines para la obra = Na	Na = _____ (un)
Vol. arena para la capa = Vac = a x 0,05 m ³ /m ² (4)	Vac = _____ (m ³)
Vol. arena para el sello = Vas = a x 0,0035 m ³ /m ² (4)	Vas = _____ (m ³)

b) Base de suelo-cemento (s-c).

Vol. base de suelo-cemento	$V_{bs} = Lx(A+0.5)x E_{bs}$ (5)	= _____ (m ³)
Número de bolsas de suelo-cemento.	$N_{bs} = V_{bs}/(0.375)$	= _____ (un)
Kilos de cemento para base de s-c.	$k_{cbs} = N_{bs} x 50$	= _____ (kg)
Litros de agua para la base de s-c	$l_{abs} = N_{bs} x 25$	= _____ (l)

c) Base granular

Volumen base granular $V_{bg} = Lx(A+0.5) x E_{bg} x 1.10$ (6) = _____ (m³)

d) Confinamiento.

Longitud confinamiento lateral $L_c = L x 2$ (7) = _____ (m)

Los rendimientos de obra, que aparecen en el Numeral 2, deben ser rendimientos tomados de la experiencia de trabajos previos, hechos en condiciones similares a las de la obra por iniciarse. Si no se dispone de ellos, se deben utilizar datos tomados de la experiencia de otros, en trabajos similares y compararlos con los obtenidos, al final de la obra, para tener datos confiables para futuros proyectos.

- (1) El número de adoquines en un m² depende de la forma y del tamaño de estos, por lo cual no es un número fijo. Para adoquines de 10 x 20cm, n = 50.
- (2) Para una vía de 6 m de ancho se calcula un desperdicio de un adoquín a un lado de la vía por corte de los adoquines, que equivale al 3% del área, y un 2% más por piezas defectuosas. Mientras más estrecha sea la vía mayor será el desperdicio, que puede ser de un 20% en andenes de 1 m, o

del 2% en vías de 10m. Se recomienda definir el ancho de manera que haya que partir la menor cantidad posible de adoquines.

- (3) Se debe recordar que además de los maestros y obreros hay que pagar los honorarios del director, coordinador o residente de la obra; y del interventor, si lo hay.
- (4) Se pide un 25 % más de lo necesario, para pérdidas por manejo.
- (5) Se construye un sobreancho de 25cm de base a cada lado.
- (6) Se asume que el espesor suelto es un 10% más. En la base de suelo-cemento, este sobreespesor se coloca en el cemento.
- (7) En una obra se pueden tener diferentes tipos de confinamiento, por lo que hay que crear un renglón, en 3.4, para cada uno de ellos, con su longitud correspondiente.

3.7.4 EJEMPLO DE COSTOS UNITARIOS Y TOTALES

Se van a construir 250m de pavimento de adoquines en una vía de 6m de ancho, con bordillos a los lados, adoquines de 10 x 20 x 8cm (50 adoquines/m²) y 25cm de base de suelo-cemento tomado desde la subrasante. Para realizar la obra se cuenta con un Maestro y 4 Obreros, los cuales construyen, por día (jornada de 8 horas): Rb = 150m² de base. Rc =16m de bordillo, Ra = 150m² de adoquines (con arenas y compactación). Se tiene herramienta varia, comprada por un precio global, pero se alquilan los vehículos, las carretillas, la cortadora y la vibrocompactadora “ranita”.

a) Cálculos de cantidades unitarias.

- ADOQUINES: $A = 6\text{m}$; $L = 250\text{m}$; $a = 6 \times 250 = 1,500\text{m}^2$; $N_a = 1,500 \times 50 \times 1.05 = 78,750$ adoquines.
- ARENAS: $V_{ac} = 1,500 \times 0.05 = 75\text{m}^3$ de arena gruesa; $V_{as} = 1,500 \times 0.0035 = 5.25\text{m}^3$ de arena fina.
- BASE DE SUELO-CEMENTO: $E_{bs} = 25\text{cm}$ (0.25m); $V_{bs} = 250 \times (6+0.5) \times 0.25\text{m} = 406.25\text{m}^3$ de suelo. $N_{bs} = 406.26/(0.375) = 1,084$ bolsas; $k_{cbs} = 1084 \times 50 = 54,200$ kilos de cemento 1,084 bolsas de 50 kg; $l_{abs} = 1,084 \times 25 = 27,100$ litros de agua ó 27.1 m^3 .
- MANO DE OBRA: $N_m = 1$; $N^\circ = 4$; $T_c = 1+4 = 5$ obreros.
- CONSTRUCCIÓN DE LA BASE: En una jornada se colocan $150\text{m}^2/\text{d} / 6\text{m} = 25\text{m}$ de vía/d de base, por lo cual se tardan $250/25 = 10$ días construyendo la base.
- CONFINAMIENTO: Como se confina a cada lado, se hacen $L_c = 250 \times 2 = 500$ m de bordillo, que se demoran en construcción $500/16 = 31.25$ días, es decir, 32 días.
- COLOCACIÓN DE LOS ADOQUINES: La colocación de la capa de rodadura de adoquines se hace en $1,500 \text{ m}^2/150 \text{ m}^2/\text{d} = 10$ días.
- La cuadrilla de 5 obreros se tarda $10+32+10 = 52$ días hábiles, que divididos por 6 son 9 semanas (2.25 meses para pago de salarios) o 61 días calendario para alquiler de equipo.
- HERRAMIENTA: La herramienta varia se usa durante todo el tiempo.
- EQUIPO: La placa vibrocompactadora es Indispensable durante la construcción de la base y la colocación de los adoquines, por lo cual se puede alquilar durante los 10 días Iniciales y los 10 finales, a los que hay que sumarles un dominical, para un total de $10+11 = 21$ días. Sin embargo, es preferible tenerla durante los 52 días.

- La cortadora se necesita los 11 días de la colocación, lo mismo que las carretillas.

Los vehículos se usan durante todo el tiempo de la obra.

b) Cálculo de costos.

En las columnas Cantidad y Tiempo de la Tabla 3.7A se colocaron los datos del ejemplo. La de Costo Unitario se llena con los costos que se tienen para la obra. La de Costo por Renglón se calcula multiplicando los datos de las columnas anteriores (2 ó 3 según el caso). Los datos de esta columna se suman y dan el Costo Total de la pavimentación. Según el caso se pueden tener costos diferentes o adicionales a estos.

TABLA 3.7A

Tabla Representativa de Cálculo de Costos

	Cantidad	Tiempo	Costo Unitario	Costo por Renglón
MATERIALES				
RODADURA				
Adoquines = Na	78,750 (un)		_____ (\$/m ²)	_____ (\$)
Arena (capa) = Vac	75 (m ³)		_____ (\$/m ³)	_____ (\$)
Arena (sello) = Vas	5.25 (m ³)		_____ (\$/m ³)	_____ (\$)
BASE DE S-C				
Suelo = Vbs	406.25 (m ³)		_____ (\$/m ³)	_____ (\$)
Cemento = kcbs	54,200 (kg)		_____ (\$/kg)	_____ (\$)
Agua = lab	27,100 (l)		_____ (\$/l)	_____ (\$)
CONFINAMIENTO				
Bordillo	500 (m)		_____ (\$/m)	_____ (\$)
EQUIPO				
Carretilla	2 (un)	11 (d)	_____ (\$/d)	_____ (\$)
Vehículos	2 (un)	61 (d)	_____ (\$/d)	_____ (\$)
Cortadora	1 (un)	11 (d)	_____ (\$/d)	_____ (\$)
Compactadota	1 (un)	21 (d)	_____ (\$/d)	_____ (\$)
HERRAMIENTAS				
Herramienta Varia				_____ (\$)
MANO DE OBRA				
Director de obra	1 (persona)	2.25 (mes)	_____ (\$/mes)	_____ (\$)
Maestro	1 (persona)	2.25 (mes)	_____ (\$/mes)	_____ (\$)
Obreros	4 (persona)	2.25 (mes)	_____ (\$/mes)	_____ (\$)
TOTAL				_____ (\$)

CAPITULO IV

DISEÑO AUTOMATIZADO PARA LOS PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO

Para poder comprender de una manera sencilla el funcionamiento del Diseño de Pavimentos con adoquines de concreto en forma automatizada (VER ANEXO N° 6) es necesario dar una breve explicación referente al programa raíz, el cual es Visual Basic 6.0., y consiste en un ambiente gráfico de desarrollo de aplicaciones para el sistema operativo Microsoft Windows, estas aplicaciones están basadas en objetos y son manejadas por eventos.

En las aplicaciones manejadas por eventos, la ejecución del programa no sigue una ruta predefinida, por lo que se ejecutan diferentes secciones de códigos en respuesta a eventos, los eventos se desarrollan por acciones del usuario, por los mensajes del sistema o de otras aplicaciones, por lo que el código de la aplicación es diferente cada vez que se ejecuta el programa.

Los objetos son formularios (ventanas), menú o control que se crea en Visual Basic, cada objeto tiene un conjunto de características y un comportamiento definido (propiedades, métodos y eventos) que lo diferencian de otros tipos de objetos, para comprender esto se define lo siguiente:

Propiedades: Conjunto de datos que describen las características de un objeto.

Métodos: Conjunto de procedimientos que permiten que un objeto ejecute una acción o tarea sobre si mismo

Eventos: Es una acción que es reconocida por un objeto

4.1 BREVE DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO PARA PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO

Programación Visual Basic:

Visual Basic 6.0 es un lenguaje de programación visual, también llamado lenguaje de 4ª generación. Esto quiere decir que un gran número de tareas se realizan sin escribir código, simplemente con operaciones gráficas realizadas con el ratón sobre la pantalla.

La mayoría de aplicaciones Windows, así como otros programas, emplean una Interfaz Gráfica de Usuario, consistente en una o más pantallas llenas de objetos, menús, botones, líneas, cuadros de edición etc.; todos inactivos hasta que el usuario provoca un *evento* al hacer clic con el ratón sobre un botón, barra de menús, en la formas, o un comando de tecla. Una vez que el evento ocurre, el usuario espera que cada objeto realice su función y se comporte de una manera confiable.

Este requerimiento de confiabilidad y de predicción es el que hace que la programación orientada a objetos y manejada por eventos sea perfecta para el desarrollo de aplicaciones Windows. Visual Basic proporciona un ambiente de desarrollo donde el trabajo tales como objetos y eventos llega a ser un proceso directo, y lo más importante, bien estructurado.

Los Pasos en este proceso son:

- ❖ Crear y dar nombre a un nuevo formulario
- ❖ Trazar y dar nombres a los objetos que se desplegarán en el formulario.
- ❖ Relacionar con los objetos significativos el código que se ejecutará en respuesta a eventos del usuario o generados por el sistema

Conceptos Básicos

Eventos: Son las acciones que se producen y que nos interesan identificar para establecer algún tipo de respuesta por parte del objeto.

Ejemplo de eventos:

- ❖ Hacer clic sobre el objeto
- ❖ Al Cargar el objeto
- ❖ Al Cerrar el objeto

Propiedades: Es un atributo nominal de un objeto de programación. Las propiedades definen las características del objeto, tales como tamaño, color, longitud, diámetro, o

algunas veces, la manera en la cual se comporta el objeto, por ejemplo si un cuadro de texto aceptará líneas de texto múltiples o sencillas.

```
Ejemplo Objeto      :      gato
Propiedades         :      gato.color = negro
                       gato.height = 10
```

Métodos: Una descripción completa de un objeto, no se limita a sus propiedades, debe comprender una definición de lo que hace

```
Ejemplo Método      :      gato.juega
                       gato.come
                       gato.duerme
```

Acrobat Reader: no es más que un lector de rapidez el cual permite abrir y ver archivos digitales en Formato de Documento Portátil (PDF) de forma ágil.

Se puede cambiar la amplificación de un documento de PDF y así tener diferentes formas de esquemas de página por lo que se puede ver una página o un flujo continuo de páginas.

El programa proporciona botones, atajos de teclado, ordena la compaginación de un documento de PDF.

4.1.1 DESCRIPCIÓN DE PANTALLAS

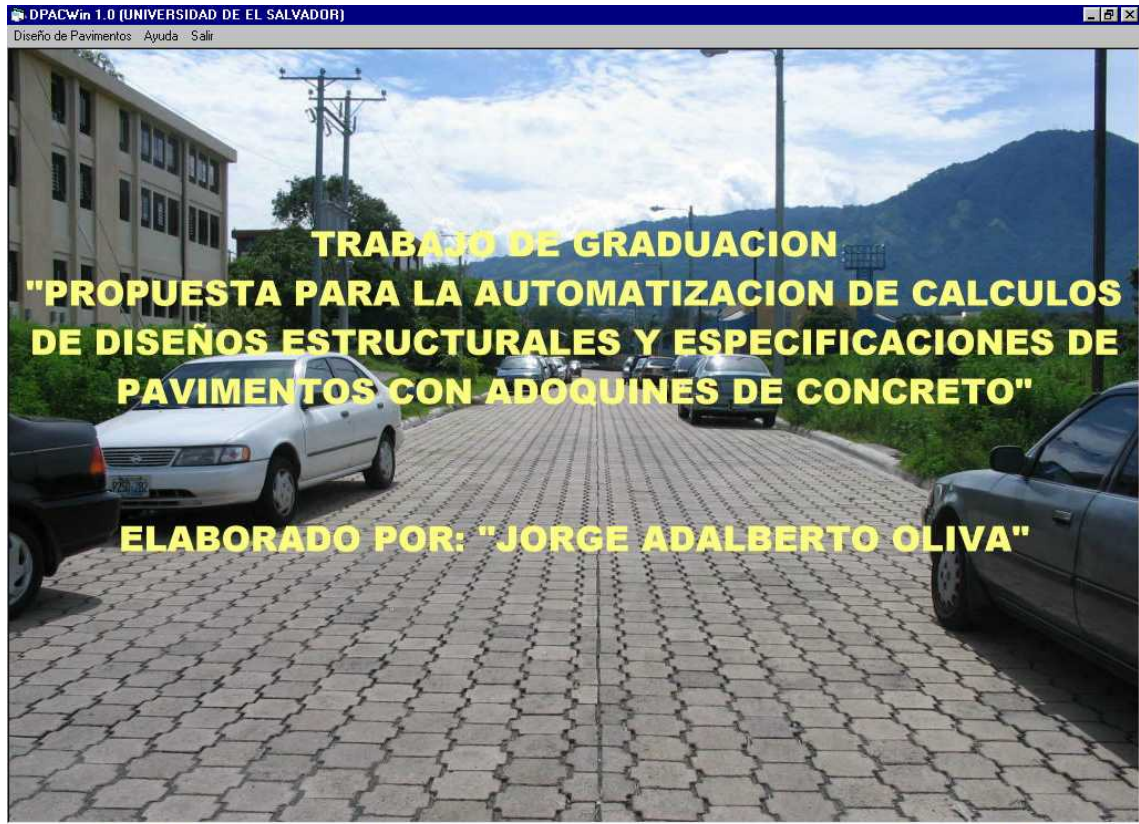


Figura 4.1A

Pantalla Inicial

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Nombre del Proyecto:

Parámetros de Diseño Específicos

De Laboratorio CBR de la Subrasante: % MR de la Subrasante: Psi

De Tablas de Diseño Calidad de Drenaje: %

Seleccione Tipo de Suelo: SUCS AASHTO SUCS Tipo de Suelo:

MR de la Subrasante: 10^3 Psi CBR de la Subrasante: %

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final: NS: Período de Diseño: Años Tasa de Crecimiento Vehicular: %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input type="checkbox"/> LP	2.20	Simple	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> C3	11.00	Simple	<input type="text"/> D
	<input type="text"/>	<input type="text"/>			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	2.20	Simple			30.00	Doble	
<input type="checkbox"/> LC	2.20	Simple	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> T3-S2	10.00	Simple	<input type="text"/> D
	<input type="text"/>	<input type="text"/>			35.20	Doble	<input type="text"/> D
	5.50	Simple			35.20	Doble	
<input type="checkbox"/> C2	10.00	Simple	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> T3-S3	11.00	Simple	<input type="text"/> D
	<input type="text"/>	<input type="text"/>			36.30	Doble	<input type="text"/> D
	20.00	Simple			35.20	Doble	

Factor de Carril: Factor de Sentido: %

Tipos de Base

Tipo de Base:

Figura 4.2B

Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO CCA - AASHTO

Nombre del Proyecto:

Parámetro de Diseño Específico
 CBR de la Subrasante: % CBR Desconocido

Parámetros de Diseño Estructural
 Serviciabilidad Final: NS: Período de Diseño: Años Tasa de Crecimiento Vehicular: %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input type="checkbox"/> LP	<input type="text"/> 2.20 <input type="text"/>	Simple <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> C3	<input type="text"/> 11.00 <input type="text"/>	Simple <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> D
	<input type="text"/> 2.20	Simple <input type="text"/>			<input type="text"/> 30.00	Doble <input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> LC	<input type="text"/> 2.20 <input type="text"/>	Simple <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> T3-92	<input type="text"/> 10.00 <input type="text"/> 35.20	Simple <input type="text"/> Doble <input type="text"/>	<input type="text"/> D
	<input type="text"/> 5.50	Simple <input type="text"/>			<input type="text"/> 35.20	Doble <input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> C2	<input type="text"/> 10.00 <input type="text"/>	Simple <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> T3-93	<input type="text"/> 11.00 <input type="text"/> 36.30	Simple <input type="text"/> Doble <input type="text"/>	<input type="text"/> D
	<input type="text"/> 20.00	Simple <input type="text"/>			<input type="text"/> 35.20	Doble <input type="text"/>	

Factor de Carril: Factor de Sentido: %

Tipos de Base
 Tipo de Base:

Figura 4.1C

Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO

Para ambos métodos de diseño se han subdividido las pantallas de forma similar, las cuales consisten en:

- 1) Nombre del proyecto
- 2) Parámetros de diseño específicos

- 3) Parámetros de diseño estructural
- 4) Tipos de Base

Nombre del proyecto: no es más que la asignación de un sustantivo al proyecto para diferenciarlo de otros.

Parámetros de Diseño Específicos

Para el caso del Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO, hay dos formas de cálculo para el porcentaje del CBR de la subrasante, el primero es por pruebas de laboratorio y el segundo por las tablas de diseño dadas por el método ICPI, cabe mencionar que el porcentaje de CBR encontrado tiene la limitación en sus valores de 2 a 20 ya que las curvas de espesores de diseño estructural del método ICPI utilizan estos rangos⁸. Cuando el diseño se realiza por medio de las tablas, se debe de determinar la calidad del drenaje, que comprenden si es excelente, bueno, adecuado, pobre o muy pobre, como así mismo el porcentaje de humedad a niveles de saturación, entre los rangos de <1%, 1 a 5%, 5 a 25%, >25% posteriormente se selecciona el tipo de suelo de la subrasante; ya sea este SUCS o AASHTO, si es del tipo de suelo SUCS se determinan de la forma siguiente:

- a) GW, GP, SW, SP
- b) GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC
- c) GM, GM-GC, GC, SW-SM, SW-SC

⁸ / ____ Structural Design of Interlocking Concret Pavement for Roads and Parking Lots, ICPI, Number 4

- d) SP-SM
- e) SP-SC
- f) SM, SM-SC
- g) SC
- h) ML, ML-CL, CL
- i) MH
- j) CH

Donde:

- GW: Gravas bien graduadas
- GP: Gravas mal graduadas
- GM: Gravas limosas
- GC: Gravas arcillosas
- SW: Arenas bien graduadas
- SP: Arenas mal graduadas
- SM: Arenas limosas
- SC: Arenas arcillosas
- ML: Limos inorgánicos (baja elasticidad)
- CL: Arcillas inorgánicas (baja o media plasticidad)
- MH: Limos inorgánicos (alta elasticidad)
- CH: Arcillas inorgánicas (alta plasticidad)

Si el diseño se basa en el tipo de suelo según AASHTO se determina de la forma siguiente:

- a) A-1-a
- b) A-1-b
- c) A-2-4, A-2-5, A-2-7
- d) A-2-6
- e) A-3
- f) A-4
- g) A-5
- h) A-6
- i) A-7-5
- j) A-7-6

Donde:

- | | |
|----------------------|--|
| A-1-a: | Grava bien graduada, o Grava pobremente graduada |
| A-1-b: | Arena gruesa |
| A-2-4, A-2-5, A-2-7: | Suelo Gravoso: Grava limosa, Grava arenosa limosa,
Grava arenosa arcillosa
Suelo arenoso: Arena limosa, Arena gravosa limosa,
Arena gravosa arcillosa |
| A-2-6: | Suelo gravoso: Grava arcillosa
Suelo arenoso: Arena arcillosa |
| A-3: | Arena fina |
| A-4: | Mezcla de limo, arena y grava |

A-5:	Limo pobremente graduado
A-6:	Arcilla plástica
A-7-5:	Arcilla elástica moderadamente plástica
A-7-6:	Arcilla elástica favorablemente plástica

TABLA 4.1A**Equivalencia entre Tipos de Suelo**

Tipo de Suelo SUCS	Tipo de Suelo AASHTO
GW, GP	A-1-a
SW	A-1-b
GM y SM, GM y SM, GC y SC	A-2-4, A-2-5, A-2-7
GC, SC	A-2-6
SP	A-3
ML	A-4
MH	A-5
CL	A-6
CL	A-7-5
CH	A-7-6

El valor de Modulo de resiliencia (MR) es una conversión interna de CBR para el caso de laboratorio el $MR = CBR \times 1500$, y para el caso de diseño por tablas es el encontrado en los cálculos y el $CBR = MR / 1500$

Para el caso del Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO, hay solamente una forma de Cálculo para el porcentaje del CBR de la subrasante⁹, y conlleva a pruebas de laboratorio, cabe mencionar que el porcentaje de CBR encontrado tiene la limitación en sus valores de 2 a 20 ya que las curvas de %CBR para la subrasante correspondientes a la figura 3.6.2C a medida que van aumentando

⁹ / _____ ADOQUINES DE CONCRETO (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto)

el espesor adquiere los valores mínimos recomendados por el método, teniendo en promedio; que a partir del valor 13% de la subrasante el valor de la sub-base el espesor mínimo se mantiene constante.

Parámetros de Diseño Estructural

Los Parámetros de Diseño Estructural en el programa computacional son realizados para que funcionen correctamente tanto para el Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO y Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO, claramente no saliéndose de los lineamientos y limitaciones que proporcionan los métodos originales en el Cálculo del ESAL's (ejes equivalentes)

Los parámetros de diseño estructural están dados por:

Servicialidad Final:

La servicialidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado por lo que el Índice de Servicialidad es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo, por lo tanto la servicialidad final es en primera instancia asumido e indica el grado de deterioro que se encontrará la vía al final de su vida de diseño, para el caso de pavimentos flexibles en donde se encuentran catalogados los adoquines de concreto, la AASHTO proporciona los valores de 2.0, 2.5, 3.0, para los diferentes tipos de ejes, simples, dobles y triples, podemos observar que la Servicialidad Final se puede analizar y asumir de la siguiente forma:

Pt = 2.5 o más para caminos muy importantes

Pt = 2.0 para caminos de menor tránsito

Número Estructural (NS):

El número estructural es un valor de espesor asumido en pulgadas, por lo consiguiente si el número estructural es 1, significa que corresponde a 1 pulg, y así sucesivamente, los valores se encuentran en el rango de 1 a 6 y no pueden ser mayores ya que las tablas de diseño de la AASHTO¹⁰ me lo restringen.

Período de Diseño:

Es el tiempo de diseño para el cual se proyectara la carretera en años, el método recomienda inicial veinte años, pero se ha extendido hasta 35 años.

Tasa de Crecimiento Vehicular:

La tasa de crecimiento vehicular representa el porcentaje de vehículos en un determinado período de análisis, lo cual nos proporciona los factores de crecimiento para los vehículos, la fórmula empleada es $= ((1+ g)^n - 1)/100$

Donde:

g = tasa/100 y no debe ser nula. Si esta es nula el factor es igual al periodo de análisis.

Los valores de Servicialidad Final, Número Estructural y Periodo de Diseño en el diseño automatizado se han colocado como combos, los cuales al aplicar un clic con el

¹⁰ / ____ AASHTO Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, 1,993, Tablas D-1 a D-9

Mouse, nos extienden los valores correspondientes a cada uno, estos valores se encuentran en una base de datos ya elaborado dentro del programa que automáticamente se inicializan, dependiendo de la variables que necesitemos para cargarlos. La Tasa de Crecimiento Vehicular se encuentra entre los rangos de 0 a 10% recomendados por la AASHTO, así mismo el programa carga los factores de crecimiento dependiendo de la tasa de crecimiento vehicular que necesitemos en su base de datos.

Tipo de Vehículo:

Para una mejor comprensión se proporciona la tabla 4.1B.

TABLA 4.1B

Tipos de Vehículos

Tipo de Vehículo	Descripción	Ejemplos
LP	Vehículo particular	Automóviles, tipo sedan, camionetas, pick-up, etc.
LC	Vehículo Comercial	Camiones a autobuses de 2.5 a 8 toneladas, equivalente a 5.5 a 17.6 kips
C2	Vehículo con un eje simple direccional y un eje simple de tracción	Camiones a autobuses de 8 a 12 toneladas, equivalente a 17.6 a 26.5 kips
C3	Vehículo con un eje simple direccional y un eje doble rueda de tracción	Camiones de 12 toneladas en adelante, equivalente a 26.5 kips, como tren de aseo, camiones concreteros.
T3-S2	Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje doble rueda de arrastre	Camiones conocidos como rastras
T3-S3	Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje triple rueda de arrastre	Camiones conocidos como rastras

1kips= 1000lbf = 0.4536Tf

Carga por Eje:

Las cargas por ejes consideradas son valores mínimos utilizados para nuestro medio, dependiendo del tipo de vehículos para el diseño, estas cargas se considera en Kips, según tablas de diseño de AASHTO¹¹.

Tipo de Eje:

Se consideran tres tipos los cuales son:

- ❖ Eje simple
- ❖ Eje doble
- ❖ Eje triple

Demanda Vehicular:

La demanda vehicular para nuestro caso se ha considerado en días, por ser una de las formas más sencillas cuando se hace el censo de cantidades de vehículos que transitan en una vía.

La automatización comprende que cuando se le de clic al tipo de vehículo a considerar se activan las casillas de texto de Carga por Eje consideradas en nuestro medio los valores mínimos para cada tipo de vehículo, Tipo de Eje los cuales se consideran simple, doble o triple; según sea el caso, Demanda vehicular que no es más que la cantidad del tipo de vehículo diaria que usarán la vía.

¹¹ / ____ AASHTO Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, 1,993, Tablas D-1 a D-9

Factor de Carril:

Como se dijo anteriormente se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's; para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril, para calles de varios carriles, el de diseño será el extremo, por el hecho de que los vehículos pesados viajan por ese carril o se puede considerar la tabla 4.1C.

TABLA 4.1C**Factor de Carril**

Número de Carriles en una sola Dirección	LC
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Para la automatización se han tomado valores de 0.5 a 1 según la tabla anterior

Factor de Sentido:

En la mayoría de los casos este valor es de 0.5; pues la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección, para una mayor comprensión tenemos la tabla 4.1D.

TABLA 4.1D**Factor de Sentido**

Número de Carriles en Ambas Direcciones	% LD
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Para la automatización se han considerado valores de 0 a 100%, recordando que es responsabilidad del diseñador establecer los valores pertinentes para cada proyecto.

Cálculo de ESAL's:

Nuestro objetivo primordial en los Parámetros de Diseño Estructural es obtener un valor de ESAL's (ejes equivalentes), Por lo tanto todos los elementos que corresponden deben de estar con valores para que el cálculo se efectúe correctamente.

Tipos de Base

Para el caso Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO existen tres tipos de bases (VER ANEXO N° 7 para tener una clara idea de cómo se calcularon los tipos de bases) a considerar las cuales son:

- a) Base Material Granular
- b) Base Estabilizada con Cemento
- c) Base Estabilizada con Asfalto

Para el caso Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO existen tres tipos de bases a considerar las cuales son:

- a) Base Estabilizada con Cemento
- b) Base de Macadán Denso
- c) Base de Asfalto Compactado

La consideración automatizada comprende en que todos los datos anteriores los podemos guardar, y así mismo abrirlos cuando lo deseemos e imprimir la pantalla de datos, y por lo tanto, con el valor del %CBR y el ESAL's calculado al proporcionarle con el Mouse clic sobre la base deseada para cualquiera de ambos métodos; se carga automáticamente, para luego presionar el botón "**calcular**", y así poder tener una respuesta gráfica y con datos de los parámetros utilizados, como las características de las bases o sub-bases para el diseño de pavimentos con adoquines de concreto; por lo que se presenta a continuación una representación de la respuesta a un determinado diseño de pavimento:

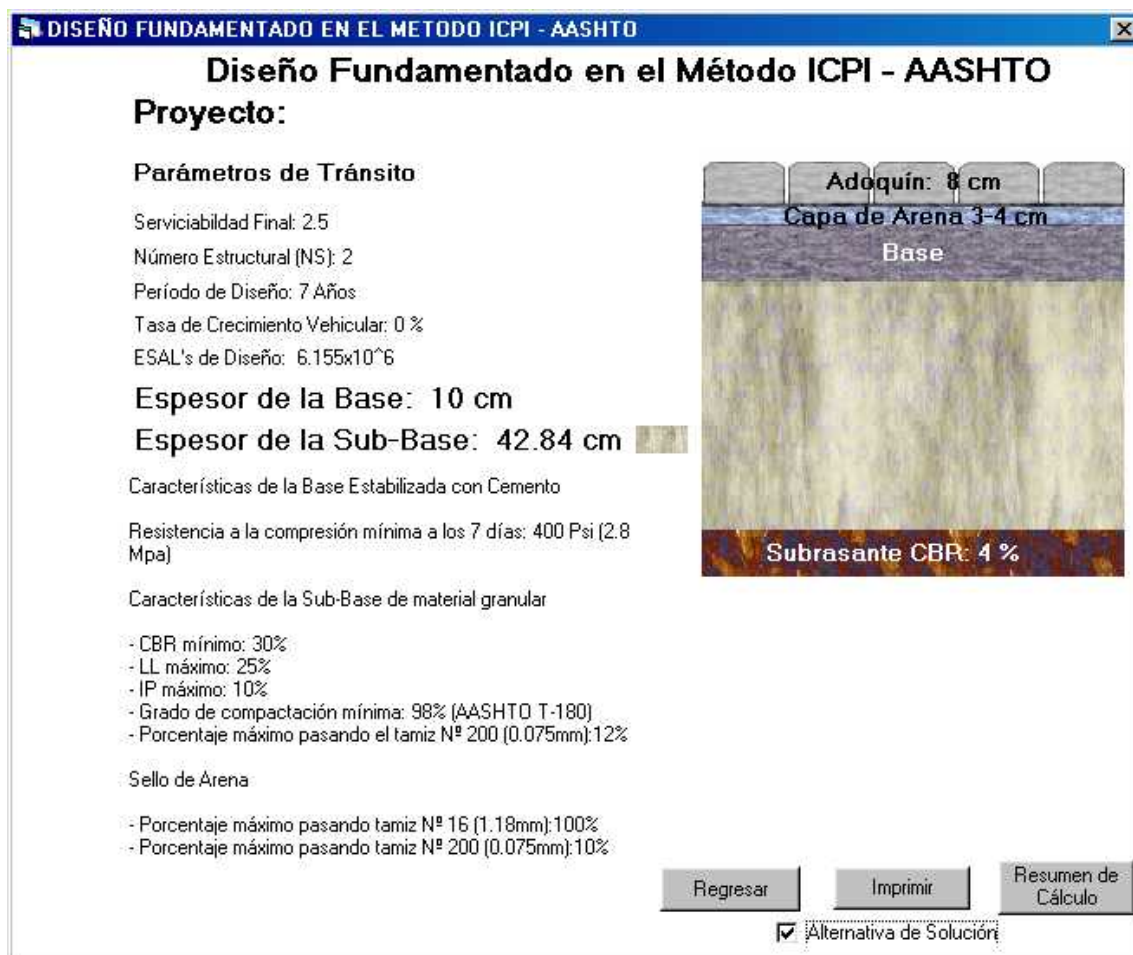


Figura 4.1D

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

Aquí podemos apreciar que el gráfico representativo del pavimento proporciona los valores del espesor del adoquín para el tipo de vehículos calculados dependiendo del ESAL's, la capa de arena se mantiene constante de 3 a 4cm para el diseño, posteriormente se observa la capa de base o sub-base, que también dependen de los parámetros de diseño proporcionados, al final se puede observar la subrasante, con su

respectivo %CBR, que es del cual se inicializa los espesores de los distintos elementos que conforman el diseño de pavimentos con adoquines de concreto.

Y finalizando con el diseño se manda un Resumen de Cálculo de lo que es el diseño del pavimento, para que el proyectista o diseñador de un determinado proyecto tenga a mano los datos utilizados como sus respectivas respuestas de cálculo, para poderlos utilizar para la ejecución del proyecto.

NOTA: Es responsabilidad del diseñador de pavimentos con adoquines de concreto tomar y verificar que los datos y cálculos obtenidos sean congruentes y de entera confiabilidad, ya que el programa es solamente una herramienta de trabajo.

Analizando de una forma general, es necesario una breve explicación de lo que es el Valor Soporte California (CBR) y el Modulo de Resiliencia (Mr) por lo que a continuación se detallan estos parámetros de los métodos de diseño.

Valor Soporte California (CBR, AASHTO T-193)¹²

En este ensayo, mide la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón de 3pulg de área en una muestra de suelo de 6pulg. (15cm) de diámetro y 5pulg. (12.5cm) de altura, a una velocidad de 1.27mm/min (0.5pulg/min). La fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración; estas fuerzas medidas, se comparan con las que se necesitan para

¹² / ___ Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos

producir iguales penetraciones en una muestra que sirve de patrón, la cual es piedra partida bien graduada; la definición del CBR es:

$$CBR = \frac{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5 mm en un suelo}}{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5mm en la muestra patrón}}$$

Relación que nos da un valor que se indica en porcentaje, el cual puede ser muy variable dependiendo de los suelos analizados; 2 a 4% en arcillas plásticas hasta un 70% o más en materiales granulares de buena calidad.

Todos los suelos, tanto finos como gruesos o sus mezclas, se compactan a diferentes contenidos de humedad tanto arriba como abajo de su humedad óptima. Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sumergen en agua durante un período mínimo de 96 horas, antes de proceder a su ensayo, con el objeto de simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los CBR de los suelos bajo las condiciones más críticas. En el ensayo y en inmersión, se colocan pesos sobre las muestras, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares, como de la estructura de pavimento, a las cuales van a estar sometidos los suelos de la subrasante.

El método del CBR para diseño de pavimentos, se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la subrasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito.

Módulo de Resiliencia (Mr) para Pavimentos Flexibles¹³

En el método de AASHTO 1993, el módulo de resiliencia reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, sub-base y base. El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales de su comportamiento. El módulo de resiliencia puede ser usado directamente para el diseño de pavimentos flexibles

Como la humedad en la subrasante es variable en el transcurso del año, es necesario hacer el estudio de la variación del módulo de resiliencia (Mr) con respecto a la humedad y poder determinar un Mr promedio de diseño, para lo cual debe precederse así:

Es necesario efectuar ensayos de Mr en el laboratorio, sobre muestras de suelo que representen las condiciones de tensión y humedad que simulen bajo las cuales estarán en el transcurso del año. Con estas pruebas se establece una relación en el laboratorio, de las condiciones entre el módulo de resiliencia y la humedad.

Se determina el módulo de resiliencia en el lugar, por medio de las deflexiones obtenidas en los pavimentos; el módulo de resiliencia se ajusta para analizar las posibles diferencias que existen entre los resultados de laboratorio y los obtenidos en el lugar.

¹³ / Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos

Es posible estimar valores normales (en época seca) del módulo de resiliencia, en función de las propiedades conocidas de los suelos y utilizar relaciones empíricas para calcular las variaciones conforme las épocas del año.

El año se divide en periodos en los cuales el Módulo de resiliencia (Mr) se mantiene constante; dichos periodos no pueden ser menores de 15 días. Con cada valor del Módulo de resiliencia (Mr) se determina mediante la tabla 4.1E y el valor del Daño Relativo (Uf) se obtiene de la siguiente fórmula:

$$Uf = 1.18 \times 10^8 \times Mr^{-2.32}$$

TABLA 4.1E

Módulo efectivo de Resiliencia de la subrasante para pavimentos flexibles en función del criterio de servicialidad

No.	Meses	Módulo de la subrasante Mr (PSI)	Daño Relativo Uf
1	Enero	20,000	0.012402
2	Febrero	20,000	0.012402
3	Marzo	2,500	1.544049
4	Abril	4,000	0.518923
5	Mayo	4,000	0.518923
6	Junio	7,000	0.141662
7	Julio	7,000	0.141662
8	Agosto	7,000	0.141662
9	Septiembre	7,000	0.141662
10	Octubre	7,000	0.141662
11	Noviembre	4,000	0.518923
12	Diciembre	20,000	0.012402
		Suma Uf	3.846336
		Uf promedio	0.3205280039

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO, 1,993 y datos calculados, conforme la ecuación Uf

Seguidamente, se determina el daño relativo medio anual, para lo cual se suman todos los U_f y se divide entre el número de meses tomados en cuenta. El Módulo de resiliencia (M_r) de la subrasante es el correspondiente al U_f medio y éste será el valor a considerar para el diseño del pavimento flexible, siendo en el presente caso igual a 4,800.

4.2 DISEÑO AUTOMATIZADO FUNDAMENTADO EN EL MÉTODO ICPI-AASHTO.

4.2.1 EJEMPLO 1

Datos de diseño (VER ANEXO N° 6)

Una residencial, urbana de dos carriles se diseñará utilizando pavimentadora de concreto. Las pruebas de laboratorio en el suelo de la subrasante indican que el pavimento va a ser construido sobre sedimento arenoso; es decir, tipo de suelo ML de acuerdo al sistema de clasificación SUCS. No hay disponibles datos de campo de Módulo de Resiliencia o CBR. A partir de datos climáticos disponibles y tipo de suelo de la subrasante, se anticipa que el pavimento será expuesto a niveles de humedad próximos a saturación más allá del 25% del tiempo. La calidad del drenaje es aceptable. Datos detallados de tráfico ESAL's no están disponibles.

Utilizando la información anterior, se elaborarán diseños de los siguientes materiales de base y sub-base:

- ❖ Base Material Granular
- ❖ Base Estabilizada con Asfalto
- ❖ Sub-base de Material Granular

Todos los diseños deben incluir una capa de base pero no necesariamente la capa sub-base de agregado.

Reconociendo que no hay disponible información detallada de tráfico se utilizará el valor recomendado en la tabla 3.6.1B.

0.84 millones = 840,000 ESAL's de Diseño.

Base Material Granular

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Nombre del Proyecto: EJEMPLO 1

Parámetros de Diseño Específicos

De Laboratorio CBR de la Subrasante: % MR de la Subrasante: Psi

De Tablas de Diseño Calidad de Drenaje: Adecuado >25 %

Seleccione Tipo de Suelo: SUCS AASHTO SUCS Tipo de Suelo: ML, ML-CL, CL de la subrasante

MR de la Subrasante: 7.5 10⁻³ Psi CBR de la Subrasante: 5 %

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final: NS: Período de Diseño: Años Tasa de Crecimiento Vehicular: %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input type="checkbox"/> LP	2.20	Simple	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> CB	11.00	Simple	<input type="text"/> D
	2.20	Simple	<input type="text"/> D		30.00	Doble	<input type="text"/> D
<input type="checkbox"/> LC	2.20	Simple	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> T332	10.00	Simple	<input type="text"/> D
	5.50	Simple	<input type="text"/> D		35.20	Doble	<input type="text"/> D
<input type="checkbox"/> C2	10.00	Simple	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> T333	11.00	Simple	<input type="text"/> D
	20.00	Simple	<input type="text"/> D		36.30	Doble	<input type="text"/> D
					35.20	Doble	<input type="text"/> D

Factor de Carril: 1 Factor de Sentido: 100 % **Calcular ESAL's** 840000

Tipos de Base

Tipo de Base: Base Material Granular **Calcular** **Imprimir**

Figura 4.2.1A
Pantalla Datos de Diseño

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Diseño Fundamentado en el Método ICPI - AASHTO

Proyecto: EJEMPLO 1

Parámetros de Tránsito

Serviciabilidad Final:

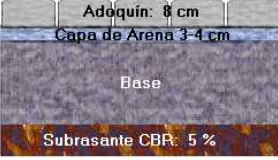
Número Estructural (NS):

Período de Diseño: Años:

Tasa de Crecimiento Vehicular: %:

ESAL's de Diseño: 8.4x10⁵

Espesor de la Base: 21.75 cm



Características de la Base de Material Granular

- CBR mínimo: 80%
- LL máximo: 25%
- IP máximo: 6%
- Grado de compactación mínima: 98% (AASHTO T-180)
- Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 200 (0.075mm): 8%

Sello de Arena

- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm): 100%
- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm): 10%

Regresar **Imprimir** **Resumen de Cálculo**

Alternativa de Solución

Figura 4.2.1B
Pantalla de Gráfica Representativa del Pavimento

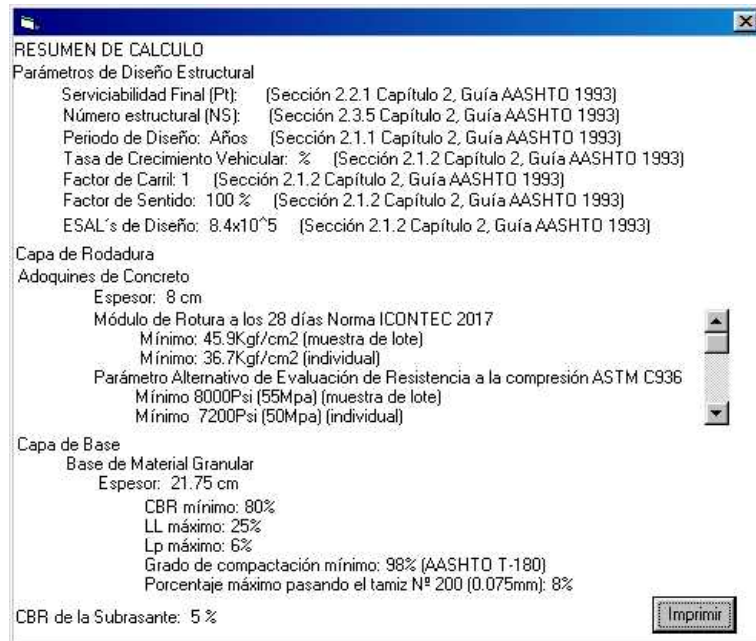


Figura 4.2.1C
Resumen de Cálculo

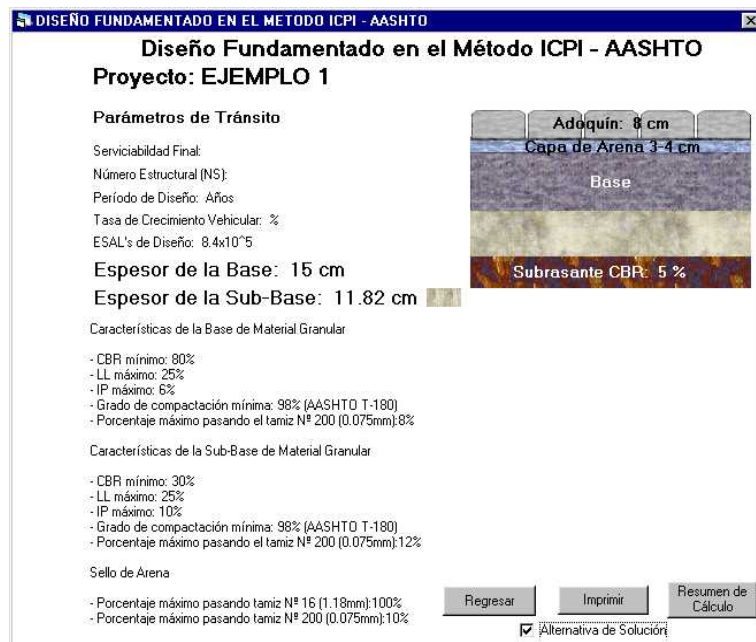


Figura 4.2.1D

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento cuando existe Sub-base

RESUMEN DE CÁLCULO

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final (Pt): (Sección 2.2.1 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Número estructural (NS): (Sección 2.3.5 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Período de Diseño: Años: (Sección 2.1.1 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Tasa de Crecimiento Vehicular: % (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Factor de Carril: 1 (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Factor de Sentido: 100 % (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 ESAL's de Diseño: 8.4×10^5 (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Capa de Rodadura
 Adoquines de Concreto
 Espesor: 8 cm
 Módulo de Rotura a los 28 días Norma ICONTEC 2017
 Mínimo: 45.9Kgf/cm² (muestra de lote)
 Mínimo: 36.7Kgf/cm² (individual)
 Parámetro Alternativo de Evaluación de Resistencia a la compresión ASTM C936
 Mínimo 8000Psi (55Mpa) (muestra de lote)
 Mínimo 7200Psi (50Mpa) (individual)

Capa de Base
 Base de Material Granular
 Espesor: 15 cm
 CBR mínimo: 80%
 LL máximo: 25%
 Lp máximo: 6%

Capa de Sub-Base
 Sub-Base de Material Granular
 Espesor: 11.82 cm
 CBR mínimo: 30%
 LL máximo: 25%
 Lp máximo: 10%

CBR de la Subrasante: 5 %

Imprimir

Figura 4.2.1E

Resumen de Cálculo cuando existe Sub-base

Base Estabilizada con Asfalto

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Diseño Fundamentado en el Método ICPI - AASHTO
Proyecto: EJEMPLO 1

Parámetros de Tránsito

Serviciabilidad Final:
 Número Estructural (NS):
 Período de Diseño: Años:
 Tasa de Crecimiento Vehicular: %
 ESAL's de Diseño: 8.4×10^5

Espesor de la Base: 7.5 cm

Características de la Base Estabilizada con Asfalto

- Estabilidad Marshall mínima 18000lb (8000 N)
- El material debe cumplir las especificaciones de asfalto, bien compactado y de gradación densa.

Sello de Arena

- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm): 100%
- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm): 10%

Nota: El valor obtenido en el espesor de base = 7.5 cm corresponde al valor mínimo de espesor del método para base estabilizada con asfalto, en este caso, se sugiere colocar en el proyecto 13 cm, debido a que la experiencia en campo nos indica resultados favorables al considerar como mínimo 13 cm en este tipo de base

Adoquín: 8 cm
 Capa de Arena 3-4 cm
 Base
 Subrasante CBR: 5 %

Regresar Imprimir Resumen de Cálculo

Alternativa de Solución

Figura 4.2.1F

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento



Figura 4.2.1G
Resumen de Cálculo

Para el caso de la alternativa de solución no existe sub-base para la base estabilizada con asfalto ya que el método proporciona el valor mínimo requerido en la base.

4.2.2 EJEMPLO 2

Datos de diseño (VER ANEXO N° 6):

El proyecto consiste en pavimentar calles y avenidas de una urbanización con longitud aproximada de 1Km, con ancho variable de 7.7m, 7.0m y 6.5m se trata de determinar el espesor del pavimento y una alternativa de solución; vida útil del proyecto es de 25 años, no se considerará el crecimiento vehicular por ser un proyecto residencial, ni tampoco congelamiento. La calidad del drenaje se considera buena.

Considerando un invierno de 10 días de lluvia continua se obtiene el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Teniendo un censo vehicular del tipo de tráfico en el lugar tenemos la tabla 4.2A

TABLA 4.2A

Censo Vehicular

Tipo de Vehículo	Carga en eje simple delantero y trasero respectivamente en Kips	Servicialidad Final	Número estructural	Factor de eje equivalente
Automóvil	2.31	2.0	3.0	0.000479
	2.31	2.0	3.0	0.000479
Pick-Up	7.30	2.0	3.0	0.02725
	7.30	2.0	3.0	0.02725
C2	18.56	2.0	3.0	1.0224
	18.56	2.0	3.0	1.0224
C3	11.50	2.0	3.0	0.16425
	11.50	2.0	3.0	0.16425

Se aprecia que el tipo de suelo está conformado por material orgánico suelto en su primer estrato, luego se observa en un segundo estrato suelo arenoso compuesto por fragmentos de piedra, grava arena y material ligante, poco plástico que de acuerdo a la clasificación en el sistema unificado a un tipo de suelo SW, según tablas de diseño del método ICPI el valor de CBR es de 13.33%. Para este diseño se considera un invierno de 10 días de lluvia continua por lo que tenemos un porcentaje de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad a la saturación.

$$\% \text{tiempo} = (10 \cdot 100) / 365 = 2.74\%$$

La calidad del drenaje se considera buena

Base Material Granular

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Nombre del Proyecto: EJEMPLO 2

Parámetros de Diseño Específicos

De Laboratorio CBR de la Subrasante: [] % MR de la Subrasante: [] Psi

De Tablas de Diseño Calidad de Drenaje: Bueno [] 1 a 5 [] %

Seleccione Tipo de Suelo: SUCS AASHTO SUCS Tipo de Suelo: GM, GM-GC, GC, SW-SM, SW-SC

MR de la Subrasante: 20 10³ Psi CBR de la Subrasante: 13.33 %

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final: 2.0 NS: 3 Período de Diseño: 25 Años Tasa de Crecimiento Vehicular: 0 %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input checked="" type="checkbox"/> LP	2.31	Simple	60 D	<input checked="" type="checkbox"/> C3	11.5	Simple	1 D
	2.31	Simple			11.5	Doble	
<input checked="" type="checkbox"/> LC	7.30	Simple	62 D	<input type="checkbox"/> T3-S2	10.00	Simple	
	7.30	Simple			35.20	Doble	
	7.30	Simple			35.20	Doble	
<input checked="" type="checkbox"/> C2	18.56	Simple	1 D	<input type="checkbox"/> T3-S3	11.00	Simple	
	18.56	Simple			36.30	Doble	
	18.56	Simple			35.20	Doble	

Factor de Carril: 1 Factor de Sentido: 50 % **Calcular ESAL's** 27048.006

Tipos de Base

Tipo de Base: Base Material Granular **Abrir** **Guardar** **Calcular** **Imprimir**

Figura 4.2.2A
Pantalla Datos de Diseño

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Diseño Fundamentado en el Método ICPI - AASHTO

Proyecto: EJEMPLO 2

Parámetros de Tránsito

Serviciabilidad Final: 2.0

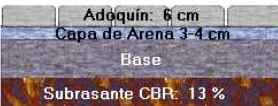
Número Estructural (NS): 3

Período de Diseño: 25 Años

Tasa de Crecimiento Vehicular: 0 %

ESAL's de Diseño: 2.704x10⁴

Espesor de la Base: 10 cm



Características de la Base de Material Granular

- CBR mínimo: 80%
- LL máximo: 25%
- IP máximo: 6%
- Grado de compactación mínima: 98% (AASHTO T-180)
- Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 200 (0.075mm): 8%

Sello de Arena

- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm): 100%
- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm): 10%

Regresar **Imprimir** **Resumen de Cálculo**

Alternativa de Solución

Figura 4.2.2B
Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento



Figura 4.2.2C

Resumen de Cálculo

Base Estabilizada con Cemento

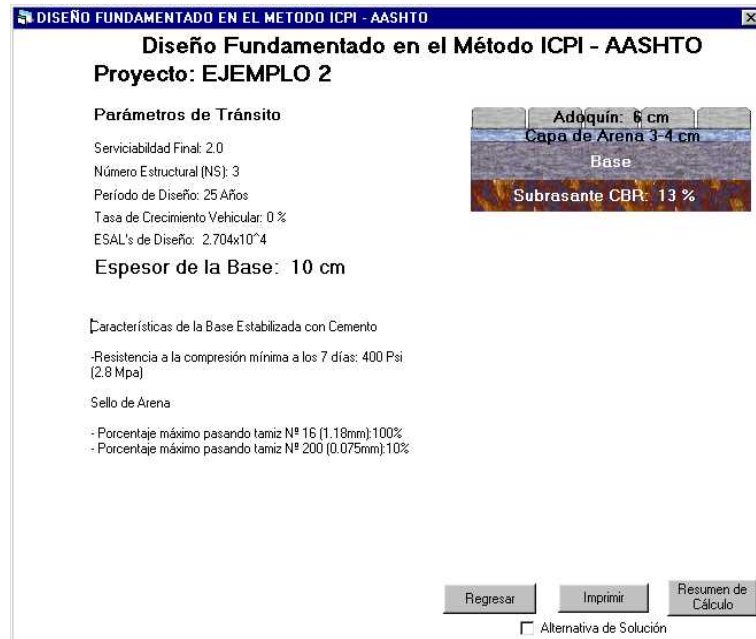


Figura 4.2.2D

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

RESUMEN DE CALCULO

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final (Pt): 2.0 (Sección 2.2.1 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Número estructural (NS): 3 (Sección 2.3.5 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Periodo de Diseño: 25 Años (Sección 2.1.1 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Tasa de Crecimiento Vehicular: 0 % (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Factor de Carril: 1 (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Factor de Sentido: 50 % (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 ESAL's de Diseño: 2.704×10^4 (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Capa de Rodadura

Adoquines de Concreto
 Espesor: 6 cm
 Módulo de Rotura a los 28 días Norma ICONTEC 2017
 Mínimo: 45.9Kgf/cm² (muestra de lote)
 Mínimo: 36.7Kgf/cm² (individual)
 Parámetro Alternativo de Evaluación de Resistencia a la compresión ASTM C936
 Mínimo 8000Psi (55Mpa) (muestra de lote)
 Mínimo 7200Psi (50Mpa) (individual)

Capa de Base
 Base Estabilizada con Cemento
 Espesor: 10 cm
 Resistencia a la compresión mínima a los 7 días: 400 Psi (2.8 Mpa)

CBR de la Subrasante: 13 %

Imprimir

Figura 4.2.2E

Resumen de Cálculo

Base Estabilizada con Asfalto

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Diseño Fundamentado en el Método ICPI - AASHTO
Proyecto: EJEMPLO 2

Parámetros de Tránsito

Serviciabilidad Final: 2.0
 Número Estructural (NS): 3
 Período de Diseño: 25 Años
 Tasa de Crecimiento Vehicular: 0 %
 ESAL's de Diseño: 2.704×10^4

Espesor de la Base: 7.5 cm

Características de la Base Estabilizada con Asfalto

- Estabilidad Marshall mínima 18000lb (8000 N)
- El material debe cumplir las especificaciones de asfalto, bien compactado y de gradación densa.

Sello de Arena

- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm): 100%
- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm): 10%

Nota: El valor obtenido en el espesor de base = 7.5 cm corresponde al valor mínimo de espesor del método para base estabilizada con asfalto, en este caso, se sugiere colocar en el proyecto 13 cm, debido a que la experiencia en campo nos indica resultados favorables al considerar como mínimo 13 cm en este tipo de base

Adoquín: 6 cm
 Capa de Arena 3-4 cm
 Base
 Subrasante CBR: 13 %

Regresar Imprimir Resumen de Cálculo

Alternativa de Solución

Figura 4.2.2F

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

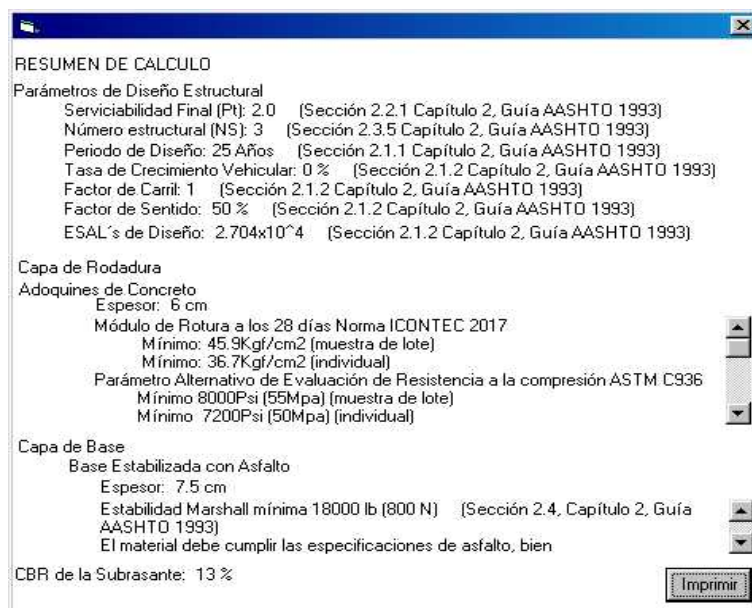


Figura 4.2.2G

Resumen de Cálculo

4.3 DISEÑO AUTOMATIZADO FUNDAMENTADO EN EL MÉTODO CCA-AASHTO.

4.3.1 EJEMPLO 3

(VER ANEXO N° 6)

Un pavimento industrial deberá soportar 50 movimientos de un vehículo triaxial (vehículo de tres ejes) por día, dos de los ejes cargan 8,000kg cada uno y el tercero, 7,500kg Otros vehículos de dos ejes, cada uno con una carga de 10,000 kg, usaran el pavimento 160 veces en total por día. La duración del pavimento es de 20 años, y se toman en cuenta 300 días hábiles por año. La subrasante es una arcilla limosa y tiene un valor estimado CBR de 5%. El manto freático está un metro abajo del nivel de

excavación, por medio de la figura 3.6.2B determinarse, tanto los factores de equivalencia, como el número de ejes estándar por día de la tabla 4.3A, y haciendo una conversión a Kips en la tabla 4.3B.

Tabla 4.3A

Resumen de Datos

Peso Vehículo/ Eje (kg)	Movimientos/ Vehiculares	Número de/ Ejes	Factor de / Equivalencia	Ejes estándar/ Día
8000	50	2	1.0	100
7500	50	1	0.70	35
10000	160	2	2.5	800

Σ 935

Conversión de Unidades a Kips

$$1T = 1000Kg; 1Kips = 0.4536T$$

Tabla 4.3B

Resumen de Datos

Peso Vehículo en Kips	Movimientos/ Vehiculares	Número de/ Ejes	Factor de / Equivalencia	Ejes estándar/ Día
17.64	50	2	0.92602	92.602
16.53	50	1	0.697915	34.90
22.05	160	2	2.5205	806.56

Σ 934.062

Considerando una servicialidad final (Pt) de 2.0, y número estructural (NS) de 1, con eje simple, encontramos los factores de equivalencia exactos de la carga vehicular.

Base Estabilizada con Cemento

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO CCA - AASHTO

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO CCA - AASHTO

Nombre del Proyecto: EJEMPLO 3

Parámetro de Diseño Específico
CBR de la Subrasante: 5 % CBR Desconocido

Parámetros de Diseño Estructural
Serviciabilidad Final: 2.0 NS: 1 Período de Diseño: 20 Años Tasa de Crecimiento Vehicular: 0 %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input type="checkbox"/> LP	2.20	Simple		<input checked="" type="checkbox"/> C3	22.05	Simple	160
	2.20	Simple			22.05	Simple	
<input type="checkbox"/> LC	2.20	Simple		<input type="checkbox"/> T3-S2	10.00	Simple	
	5.50	Simple			35.20	Doble	
<input checked="" type="checkbox"/> C2	17.64	Simple	50	<input type="checkbox"/> T3-S3	11.00	Simple	
	17.64	Simple			36.30	Doble	
	16.53	Simple			35.20	Doble	

Factor de Carril: 1 Factor de Sentido: 100 % 6818621.562

Tipos de Base
Tipo de Base: Base Estabilizada con Cemento

Figura 4.3.1A

Pantalla Datos de Diseño

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO CCA - AASHTO

Diseño Fundamentado en el Método CCA - AASHTO

Proyecto: EJEMPLO 3

Parámetros de Tránsito

Serviciabilidad Final: 2.0
Número Estructural (NS): 1
Período de Diseño: 20 Años
Tasa de Crecimiento Vehicular: 0 %
ESAL's de Diseño: 6.818x10⁶

Espesor de la Base: 10 cm

Espesor de la Sub-Base: 25.01 cm

Material de Sub-Base: CBR >= 30 %

Características de la Base Estabilizada con Cemento

- Resistencia a la compresión mínima a los 7 días: 400 Psi (2.8 Mpa)

Sub-Base de Material Granular

Sello de Arena

- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm): 100%
- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm): 10%




Figura 4.3.1B

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

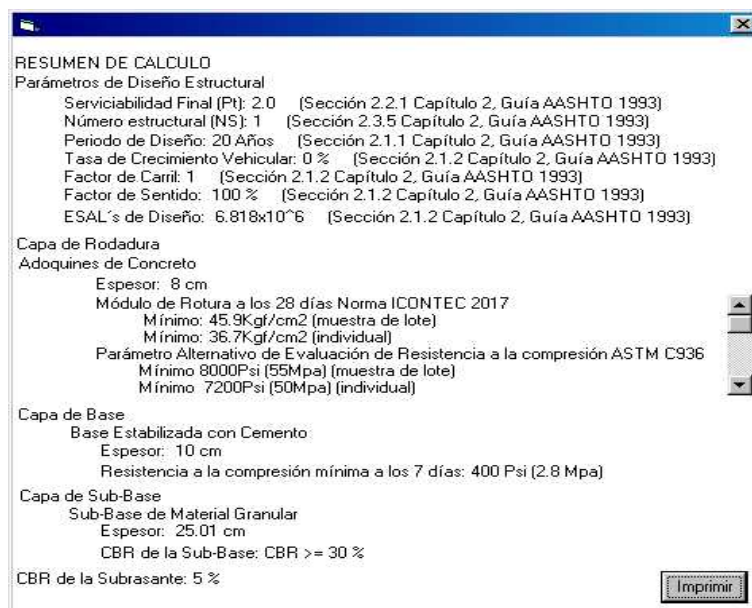


Figura 4.3.1C

Resumen de Cálculo

Base de Asfalto Compactado

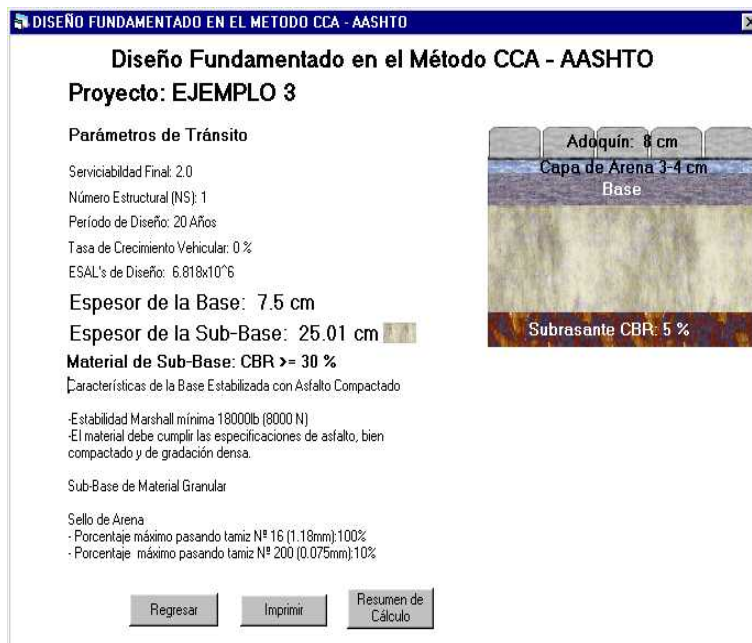


Figura 4.3.1D

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

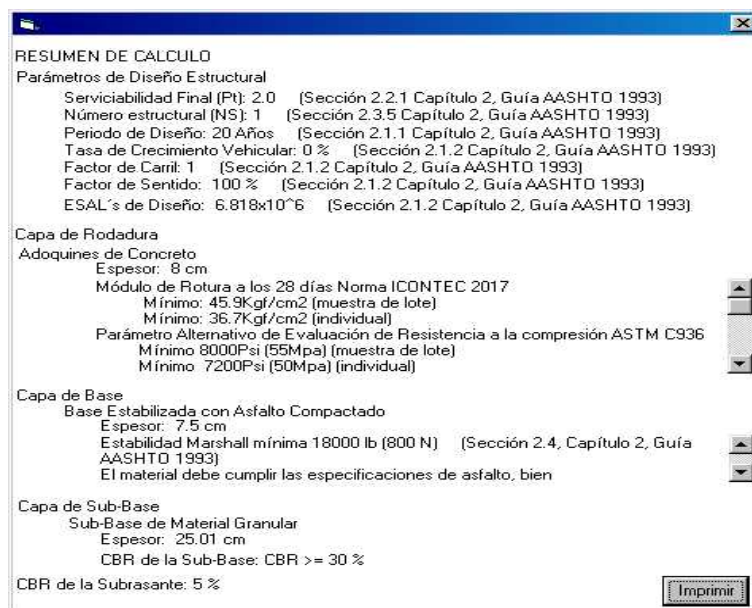


Figura 4.3.1E

Resumen de Cálculo

4.3.2 EJEMPLO 4

(VER ANEXO N° 6)

Un camino de acceso a un almacén, diseñado para soportar vehículos triaxiales (vehículos de tres ejes), que descargados pesan 15000kg y cargados 30000kg, las respectivas cargas distribuidas uniformemente sobre cada uno de los tres ejes.

El mismo camino podrá soportar vehículos comerciales con un promedio de 1.1 ejes estándar cada uno. Sobre el camino, los vehículos triaxiales harán cada día 600 movimientos de carga y de descarga y los vehículos comerciales harán 2,200 movimientos de carga por día. El camino será diseñado para que dure 20 años y estará en servicio 350 días al año. Deberán determinarse tanto los factores equivalentes para

los vehículos triaxiales, como el número de ejes estándar por día según la tabla 4.3C, y haciendo una conversión a Kips en la tabla 4.3D.

Tabla 4.3C

Resumen de Datos

Peso Vehículo/ Eje (kg)	Movimientos/ Vehiculares	Número de/ Ejes	Factor de / Equivalencia	Ejes estándar/ Día
5000	600	3	0.15	270
10000	600	3	2.5	4500
	2200	1	1.1	2420

Σ7190

Conversión de Unidades a Kips

$$1T = 1000Kg; 1Kips = 0.4536T$$

Tabla 4.3D

Resumen de Datos

Peso Vehículo en Kips	Movimientos/ Vehiculares	Número de/ Ejes	Factor de / Equivalencia	Ejes estándar/ Día
11	600	3	0.12	216
22	600	3	2.49	4482
18.34	2200	1	1.1	2420

Σ7118

Considerando una servicialidad final (Pt) de 2.0, y número estructural (NS) de 1, con eje simple, encontramos los factores de equivalencia exactos de la carga vehicular.

Base Estabilizada con Cemento

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO CCA - AASHTO

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO CCA - AASHTO

Nombre del Proyecto: EJEMPLO 4

Parámetro de Diseño Específico
 CBR de la Subrasante: % CBR Desconocido

Parámetros de Diseño Estructural
 Serviciabilidad Final: 2.0 NS: 1 Período de Diseño: 20 Años Tasa de Crecimiento Vehicular: 0 %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input type="checkbox"/> LP	2.20	Simple		<input checked="" type="checkbox"/> C3	22	Simple	
					22	Simple	600 D
	2.20	Simple			22	Simple	
<input checked="" type="checkbox"/> LC	2.20	Simple	2200 D	<input type="checkbox"/> T3-S2	10.00	Simple	
					35.20	Doble	
	18.34	Simple			35.20	Doble	
<input checked="" type="checkbox"/> C2	11	Simple	600 D	<input type="checkbox"/> T3-S3	11.00	Simple	
	11	Simple			36.30	Doble	
	11	Simple			35.20	Doble	

Factor de Carril: 1 Factor de Sentido: 100 % **Calcular ESAL's** 52026924

Tipos de Base
 Tipo de Base: Base Estabilizada con Cemento **Abrir** **Guardar** **Calcular** **Imprimir**

Figura 4.3.2A

Pantalla Datos de Diseño

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO CCA - AASHTO

Diseño Fundamentado en el Método CCA - AASHTO

Proyecto: EJEMPLO 4

Parámetros de Tránsito
 Serviciabilidad Final: 2.0
 Número Estructural (NS): 1
 Período de Diseño: 20 Años
 Tasa de Crecimiento Vehicular: 0 %
 ESAL's de Diseño: 5.202x10⁷

Espesor de la Base: 16.73 cm

Espesor de la Sub-Base: 45 cm

Material de Sub-Base: CBR >= 30 %

Características de la Base Estabilizada con Cemento

- Resistencia a la compresión mínima a los 7 días: 400 Psi (2.8 Mpa)

Sub-Base de Material Granular

Sello de Arena

- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm): 100%
- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm): 10%

Regresar **Imprimir** **Resumen de Cálculo**

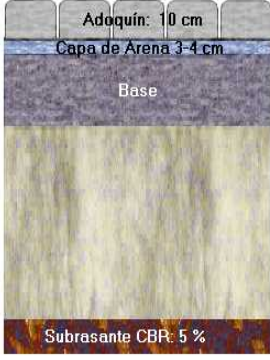


Figura 4.3.2B

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento



Figura 4.3.2C

Resumen de Cálculo

Base Macadán Denso



Figura 4.3.2D

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento



Figura 4.3.2E

Resumen de Cálculo

Base de Asfalto Compactado



Figura 4.3.2F

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

RESUMEN DE CÁLCULO

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final (Pt): 2.0 (Sección 2.2.1 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Número estructural (NS): 1 (Sección 2.3.5 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Periodo de Diseño: 20 Años (Sección 2.1.1 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Tasa de Crecimiento Vehicular: 0 % (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Factor de Carril: 1 (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 Factor de Sentido: 100 % (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 ESAL's de Diseño: 5.202×10^7 (Sección 2.1.2 Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Capa de Rodadura

Adoquines de Concreto
 Espesor: 10 cm
 Módulo de Rotura a los 28 días Norma ICONTEC 2017
 Mínimo: 45.9Kgf/cm² (muestra de lote)
 Mínimo: 36.7Kgf/cm² (individual)
 Parámetro Alternativo de Evaluación de Resistencia a la compresión ASTM C936
 Mínimo 8000Psi (55Mpa) (muestra de lote)
 Mínimo 7200Psi (50Mpa) (individual)

Capa de Base
 Base Estabilizada con Asfalto Compactado
 Espesor: 12.27 cm
 Estabilidad Marshall mínima 18000 lb (800 N) (Sección 2.4, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)
 El material debe cumplir las especificaciones de asfalto, bien

Capa de Sub-Base
 Sub-Base de Material Granular
 Espesor: 45 cm
 CBR de la Sub-Base: CBR \geq 30 %

CBR de la Subrasante: %

Imprimir

Figura 4.3.2G
Resumen de Cálculo

CAPITULO V

PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN

Los Procedimientos de Calibración consisten en determinar la funcionalidad que tendrá el programa a la hora de realizar los diseños de pavimentos con adoquines de concreto, por lo que los resultados dependiendo de los valores que se proporcionen serán congruentes y lógicos, como se muestra en el ANEXO N° 6, para que esto se lleve a cabo es necesario realizar varios ejercicios de aplicación, en este capítulo se proporcionan una serie de ejemplos para un mayor entendimiento y probar que los resultados obtenidos son confiables para los diseños de pavimentos con adoquines de concreto.

5.1 CALIBRACIÓN DEL PROGRAMA

5.1.1 DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL MÉTODO ICPI, AASHTO

EJEMPLO A

Datos de diseño (VER ANEXO N° 6):

Se diseñara una vía de 4 carriles. Las pruebas de laboratorio en el suelo de la subrasante indican que el pavimento va a ser construido sobre suelo arenoso, con arena arcillosa que según la clasificación de la AASHTO es del tipo A-2-6, las pruebas de laboratorio indicaron un valor de CRB = 10%, el periodo de diseño será de 20 años

con una tasa de crecimiento vehicular de 5% el análisis de censo vehicular viene dado por la tabla 5.1.1A.

Tabla 5.1.1A

Censo Vehicular

Tipo de Vehículo	Carga en eje simple delantero y trasero respectivamente en Kips	Servicialidad Final	Tipo de Eje	Número estructural	Demanda Vehicular
Automóvil	2.20	2.5	Simple	5	500
	2.20	2.5	Simple	5	
Pick-Up	2.20	2.5	Simple	5	450
	5.50	2.5	Simple	5	
C2	12	2.5	Simple	5	150
	22	2.5	Simple	5	
C3	15	2.5	Simple	5	100
	32	2.5	Doble	5	
T3-S3	11	2.5	Simple	5	50
	40	2.5	Doble	5	
	40	2.5	Doble	5	

TPD = 1250

Se necesitan determinar los diferentes tipos de base:

- ❖ Base de Material Granular
- ❖ Base Estabilizada con Cemento
- ❖ Base Estabilizada con Asfalto

DISEÑO MANUAL

De la tabla de la AASHTO con $P_t = 2.5$, Y Número Estructural = 5 podemos encontrar los factores equivalentes de la forma siguiente con la formula de interpolación:

$$Y = \left[\frac{(Y1 - Y0)(X - X0)}{(X1 - X0)} \right] + Y0$$

Donde:

X0 =	Valor de carga menor
X1 =	Valor de carga mayor
X =	Valor de carga por eje
Y0 =	Valor de eje equivalente correspondiente a la carga menor
Y1 =	Valor de eje equivalente correspondiente a la carga mayor

1. Análisis del Tránsito

a) **Dependiendo del tipo de eje tenemos:** de las tablas de diseño de AASHTO para pavimentos flexibles VER ANEXO N° 4 TABLAS 3-1 Y 3-2

Para el tipo de vehículo Automóvil:

$$Y = \left[\frac{(0.002 - 0.0002)(2.2 - 2.0)}{(4 - 2)} \right] + 0.0002$$

$$Y = 0.00038$$

$$Y = \left[\frac{(0.002 - 0.0002)(2.2 - 2.0)}{(4 - 2)} \right] + 0.0002$$

$$Y = 0.00038$$

Total de eje equivalente = 0.00038 + 0.00038 = 0.00076

Para el tipo de vehículo Pick-Up:

Total de eje equivalente = 0.00038 + 0.008 = 0.00838

Para el tipo de vehículo C2:

Total de eje equivalente = $0.189 + 2.18 = 2.369$

Para el tipo de vehículo C3:

Total de eje equivalente = $0.4915 + 0.857 = 1.3485$

Para el tipo de vehículo T3-S3:

Total de eje equivalente = $0.1385 + 2.08 + 2.08 = 4.2985$

b) Obteniendo un valor de factor de crecimiento para la tasa de crecimiento de la TABLA 3.2A

Con un valor de tasa de crecimiento de 5% y una vida de diseño de 20 años obtenemos el valor de factor de crecimiento = 33.07

Solución:

ESAL's de Diseño.

Tabla 5.1.1B

CÁLCULO DE ESAL's						
UBICACIÓN:					PERIODO DE ANÁLISIS (AÑOS)	20
TPDA	1250	TASA DE CRECIMIENTO (%)			5	
TIPO DE VEHÍCULO	% DE VEHÍCULOS	TRÁFICO ACTUAL	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRÁFICO DE DISEÑO	FACTOR DE EJE EQUIVALENTE	ESAL's
AUTOMÓVIL	40.000	500.00	33.07	6,035,275	0.00076	4,587
PICKUP	36.000	450.00	33.07	5,431,748	0.00838	45,518
C2	12.000	150.00	33.07	1,810,583	2.369	4,289,270
C3	8.000	100.00	33.07	1,207,055	1.3485	1,627,714
T3-S3	4.00	50.00	33.07	603,528	4.2985	2,594,263
					ESAL's	8,561,351
FACTOR DE CARRIL 0.8						
FACTOR DE SENTIDO 0.5						
ESAL's	3,424,541					

Tráfico de diseño = tráfico actual x factor de crecimiento x 365

ESAL's = Tráfico de diseño x Factor de eje equivalente

ESAL's de Diseño = ESAL's x Factor de carril x Factor de sentido

2. Cálculo de Espesores:

Con un CBR = 10%

Valor de ESAL's = 3.424×10^6

De la figura 3.6.1A para espesor de Base de Material Granular = 15cm

De la figura 3.6.1C para espesor de Base Estabilizada con Cemento = 10cm

De la figura 3.6.1B para espesor de Base Estabilizada con Cemento = 7.5cm

DISEÑO AUTOMATIZADO

Base de Material Granular

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Nombre del Proyecto: EJEMPLO A

Parámetros de Diseño Específicos

De Laboratorio CBR de la Subrasante: 10 % MR de la Subrasante: 15000 Psi

De Tablas de Diseño Calidad de Drenaje: %

Selecione Tipo de Suelo: SUCS AASHTO SUCS Tipo de Suelo:

MR de la Subrasante: 10³ Psi CBR de la Subrasante: %

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final: 2.5 NS: 5 Período de Diseño: 20 Años Tasa de Crecimiento Vehicular: 5 %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input checked="" type="checkbox"/> LP	2.20	Simple	500 D	<input checked="" type="checkbox"/> C3	15	Simple	100 D
	2.20	Simple			32	Doble	
<input checked="" type="checkbox"/> LC	2.20	Simple	450 D	<input type="checkbox"/> T3-S2	10.00	Simple	
	5.50	Simple			35.20	Doble	
<input checked="" type="checkbox"/> C2	12	Simple	150 D	<input checked="" type="checkbox"/> T3-S3	11	Simple	
	22	Simple			40	Doble	50 D
					40	Doble	

Factor de Carril: 0.8 Factor de Sentido: 50 %

Calcular ESAL's: 3424121.488

Tipos de Base

Tipo de Base: Base Material Granular

Abrir Guardar Calcular Imprimir

Figura 5.1.1A

Pantalla Datos de Diseño

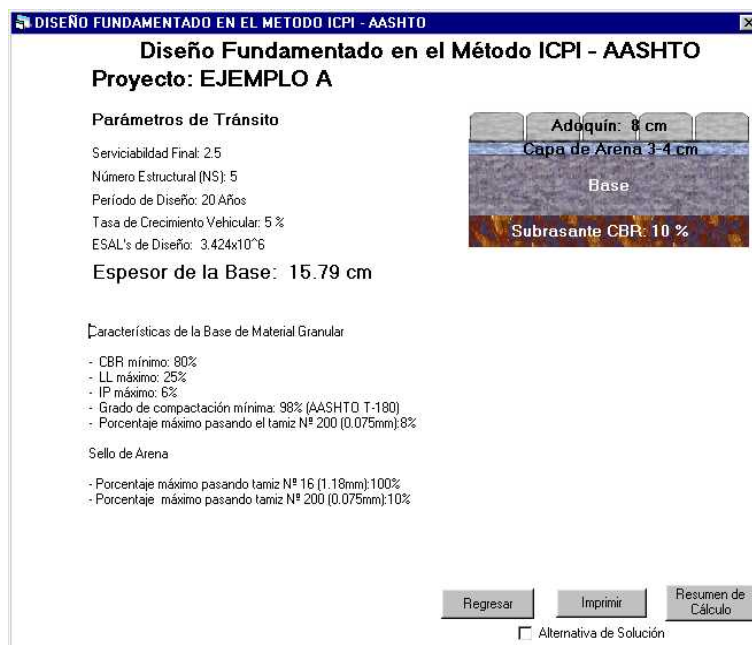


Figura 5.1.1B

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

RESUMEN DE CÁLCULO

Parámetros de Diseño Estructural

Servicialidad Final (Pt): 2.5 (Sección 2.2.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Número estructural (NS): 5 (Sección 2.3.5, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Periodo de Diseño: 20 años (Sección 2.1.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Tasa de Crecimiento Vehicular: 5 % (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Carril: 0.8 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Sentido: 50% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

ESAL's de Diseño: 3.424×10^6 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Capa de Rodadura**Adoquines de Concreto**

Espesor: 8cm

Módulo de Rotura a los 28 días Norma ICONTEC 2017

Mínimo: 45.9Kgf/cm² (muestra de lote)

Mínimo: 36.7Kgf/cm² (individual)

Parámetro Alternativo de Evaluación de Resistencia a la Compresión ASTM C936

Mínimo 8000Psi (55Mpa) (muestra de lote)

Mínimo 7200Psi (50Mpa) (individual)

Absorción: ASTM C936

Máximo 5% (muestra de lote)

Máximo 7% (Individual)

Arena de Sello

Arena natural o manufacturada seca, cribada en malla con orificios 2.5X2.5mm

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm) 100%

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm) 100%

Capa de Arena (Cama de Arena)

Arena ligeramente húmeda que cumpla con ASTM C33

Porcentaje máximo pasando el tamiz 3/8plg (9.5mm): 100%

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 100 (150µm): 2%

Capa de Base

Base de Material Granular

Espesor: 15.79cm

CBR mínimo: 80%

LL máximo: 25%

LP máximo: 6%

Grado de compactación mínimo: 98% (AASHTO T-180)

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 200 (0.075mm): 8%

CBR de la Subrasante: 10%

Base Estabilizada con Cemento

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Diseño Fundamentado en el Método ICPI - AASHTO
Proyecto: EJEMPLO A

Parámetros de Tránsito

Serviciabilidad Final: 2.5
 Número Estructural (NS): 5
 Período de Diseño: 20 Años
 Tasa de Crecimiento Vehicular: 5 %
 ESAL's de Diseño: 3.424×10^6

Espesor de la Base: 10.07 cm

Características de la Base Estabilizada con Cemento

- Resistencia a la compresión mínima a los 7 días: 400 Psi (2.8 Mpa)
- Sello de Arena
 - Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm): 100%
 - Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm): 10%

Regresar Imprimir Resumen de Cálculo

Alternativa de Solución

Figura 5.1.1C

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

RESUMEN DE CÁLCULO

Parámetros de Diseño Estructural

Servicialidad Final (Pt): 2.5 (Sección 2.2.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Número estructural (NS): 5 (Sección 2.3.5, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Periodo de Diseño: 20 años (Sección 2.1.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Tasa de Crecimiento Vehicular: 5 % (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Carril: 0.8 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Sentido: 50% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

ESAL's de Diseño: 3.424×10^6 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Capa de Rodadura

Adoquines de Concreto

Espesor: 8cm

Módulo de Rotura a los 28 días Norma ICONTEC 2017

Mínimo: 45.9Kgf/cm² (muestra de lote)

Mínimo: 36.7Kgf/cm² (individual)

Parámetro Alternativo de Evaluación de Resistencia a la Compresión ASTM C936

Mínimo 8000Psi (55Mpa) (muestra de lote)

Mínimo 7200Psi (50Mpa) (individual)

Absorción: ASTM C936

Máximo 5% (muestra de lote)

Máximo 7% (Individual)

Arena de Sello

Arena natural o manufacturada seca, cribada en malla con orificios 2.5X2.5mm

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm) 100%

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm) 100%

Capa de Arena (Cama de Arena)

Arena ligeramente húmeda que cumpla con ASTM C33

Porcentaje máximo pasando el tamiz 3/8plg (9.5mm): 100%

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 100 (150µm): 2%

Capa de Base**Base de Estabilizada con Cemento**

Espesor: 10.07cm

Resistencia a la compresión mínima a los 7 días 400Psi (2.8Mpa)

CBR de la Subrasante: 10%

Base Estabilizada con Asfalto

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Diseño Fundamentado en el Método ICPI - AASHTO
Proyecto: EJEMPLO A

Parámetros de Tránsito

Serviciabilidad Final: 2.5
 Número Estructural (NS): 5
 Período de Diseño: 20 Años
 Tasa de Crecimiento Vehicular: 5 %
 ESAL's de Diseño: 3.424×10^6

Espesor de la Base: 7.5 cm

Características de la Base Estabilizada con Asfalto

- Estabilidad Marshall mínima 18000lb (8000 N)
- El material debe cumplir las especificaciones de asfalto, bien compactado y de gradación densa.

Sello de Arena

- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm): 100%
- Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm): 10%

Nota: El valor obtenido en el espesor de base = 7.5 cm corresponde al valor mínimo de espesor del método para base estabilizada con asfalto, en este caso, se sugiere colocar en el proyecto 13 cm, debido a que la experiencia en campo nos indica resultados favorables al considerar como mínimo 13 cm en este tipo de base

Regresar Imprimir Resumen de Cálculo

Alternativa de Solución

Figura 5.1.1D

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

RESUMEN DE CÁLCULO

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final (Pt): 2.5 (Sección 2.2.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Número estructural (NS): 5 (Sección 2.3.5, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Periodo de Diseño: 20 años (Sección 2.1.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Tasa de Crecimiento Vehicular: 5 % (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Carril: 0.8 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Sentido: 50% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

ESAL's de Diseño: 3.424×10^6 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Capa de Rodadura**Adoquines de Concreto**

Espesor: 8cm

Módulo de Rotura a los 28 días Norma ICONTEC 2017

Mínimo: 45.9Kgf/cm² (muestra de lote)

Mínimo: 36.7Kgf/cm² (individual)

Parámetro Alternativo de Evaluación de Resistencia a la Compresión ASTM C936

Mínimo 8000Psi (55Mpa) (muestra de lote)

Mínimo 7200Psi (50Mpa) (individual)

Absorción: ASTM C936

Máximo 5% (muestra de lote)

Máximo 7% (Individual)

Arena de Sello

Arena natural o manufacturada seca, cribada en malla con orificios 2.5X2.5mm

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm) 100%

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm) 100%

Capa de Arena (Cama de Arena)

Arena ligeramente húmeda que cumpla con ASTM C33

Porcentaje máximo pasando el tamiz 3/8plg (9.5mm): 100%

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 100 (150µm): 2%

Capa de Base

Base de Estabilizada con Asfalto

Espesor: 7.5cm

Estabilidad Marshall mínima 18000lb (800N) (Sección 2.4, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

El material debe cumplir las especificaciones de asfalto, bien compactado y de gradación densa

NOTA: El valor obtenido en el espesor de base = 7.5cm, corresponde al valor mínimo de espesor del método para la base estabilizada con asfalto, en este caso, se sugiere colocar en el proyecto 13cm, debido a que la experiencia en campo nos indica resultados favorables al considerar como mínimo 13cm en este tipo de base

CBR de la Subrasante: 10%

EJEMPLO B

Datos de diseño:

Se ha hecho una licitación de parte del FISDL para realizar un adoquinamiento de 1.5km, los anchos de la calle varían en 6 y 7m, se necesita el diseño para un periodo de 25años se debe de dar alternativas de solución, el análisis del suelo da un CBR de 7%, la tasa de crecimiento vehicular se considera nula y el análisis del tránsito se da según la tabla 5.1.1C.

Tabla 5.1.1C**Censo Vehicular**

Tipo de Vehículo	Carga en eje simple delantero y trasero respectivamente en Kips	Servicialidad Final	Tipo de Eje	Número estructural	Demanda Vehicular
Automóvil	2.20	2	Simple	4	50
	2.20	2	Simple	4	
Pick-Up	2.5	2	Simple	4	200
	5.50	2	Simple	4	
C2	10	2	Simple	4	10
	30	2	Simple	4	
C3	14	2	Simple	4	5
	35	2	Doble	4	

TPDA = 265

Se necesitan determinar los diferentes tipos de base:

- Base Material Granular
- Base Estabilizada con Cemento
- Se desea alternativas de solución

DISEÑO MANUAL

De la tabla de la AASHTO con $P_t = 2.0$, Y Número Estructural = 4 podemos encontrar los factores equivalentes de la forma siguiente con la formula de interpolación:

$$Y = \left[\frac{(Y_1 - Y_0)(X - X_0)}{(X_1 - X_0)} \right] + Y_0$$

Donde:

X0 = Valor de carga menor

X1 = Valor de carga mayor

X = Valor de carga por eje

Y0 = Valor de eje equivalente correspondiente a la carga menor

Y1 = Valor de eje equivalente correspondiente a la carga mayor

1. Análisis del Tránsito

a) **Dependiendo del tipo de eje tenemos:** de las tablas de diseño de AASHTO para pavimentos flexibles VER ANEXO N° 4 TABLAS 3-1 Y 3-2

Para el tipo de vehículo Automóvil:

$$Y = \left[\frac{(0.002 - 0.0002)(2.2 - 2.0)}{(4 - 2)} \right] + 0.0002$$

$$Y = 0.00038$$

$$Y = \left[\frac{(0.002 - 0.0002)(2.2 - 2.0)}{(4 - 2)} \right] + 0.0002$$

$$Y = 0.00038$$

Total de eje equivalente = 0.00038 + 0.00038 = 0.00076

Para el tipo de vehículo Pick-Up:

Total de eje equivalente = 0.00038 + 0.008 = 0.00838

Para el tipo de vehículo C2:

Total de eje equivalente = 0.085 + 8.6 = 8.685

Para el tipo de vehículo C3:

Total de eje equivalente = 0.35 + 1.23 = 1.58

b) **Obteniendo un valor de factor de crecimiento para la tasa de crecimiento de la TABLA 3.2A**

Con un valor de tasa de crecimiento de 0% y una vida de diseño de 25 años obtenemos el valor de factor de crecimiento = 25

Solución:

ESAL´s de Diseño.

Tabla 5.1.1D

CÁLCULO DE ESAL's						
UBICACIÓN:				PERÍODO DE ANÁLISIS (AÑOS)	25	
TPDA	265			TASA DE CRECIMIENTO (%)	0	
TIPO DE VEHÍCULO	% DE VEHÍCULOS	TRÁFICO ACTUAL	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRÁFICO DE DISEÑO	FACTOR DE EJE EQUIVALENTE	ESAL´s
AUTOMÓVIL	18.868	50.00	25.00	456,250	0.00076	347
PICKUP	75.472	200.00	25.00	1,825,000	0.00838	15,294
C2	3.774	10.00	25.00	91,250	8.685	792,506
C3	1.887	5.00	25.00	45,625	1.58	72,088
					ESAL´s	880,234
FACTOR DE CARRIL	1					
FACTOR DE SENTIDO	0.5					
ESAL´s	440,117					

Tráfico de diseño = tráfico actual x factor de crecimiento x 365

ESAL´s = Tráfico de diseño x Factor de eje equivalente

ESAL´s de Diseño = ESAL´s x Factor de carril x Factor de sentido

2. Cálculo de Espesores:

Con un CBR = 7%

Valor de ESAL's = 4.401×10^5

De la figura 3.6.1A para espesor de Base de Material Granular = 10cm

De la figura 3.6.1C para espesor de Base Estabilizada con Cemento = 10cm

Por consideración de diseño no se considera alternativa de solución por estar en el valor mínimo de espesor de forma manual.

DISEÑO AUTOMATIZADO

Base Material Granular

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Nombre del Proyecto: EJEMPLO B

Parámetros de Diseño Específicos

De Laboratorio CBR de la Subrasante: 7 % MR de la Subrasante: 10500 Psi

De Tablas de Diseño Calidad de Drenaje: %

Seleccione Tipo de Suelo: SUCS AASHTO SUCS Tipo de Suelo:

MR de la Subrasante: 10³ Psi CBR de la Subrasante: %

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final: 2.0 NS: 4 Período de Diseño: 25 Años Tasa de Crecimiento Vehicular: 0 %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input checked="" type="checkbox"/> LP	2.20	Simple	50 D	<input checked="" type="checkbox"/> C3	14	Simple	5 D
	2.20	Simple			35	Doble	
<input checked="" type="checkbox"/> LC	2.20	Simple	200 D	<input type="checkbox"/> T3-S2	10.00	Simple	
	5.50	Simple			35.20	Doble	
<input checked="" type="checkbox"/> C2	10.00	Simple	10 D	<input type="checkbox"/> T3-S3	11.00	Simple	
	30	Simple			36.30	Doble	
					35.20	Doble	

Factor de Carril: 1 Factor de Sentido: 50 %

Calcular ESAL's: **440117**

Tipo de Base: Base Material Granular

Abrir Guardar Calcular Imprimir

Figura 5.1.1E

Pantalla Datos de Diseño

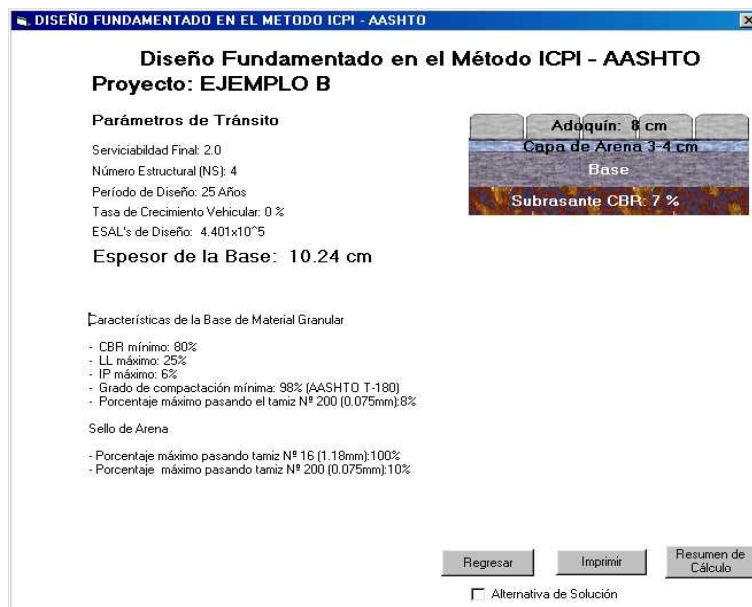


Figura 5.1.1F

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

RESUMEN DE CÁLCULO

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final (Pt): 2.0 (Sección 2.2.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Número estructural (NS): 4 (Sección 2.3.5, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Periodo de Diseño: 25 años (Sección 2.1.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Tasa de Crecimiento Vehicular: 0% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Carril: 1 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Sentido: 50% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

ESAL's de Diseño: 4.401×10^5 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Capa de Rodadura**Adoquines de Concreto**

Espesor: 8cm

Módulo de Rotura a los 28 días Norma ICONTEC 2017

Mínimo: 45.9Kgf/cm² (muestra de lote)

Mínimo: 36.7Kgf/cm² (individual)

Parámetro Alternativo de Evaluación de Resistencia a la Compresión ASTM C936

Mínimo 8000Psi (55Mpa) (muestra de lote)

Mínimo 7200Psi (50Mpa) (individual)

Absorción: ASTM C936

Máximo 5% (muestra de lote)

Máximo 7% (Individual)

Arena de Sello

Arena natural o manufacturada seca, cribada en malla con orificios 2.5X2.5mm

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm) 100%

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm) 100%

Capa de Arena (Cama de Arena)

Arena ligeramente húmeda que cumpla con ASTM C33

Porcentaje máximo pasando el tamiz 3/8plg (9.5mm): 100%

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 100 (150µm): 2%

Capa de Base

Base Material Granular

Espesor: 10.24cm

CBR mínimo: 80%

LL máximo: 25%

LP máximo: 6%

Grado de compactación mínimo: 98% (AASHTO T-180)

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 200 (0.075mm): 8%

CBR de la Subrasante: 7%

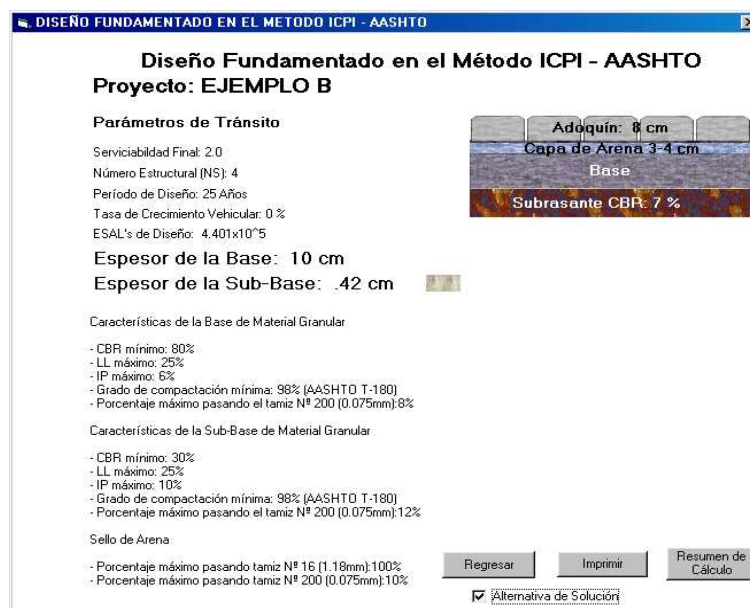


Figura 5.1.1G

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

Alternativa de Solución

RESUMEN DE CÁLCULO

Parámetros de Diseño Estructural

Servicialidad Final (Pt): 2.0 (Sección 2.2.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Número estructural (NS): 4 (Sección 2.3.5, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Periodo de Diseño: 25 años (Sección 2.1.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Tasa de Crecimiento Vehicular: 0% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Carril: 1 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Sentido: 50% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

ESAL's de Diseño: 4.401×10^5 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Capa de Rodadura

Adoquines de Concreto

Espesor: 8cm

Módulo de Rotura a los 28 días Norma ICONTEC 2017

Mínimo: 45.9Kgf/cm² (muestra de lote)

Mínimo: 36.7Kgf/cm² (individual)

Parámetro Alternativo de Evaluación de Resistencia a la Compresión ASTM C936

Mínimo 8000Psi (55Mpa) (muestra de lote)

Mínimo 7200Psi (50Mpa) (individual)

Absorción: ASTM C936

Máximo 5% (muestra de lote)

Máximo 7% (Individual)

Arena de Sello

Arena natural o manufacturada seca, cribada en malla con orificios 2.5X2.5mm

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm) 100%

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm) 100%

Capa de Arena (Cama de Arena)

Arena ligeramente húmeda que cumpla con ASTM C33

Porcentaje máximo pasando el tamiz 3/8plg (9.5mm): 100%

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 100 (150µm): 2%

Capa de Base**Base Material Granular**

Espesor: 10cm

CBR mínimo: 80%

LL máximo: 25%

LP máximo: 6%

Grado de compactación mínimo: 98% (AASHTO T-180)

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 200 (0.075mm): 8%

Capa de Sub-base**Sub-base de Material Granular**

Espesor: 0.42cm

CBR mínimo: 30%

LL máximo: 25%

LP máximo: 10%

Grado de compactación mínimo: 98% (AASHTO T-180)

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 200 (0.075mm): 12%

CBR de la Subrasante: 7%

Base Estabilizada con Cemento

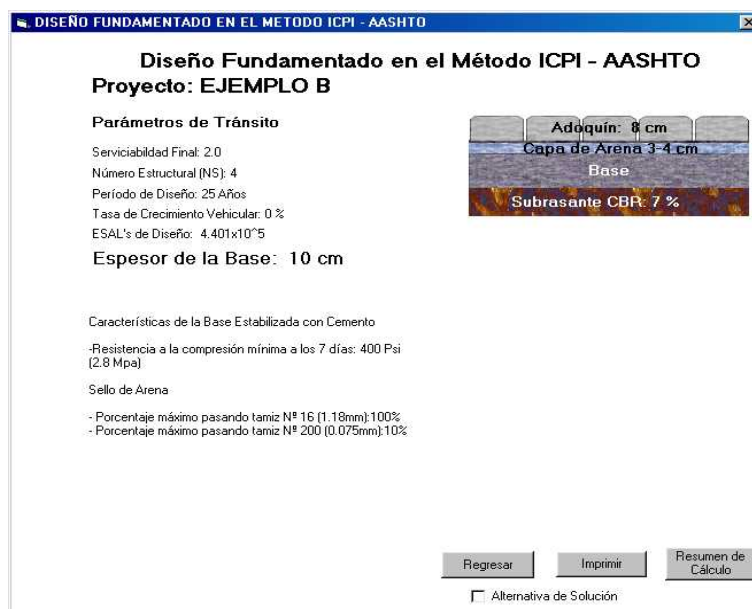


Figura 5.1.1H

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

RESUMEN DE CÁLCULO

Parámetros de Diseño Estructural

Servicialidad Final (Pt): 2.0 (Sección 2.2.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Número estructural (NS): 4 (Sección 2.3.5, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Periodo de Diseño: 25 años (Sección 2.1.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Tasa de Crecimiento Vehicular: 0% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Carril: 1 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Sentido: 50% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

ESAL's de Diseño: 4.401×10^5 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Capa de Rodadura

Adoquines de Concreto

Espesor: 8cm

Módulo de Rotura a los 28 días Norma ICONTEC 2017

Mínimo: 45.9Kgf/cm² (muestra de lote)

Mínimo: 36.7Kgf/cm² (individual)

Parámetro Alternativo de Evaluación de Resistencia a la Compresión ASTM C936

Mínimo 8000Psi (55Mpa) (muestra de lote)

Mínimo 7200Psi (50Mpa) (individual)

Absorción: ASTM C936

Máximo 5% (muestra de lote)

Máximo 7% (Individual)

Arena de Sello

Arena natural o manufacturada seca, cribada en malla con orificios 2.5X2.5mm

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm) 100%

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm) 100%

Capa de Arena (Cama de Arena)

Arena ligeramente húmeda que cumpla con ASTM C33

Porcentaje máximo pasando el tamiz 3/8plg (9.5mm): 100%

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 100 (150µm): 2%

Capa de Base**Base Estabilizada con Cemento**

Espesor: 10cm

Resistencia a la compresión mínima a los 7 días: 400Psi (2.8Mpa)

CBR de la Subrasante: 7%

Nota: No existe Alternativa de solución, por ser este el espesor mínimo

5.1.2 DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL MÉTODO CCA-AASHTO

EJEMPLO C

(VER ANEXO N° 6)

Un pavimento deberá soportar 100 movimientos de un vehículo triaxial por día, dos de los ejes cargan 10,000kg cada uno y el tercero, 8,000kg Otros vehículos de dos ejes, cada uno con una carga de 20,000 kg, usaran el pavimento 200 veces en total por día, según la tabla 5.1.2A.y su respectiva conversión a Kips La duración del pavimento

es de 25 años. La subrasante es una arcilla limosa y tiene un valor estimado CBR de 5%.

Conversión de Unidades a Kips

1T = 1000 Kg; 1 Kips = 0.4536T

Tabla 5.1.2A

Censo Vehicular

Tipo de Vehículo	Carga en eje simple delantero y trasero respectivamente en Kips	Servicialidad Final	Tipo de Eje	Número estructural	Demanda Vehicular
C2	22.05	2	Simple	1	100
	22.05	2	Simple	1	
	17.64	2	Simple	1	
C3	44.09	2	Simple	1	200
	44.09	2	Doble	1	

TPDA = 300

Considerando una servicialidad final (Pt) de 2.0, y número estructural (NS) de 1, con eje simple, encontramos los factores de equivalencia exactos de la carga vehicular con una tasa de crecimiento vehicular de 2%.

Se desea determinar una Base Estabilizada con Cemento:

DISEÑO MANUAL

De la tabla de la AASHTO con Pt = 2.0, Y Número Estructural = 1 podemos encontrar los factores equivalentes de la forma siguiente con la formula de interpolación:

$$Y = \left[\frac{(Y1 - Y0)(X - X0)}{(X1 - X0)} \right] + Y0$$

Donde:

X0 = Valor de carga menor

X1 = Valor de carga mayor

X = Valor de carga por eje

Y0 = Valor de eje equivalente correspondiente a la carga menor

Y1 = Valor de eje equivalente correspondiente a la carga mayor

1. Análisis del Tránsito

a) **Dependiendo del tipo de eje tenemos:** de las tablas de diseño de AASHTO para pavimentos flexibles VER ANEXO N° 4 TABLAS 3-1 Y 3-2

Para el tipo de vehículo C2:

$$Y = \left[\frac{(3.71 - 2.49)(22.05 - 22)}{(24 - 22)} \right] + 2.492$$

$$Y = 2.52245$$

$$Y = \left[\frac{(3.71 - 2.49)(22.05 - 22)}{(24 - 22)} \right] + 2.492$$

$$Y = 2.52245$$

$$Y = \left[\frac{(1.00 - 0.589)(17.64 - 16)}{(19 - 16)} \right] + 0.589$$

$$Y = 0.92602$$

Total de eje equivalente = $2.52245 + 2.52245 + 0.92602 = 5.97092$

Para el tipo de vehículo C3:

Total de eje equivalente = $62.4435 + 3.4551 = 65.8986$

b) Obteniendo un valor de factor de crecimiento para la tasa de crecimiento de la TABLA 3.2A

Con un valor de tasa de crecimiento de 2% y una vida de diseño de 20 años obtenemos el valor de factor de crecimiento = 24.30

Solución:

ESAL's de Diseño.

Tabla 5.1.2B

CÁLCULO DE ESAL's						
UBICACIÓN:			PERIODO DE ANÁLISIS (AÑOS)		25	
TPDA	300		TASA DE CRECIMIENTO (%)		0	
TIPO DE VEHÍCULO	% DE VEHÍCULOS	TRÁFICO ACTUAL	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRÁFICO DE DISEÑO	FACTOR DE EJE EQUIVALENTE	ESAL's
C2	33.333	100.00	24.30	886,950	5.97092	5,295,907
C3	66.667	200.00	24.30	1,773,900	65.8986	116,897,527
					ESAL's	122,193,434
FACTOR DE CARRIL		1				
FACTOR DE SENTIDO		0.5				
ESAL's		61,096,717				

Tráfico de diseño = tráfico actual x factor de crecimiento x 365

ESAL's = Tráfico de diseño x Factor de eje equivalente

ESAL's de Diseño = ESAL's x Factor de carril x Factor de sentido

2. Cálculo de Espesores:

Con un CBR = 5%

Valor de ESAL's = 6.109×10^7

De la figura 3.6.2C para espesor de la Sub-base de Material Granular = 29cm

De la figura 3.6.2D para espesor de Base Estabilizada con Cemento = 17.5cm

DISEÑO AUTOMATIZADO

Base Estabilizada con Cemento:

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO CCA - AASHTO

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO CCA - AASHTO

Nombre del Proyecto: EJEMPLO C

Parámetro de Diseño Específico
 CBR de la Subrasante: 5 % CBR Desconocido

Parámetros de Diseño Estructural
 Serviciabilidad Final: 2.0 NS: 1 Período de Diseño: 20 Años Tasa de Crecimiento Vehicular: 2 %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input type="checkbox"/> LP	2.20	Simple		<input checked="" type="checkbox"/> C3	44.09	Simple	200 D
	2.20	Simple			44.09	Doble	
<input type="checkbox"/> LC	2.20	Simple		<input type="checkbox"/> T3-S2	10.00	Simple	
	5.50	Simple			35.20	Doble	
<input checked="" type="checkbox"/> C2	22.05	Simple		<input type="checkbox"/> T3-S3	11.00	Simple	
	22.05	Simple	100 D		36.30	Doble	
	17.64	Simple			35.20	Doble	

Factor de Carril: 1 Factor de Sentido: 50 % 61088373.75

Tipos de Base
 Tipo de Base: Base Estabilizada con Cemento

Figura 5.1.2A
Pantalla Datos de Diseño

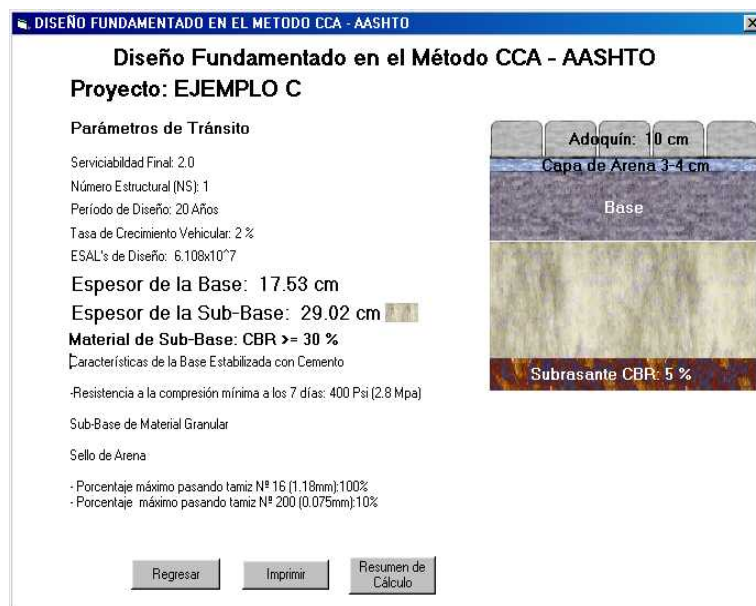


Figura 5.1.2B

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

RESUMEN DE CÁLCULO

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final (Pt): 2.0 (Sección 2.2.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Número estructural (NS): 1 (Sección 2.3.5, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Periodo de Diseño: 20 años (Sección 2.1.1, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Tasa de Crecimiento Vehicular: 2% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Carril: 1 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Factor de Sentido: 50% (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

ESAL's de Diseño: 6.108×10^7 (Sección 2.1.2, Capítulo 2, Guía AASHTO 1993)

Capa de Rodadura**Adoquines de Concreto**

Espesor: 10cm

Módulo de Rotura a los 28 días Norma ICONTEC 2017

Mínimo: 45.9Kgf/cm² (muestra de lote)

Mínimo: 36.7Kgf/cm² (individual)

Parámetro Alternativo de Evaluación de Resistencia a la Compresión ASTM C936

Mínimo 8000Psi (55Mpa) (muestra de lote)

Mínimo 7200Psi (50Mpa) (individual)

Absorción: ASTM C936

Máximo 5% (muestra de lote)

Máximo 7% (Individual)

Arena de Sello

Arena natural o manufacturada seca, cribada en malla con orificios 2.5X2.5mm

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 16 (1.18mm) 100%

Porcentaje máximo pasando tamiz N° 200 (0.075mm) 100%

Capa de Arena (Cama de Arena)

Arena ligeramente húmeda que cumpla con ASTM C33

Porcentaje máximo pasando el tamiz 3/8plg (9.5mm): 100%

Porcentaje máximo pasando el tamiz N° 100 (150µm): 2%

Capa de Base**Base Estabilizada con Cemento**

Espesor: 17.53cm

Resistencia a la compresión mínima a los 7 días: 400Psi (2.8Mpa)

Capa de Sub-base**Sub-base de Material Granular**

Espesor: 29.02cm

CBR de la Sub-base: CBR \geq 30%

CBR de la Subrasante: 5%

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

1. El sistema tradicional para el diseño estructural de pavimentos con adoquines de concreto ha seguido una metodología propuesta de secciones establecidas para un tipo específico de suelo y tráfico, no realizando los diseños pertinentes, y en muchos de estos casos se propone solamente la base y la capa de rodadura, por lo que no se tiene un criterio adecuado para diferenciar un específico uso de estos tipos de pavimentos. Lo que hace necesario aclarar que los elementos que lo constituyen son: la subrasante, Base o Sub-base, Capa de Rodadura, Confinamiento y Drenaje.
2. La aplicación que tienen los pavimentos con adoquines de concreto es muy amplia, pero su desenvolvimiento se da en mayor escala en el ámbito arquitectónico y estructural de pavimentos, áreas sometidas a tráfico vehicular intenso, y algunas aplicaciones especiales tales como; estructuras hidráulicas y protección de talud. Hasta el momento en nuestro país el uso de los pavimentos con adoquines de concreto se ha limitado al tráfico vehicular liviano, sin embargo su utilización puede ser muy diversa, siempre y cuando cumplan con los

requerimientos de diseño que estén dentro de los límites de las normas y especificaciones.

3. Para que exista un comportamiento satisfactorio en los pavimentos con adoquines de concreto a lo largo de su vida útil, es necesario el cumplimiento de un diseño estructural adecuado, de las normas y especificaciones en la fabricación de las unidades y elementos que conforman el pavimento, y finalmente correlacionarlas con la aplicación de un proceso constructivo apropiado, para obtener los resultados deseados en el diseño.
4. Las Bases Estabilizadas con Cemento deben de cumplir con el requisito de resistencia a la compresión mínima a los 7 días de 400Psi (2.8Mpa), para que su desempeño en el comportamiento del pavimento sea aceptable desde el punto de vista estructural.
5. Las Bases de Material Granular según el Diseño Fundamentado en el Método ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute)-AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), deben de cumplir con un valor de CBR mínimo de 80%, el Limite Líquido máximo = 25%, Limite Plástico máximo de 6%, con un grado de compactación según la Norma AASHTO T-180 de 98% y un porcentaje máximo pasando el tamiz N° 200 de 8%, el tamaño máximo del agregado es de 1 1/2pulg o 38.1mm debiendo cumplir con la norma ASTM (American Society of Testing Materials) C33.

6. Las Bases Estabilizadas con Asfalto deben de cumplir con la Estabilidad Marshall mínima de 18000lb (800N), que determina la duración, seguridad y firmeza o permanencia en el tiempo de la base y debe de cumplir con las especificaciones del asfalto y mezcla asfáltica, de buena compactación y de gradación densa, con el objetivo de obtener el comportamiento estructural y funcional esperado.
7. La Capa de Arena o (Cama de Arena) debe de ser una arena ligeramente húmeda que cumpla con los requisitos de la norma ASTM C33, pasando un porcentaje máximo de 100% por el tamiz 3/8pulg y 2% por el tamiz N° 200, el contenido máximo de materia orgánica y arcilla debe ser inferior al 3%, el rango de valores adecuado de espesor para la capa de arena oscila entre 3 y 4cm. Es de suma importancia el proceso de colocación y compactación de ésta capa ya que si no se realiza convenientemente podrían existir fallas verticales por asentamiento o de tipo rotacional.
8. La Arena de Sello es una arena natural o manufacturada seca, tamizada en una malla con orificios de 2.5 x 2.5cm, pasando un porcentaje máximo de 100% por el tamiz N° 16 y 100% el tamiz N° 100. En los pavimentos con adoquines de concreto la arena de sello es muy importante por lo que nunca debe de usarse lechada en lugar de la arena de sello ya que provoca agrietamiento en las uniones.

9. Para el caso del método de diseño del ICPI podemos comparar los valores de espesor de las Base de Material Granular, Base Estabilizada con Cemento y Base Estabilizada con Asfalto, y en función del diseño estructural basado en la rigidez, el comportamiento de este tipo de bases y en el módulo de elasticidad; se puede esperar, para el caso de las Base Estabilizada con Asfalto un espesor mayor que el obtenido en las Bases Estabilizadas con Cemento y menor que el de Material Granular.
10. Los adoquines a utilizar para tráfico vehicular deben de cumplir con los requisitos de módulo de rotura a los 28 días según la norma ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas) 2017, con un valor mínimo por muestra de $45.9\text{Kg}/\text{cm}^2$ e individual de $36.7\text{Kg}/\text{cm}^2$, además un parámetro alternativo de resistencia a la compresión según la norma ASTM C936, con un valor mínimo por muestra de 8000Psi (56Mpa) e individual de 7200Psi (50.4Mpa), así mismo la absorción debe de ser un valor máximo por muestra de 5% e individual de 7%.
11. El cemento para la fabricación de los adoquines de concreto para tráfico vehicular debe de ser **PORTLAND tipo I** y deben de cumplir con las normas; ASTM C150, C595 (TIPO 1 (PM) Pórtland Modificado con puzolana), C1157 tipo (HE), C150 cemento blanco tipo I
12. No hay duda de que los pavimentos de adoquines de concreto ofrecen ventajas definitivas en cuanto a su reinstalación, ya que la facilidad con que se logra sus cualidades estéticas, dan a este tipo de pavimentos ventajas definitivas sobre sus

competidores, además de la facilidad de mantenimiento, se asegura que es práctico, versátil y una solución económica para casi todos los requerimientos de superficies duras.

13. Los pavimentos de adoquines de concreto presentan versatilidad en cuanto a las características geométricas. Un ancho de calle adoquinada es ajustable fácilmente a las situaciones de cualquier lugar, los proyectos se pueden hacer rentables ajustando la solución de anchos, construyéndose en etapas ya sea a lo largo o a lo ancho de la vía.
14. Con la utilización del programa DPACWin 1.0 se reduce en un 98% el tiempo de diseño de pavimentos con adoquines de concreto, comparado con los métodos manuales proporcionados por el ICPI y CCA (Cement and Concrete Association).
15. Las aproximaciones estadísticas de las curvas que se utilizan en el diseño y nomogramas de los métodos estudiados no es exacta; pero tiene una dispersión de 2% por lo tanto se considera aceptable.

5.2 RECOMENDACIONES

Fundamentándose en las conclusiones establecidas se proporcionan las siguientes recomendaciones:

1. En vista de la realidad existente en nuestro país; como una solución a problemas en vías terrestres, se debe dar énfasis a los procesos que sean técnica y económicamente factibles de realizar; por lo que se recomiendan los Pavimentos con Adoquines de Concreto para este uso.
2. En la colocación de los adoquines se debe tener cuidado en su perfilamiento longitudinal y transversal que se apliquen al proyecto, ya que estos determinan las condiciones de drenajes a las que estará sometido el pavimento, la colocación de los adoquines en una determinada vía se establece inicialmente por un patrón de colocación siguiendo un alineamiento con respecto al eje de la vía.
3. Analizando el comportamiento estructural de los pavimentos con adoquines de concreto, la estructura del confinamiento debe de construirse antes de la capa de rodadura y la puesta del servicio del pavimento, ya que soporta el impacto ocasional del tránsito vehicular.
4. Se sugiere, no terminar una jornada de trabajo sin completar el vibrado y sellado del pavimento. Si existen interrupciones como sumideros, cámaras de inspección, etc, se colocan hilos alrededor para asegurar que los adoquines

conserven su alineamiento cuando avance por ambos lados el obstáculo y se encuentren de nuevo al otro lado.

5. Para que la escorrentía superficial circule fácilmente y exista el comportamiento adecuado al circular sobre un pavimento adoquinado, la superficie debe quedar de forma tal que con la prueba empírica de buena práctica, pasando una regla de 3m, ningún punto de la superficie de los adoquines tenga una separación de más de 1cm.
6. Teniendo un pavimento con adoquines de concreto, no se aplicará vibración en áreas que se encuentren dentro de 1m de adoquines no confinados, y no se dejarán áreas sin vibrar de un día para otro. Cuando sea necesario un recorte de los adoquines para ajustar el pavimento a los bordes, no se hará sino hasta haber colocado adoquines en un área considerable.
7. Según las metodologías estudiadas, para que un pavimento con adoquines de concreto funcione correctamente, es necesario proporcionarle un buen soporte en la base o sub-base; así como un confinamiento adecuado, que garantice el comportamiento estructural que cumplirá con su funcionalidad, y que se eviten los asentamientos verticales, rotacionales y horizontales.
8. Los pavimentos de adoquines de concreto por estar constituidos por un gran número de piezas tienen a generar más ruido y vibración comparado con otros

tipos de pavimentos para los vehículos, por eso se aconseja el uso de estos pavimentos para velocidades menores de 80Km/h.

9. La automatización del cálculo estructural de pavimentos con adoquines de concreto, se ha llevado a cabo en los fundamentos de los métodos de diseño de pavimentos con adoquines de concreto del ICPI y CCA de acuerdo a los lineamientos de la AASHTO respecto al análisis del tránsito, por lo que se recomienda para un mejoramiento y ampliación del programa propuestas de otros tipos de bases o sub-bases según sean los requerimientos de diseño, acopladas siempre a las normas y especificaciones a las que podrían estar sometidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Madrid M., Germán Guillermo, “Construcción de pavimentos de adoquines de concreto/ ICPC”, ICPC, Serie Popular 12-4-1059; Medellín, Colombia, 1993.
- Madrid M. Germán Guillermo, Londoño N. Cipriano A, “Diseño de Espesores para Pavimentos de Adoquines de Concreto/ICPC”, Notas Técnicas 04-19-184, Medellín Colombia, 1986.
- Madrid M. Germán Guillermo, Londoño N. Cipriano A. “Construcción, Mantenimiento y Reparación de Pavimentos de Adoquines de Concreto/ICPC”, Notas Técnicas 04-21-241, Medellín Colombia, 1986.
- Instituto Colombiano de Productores de Cemento, “NORMA ICONTEC 2017”, Notas Técnicas 04-18-167, Medellín Colombia, 1983.
- Instituto Colombiano de Productores de Cemento, “Adoquines de Concreto”, Notas Técnicas para Construcción Don Sebas, Octubre, 2000.
- Instituto Colombiano de Productores de Cemento, “Construyendo Pavimentos con Adoquines de Concreto”, Notas Técnicas para Construcción Don Sebas Marzo, 2001.

- J.R. Hodgkinson y C.F. Morrish “Diseño de Pavimentos de Adoquines de Concreto”, Revista IMCYC , Agosto de 1982.
- Interlocking Concrete Pavement Institute, “Structural Design Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots”, Tech Spec, número 4.
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, IECA, “Curso de pavimentos de Concreto” Tema 12, Pavimentos de Adoquines de Concreto, Marzo de 1999.
- Ing. Carlos Antonio Quintanilla R., “Manual de Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos con Adoquines de Concreto” ISCYC, Abril 2004.
- Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto, “Pavimentación con Adoquines de Concreto”, Presentación en PowerPoint. Mayo 2000.
- Ing. Carlos Fernández Loiza, “Diseño y Construcción de Pavimentos II, Pavimentos Adoquinados”, División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería U.N.A.M”, 1998.
- Secretaria de Integración Económica Centroamericana, SIECA, “Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales”, 2001.

- Secretaria de Integración Económica Centroamericana, SIECA, “Manual Centroamericano para El Diseño de Pavimentos”, 2001.
- “Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos, Método AASHTO-93”, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, 1998.
- Asociación Brasileña del Cemento Pórtland (ABCP), Software “Dimensionamiento de Pavimento Intertravado”.
- American Concrete Paviment Association, “WinPAS, Pavement Analisis Software”.
- Microsoft Corporation, “Visual Basic 6.0, Manual del Programador”, 1º Edición McGraw-Hill, Interamericana de España, S.A.U, 1998.
- AASHTO Guide For, “Desing of Pavement Structures”, Volumen 1, 1993.
- Internet: <http://www.aabh.org.ar>.
- Internet: <http://www.abcp.org.br>.
- Internet: <http://www.arqcon.com>.
- Internet: <http://www.cementovalle.com.co>.

ANEXOS

ANEXO Nº 1

NORMAS Y ESPECIFICACIONES

NORMA ASTM C33

“ESPECIFICACIÓN ESTÁNDAR PARA AGREGADOS DE CONCRETO”

Alcance:

Esta norma define los requerimientos de graduación y calidad para el agregado fino y grueso utilizados en la elaboración del concreto.

Terminología:

Se hace referencia a la terminología utilizada en ASTM C125

Información del Pedido y Especificación:

Al momento de realizar la compra, se debe incluir la información de referencia del proyecto, así como los usos destinados para los agregados, los límites, humedad, graduación, y sanidad, entre otros.

AGREGADO FINO:

Características Generales:

El agregado fino podrá ser arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambos.

Graduación:

Los límites de graduación, deben de ser respetados.

- a) Análisis del tamizado—agregado fino, exceptuando en los literales b), c), d) la graduación estará en los límites siguientes:

<i>Tamiz (Área de la Especificación)</i>	<i>porcentaje que pasa</i>
<i>3/8in (9.5mm)</i>	<i>100</i>
<i>No. 4(4.75mm)</i>	<i>95 a 100</i>
<i>No. 8(2.36mm)</i>	<i>80 a 100</i>
<i>No. 16(1.18mm)</i>	<i>50 a 85</i>
<i>No. 30 (600μm)</i>	<i>25 a 60</i>
<i>No. 50 (300μm)</i>	<i>10 a 30</i>
<i>No. 100(150μm)</i>	<i>2 a 10</i>

- b) El porcentaje mínimo mostrado para el material que pasa por la malla No. 50 (300- μ m) y No. 100 (150- μ m) puede reducirse a 5 y 0, mutuamente el agregado será usado combinándolo con aire, el concreto obtendrá más de 400 lb de cemento por yarda cúbica (237kg/m³) o más de 500 lb de cemento por yarda cúbica (297kg/m³).
- c) El agregado fino no tendrá más de 45% pasando cualquier tamiz y retenido en el próximo tamiz consecutivo de aquellos mostrado en el literal a), y su módulo de finura no será menor de 2.3 ni mayor de 3.1.
- d) No encontrándose el agregado fino que reúna el análisis del tamizado y requisitos de módulo de finura los literales a), b) y c) pueden aceptarse ya que el concreto se hizo con agregado fino similar de la misma fuente, teniendo un

registro de la actuación aceptable en construcciones similares; o, en la ausencia de un registro de servicio demostrable, se demostrará que el concreto de la clase especificada, se hizo con el agregado fino bajo consideración y tendrá propiedades pertinentes por lo menos igual a aquellos de concreto hechos con los mismos ingredientes, con la excepción que un agregado fino de referencia es usado y seleccionado de una fuente que tiene un trabajo aceptable.

Sanidad:

En resumen, este ensayo consta de 5 ciclos para determinar la sanidad del agregado, para lo cual es necesaria una solución de sulfato de sodio al 10% o de sulfato de magnesio al 15%.

AGREGADO GRUESO

Características Generales:

El agregado grueso podrá ser grava, grava triturada, piedra triturada, concreto hidráulico triturado, o la combinación de los anteriores, conforme a los requerimientos de esta especificación.

Graduación:

Los números de tamaño especificado aparecen en el ANEXO N° 2.

NORMA ASTM C936

“ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR PARA PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO SÓLIDO”

Alcance

- ❖ Esta especificación cubre los requerimientos para adoquines de concreto fabricados para la construcción de superficies pavimentadas. Las unidades no serán mayores que 6 1/2 pulgadas (160mm) en lo ancho, 9 1/2 pulgadas (240mm) en lo largo, ó 5 1/2 pulgadas (140mm) en el espesor.
- ❖ Las unidades de concreto cubiertas por esta especificación, podrán ser hechas con agregados de peso liviano o peso normal, o una mezcla de agregados de peso liviano y peso normal.
- ❖ Cuando se desean condiciones particulares, tales como clasificación del peso, resistencia más alta a la compresión, textura de la superficie, acabado, color u otros casos especiales, tales propiedades deberán ser especificadas separadamente por el comprador. No obstante, los vendedores locales debieran ser consultados sobre la disponibilidad que llene las condiciones deseadas.
- ❖ Los valores establecidos en pulgadas por libra deben ser considerados como el estándar.

Documentos Aplicables

Estándares ASTM:

C33 Especificación para agregados de concreto.

- C67 Métodos para muestreo y ensayo de ladrillos y teja de barro estructural.
- C140 Método para muestreo y ensayo de bloques de mampostería de concreto.
- C150 Especificaciones para cemento Pórtland.
- C207 Especificaciones para cal hidratada para propósitos de mampostería.
- C 331 Especificaciones para agregados de peso liviano para unidades de mampostería de concreto.
- C418 Método de ensayo para la resistencia a la abrasión del concreto por chorro de arena.
- C 595 Especificaciones para cemento hidráulico mezclado.
- C 618 Especificaciones para ceniza volante y puzolana natural o calcinada, para uso como agregado mineral en el concreto de cemento Pórtland.

Materiales

- *Materiales cementantes* - Los materiales cementantes deben ajustarse a las siguientes especificaciones ASTM aplicables:
 - ❖ *Cemento Pórtland* - Especificación C150.
 - ❖ *Cemento mezclado* - Especificación C595, Tipos 1S o 1P.
 - ❖ *Tipos de cal hidratada* - Especificación C207.
 - ❖ *Puzolanas* - Especificación C618.

- Los agregados deben ajustarse a las siguientes especificaciones ASTM, excepto que los requerimientos de granulometría apliquen necesariamente.
 - ❖ *Peso Normal* - Especificación C33.

❖ *Peso Liviano* - Especificación C331.

- Otros *componentes* - Agentes inclusores de aire, pigmentos colorantes, repelentes integrales de agua y sílica finamente molida, deben ser previamente determinados como adecuados para su uso en concreto, ya sea que se ajusten a estándares de ASTM si fueren aplicables, o que se muestre por ensayo o experiencia que no son perjudiciales para el concreto.

Requerimientos Físicos

- *Resistencia a la compresión* - Al tiempo del envío al sitio de trabajo, el promedio de resistencia a la compresión de las muestras ensayadas, no deberá ser menor de 8000psi (55MPa) y las unidades individuales no serán menores que 7200psi (50MPa).

Nota. La resistencia a la compresión no expresa verdaderamente una importante propiedad de los adoquines para pavimento. **Más bien una propiedad a la flexión evaluada por medio de un ensayo de corte a la tensión será más significativa.**

- *Absorción* - El promedio de absorción de las muestras ensayadas no deberá ser mayor de 5% y la de las unidades individuales no deberá ser mayor de 7%.
- *Resistencia al congelamiento y al deshielo* - El fabricante complacerá al comprador ya sea mediante la prueba de cumplimiento en el campo o las pruebas de un laboratorio, que los adoquines tienen la resistencia adecuada al congelamiento y al deshielo. Las muestras no deberán tener roturas y la pérdida

del peso seco de las unidades individuales no deberá ser mayor del 1%, cuando estén sujetos a 50 ciclos de congelamiento y deshielo. El ensayo deberá efectuarse no más de 12 meses antes del envío de las unidades.

- *Resistencia a la abrasión* - las unidades no tendrán una pérdida de volumen mayor que 0.915 pulgadas³ por 7.75 pulgadas², (15 cm³ por 50 cm²). El promedio de la pérdida de espesor no excederá 0.118 pulgadas (3mm).

Variaciones Permisibles En Las Dimensiones

- El largo y el ancho de las unidades no diferirá más que $\pm 1/16$ de pulgada ($\pm 1.6\text{mm}$) de las muestras aprobadas. La altura de las unidades no diferirá más que $\pm 1/8$ de pulgada ($\pm 3.2\text{mm}$) de las dimensiones estándar especificadas.

Inspección Visual

- Todas las unidades deberán estar sanas y libres de defectos que podrían interferir con la colocación apropiada de las unidades o impedir la resistencia o la permanencia de la construcción. Las fracturas menores incidentales al método usual de fabricación, o los astillamientos menores resultantes de los métodos de manejo en el embarque y envío por parte del cliente, no serán razones suficientes para el rechazo.

Rechazo

- En caso que el embarque falle conforme a las especificaciones requeridas, el fabricante puede separarlo y nuevas muestras serán seleccionadas por el

comprador del lote retenido y aprobadas a expensas del fabricante. En caso que el segundo juego de muestras falle conforme el examen de requerimientos, el lote entero será rechazado.

NORMA ICONTEC¹ 2017

ADOQUINES DE CONCRETO

OBJETO

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse los adoquines de concreto empleados para pavimentación.

DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN

Para efectos de ésta norma se establecen las siguientes:

Adoquín de Concreto: Elemento macizo de concreto prefabricado, con forma de prisma recto, cuyas bases son polígonos que permiten conformar una superficie completa.

Rectángulo Inscrito: El rectángulo de mayor área que se puede inscribir sobre la cara inferior del adoquín

¹ / _____ ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Técnicas

Superficie De Desgaste:	Cara superior del adoquín la cual soporta directamente el trafico.
Bisel:	Plano oblicuo que corta dos caras adyacentes.
Adoquín Biselado:	Adoquín en el cual la superficie de desgaste está limitada por biseles.
Espesor:	Dimensión en dirección perpendicular a la superficie de desgaste.
Largo:	Dimensión del eje mayor del rectángulo inscrito.
Ancho:	Dimensión del eje menor del rectángulo inscrito.
Lote:	Conjunto de adoquines que se fabrican bajo condiciones de producción presumiblemente uniformes y se someten a inspección como un conjunto unitario.
Muestra:	Conjunto de adoquines extraídos de un lote que sirve para obtener la información necesaria que permita apreciar una o más características de este lote.

CONDICIONES GENERALES

Materiales

Cemento Pórtland: Debe cumplir con lo especificado en las normas ICONTEC 121 y 321.

Agregados

- a) Los agregados Finos y gruesos deben cumplir con lo especificado en la norma ICONTEC 174.
- b) El tamaño máximo del agregado grueso debe ser de 12.7mm.

Agua. Debe ser limpia, exenta de sustancias en suspensión o en disolución que puedan afectar desfavorablemente la calidad del concreto.

Aditivos. Deben cumplir con lo especificado en la norma ICONTEC 1299.

Pigmentos. Los pigmentos que se emplean para producir los adoquines de concreto coloreado deben ser minerales estables y no deben contener sustancias que afecten desfavorablemente la resistencia del concreto.

Acabados. La textura y el color del adoquín se acordarán entre el productor y el Comprador.

NOTA: Una alta rugosidad de la superficie de desgaste y el bisel de la misma pueden ser deseables desde el punto de vista del comportamiento del adoquín en el pavimento, pero no son indispensables.

REQUISITOS

Dimensionales

La longitud: Largo del adoquín, no será mayor de 250mm.

Espesor. El espesor no será menor de 60mm y se preferirán dimensiones múltiplos de 20mm así: 60, 80, 100, 120, y 140mm.

Tolerancias

- ❖ La tolerancia en el espesor será $\pm 3\text{mm}$ de la medida especificada por el productor.
- ❖ La tolerancia en las dimensiones largo y ancho serán $\pm 12\text{mm}$ de las medidas especificadas por el productor.

MODULO DE ROTURA

Los adoquines ensayados con lo indicado en la determinación del modulo de rotura, tendrán un modulo de rotura promedio, para la muestra, no menor de 4,5Mpa (45.9kgf/cm²), e individual no menor de 3.6Mpa (36.7kgf/cm²).

TOMA DE MUESTRAS Y RECEPCIÓN DEL PRODUCTO

Toma de Muestras

- a) Un lote para inspección estará formado por 5000 adoquines de iguales características físicas (forma, tamaño, color).
- b) Se deben tomar 5 adoquines como muestra de cada lote o fracción de lote.
- c) Cada lote se debe dividir en 5 zonas aproximadamente iguales y de cada zona se debe tomar un adoquín.
- d) Cada unidad se marcará de modo que identifique el lote que represente.
- e) La muestra deberá cumplir los requisitos establecidos de dimensiones, tolerancias y módulo de rotura así como sus acabados de la presente norma.

Aceptación y Rechazo

Si la muestra no cumple con lo establecido en el literal e) de toma de muestra se debe tomar una segunda muestra del lote correspondiente y si esta tampoco cumple se rechazará el lote.

ENSAYOS

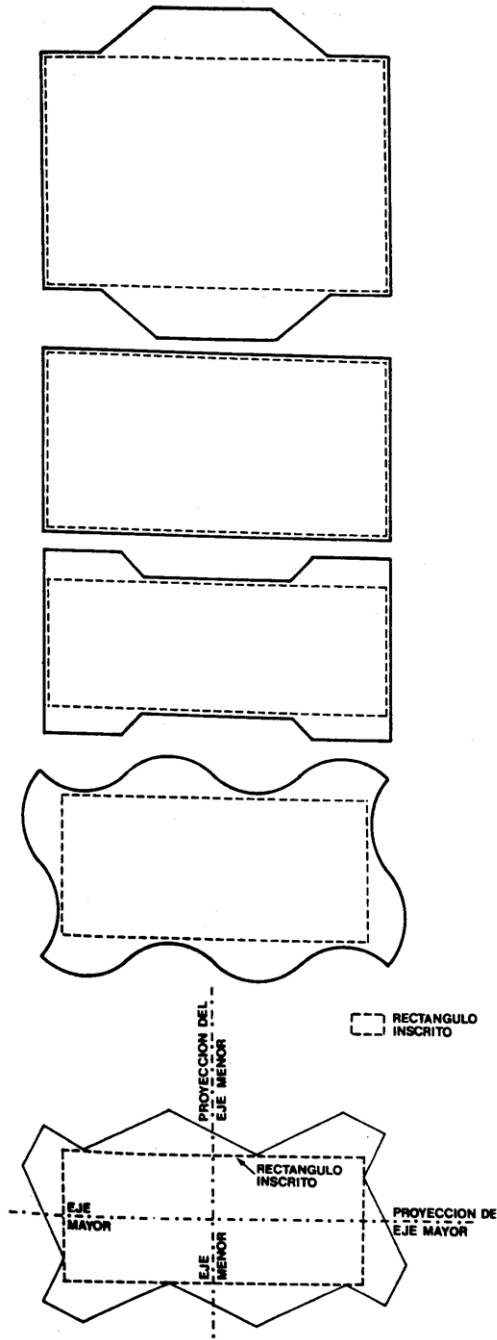
Características Dimensionales

La verificación de las dimensiones se debe efectuar con un instrumento que permita medir variaciones de 1mm.

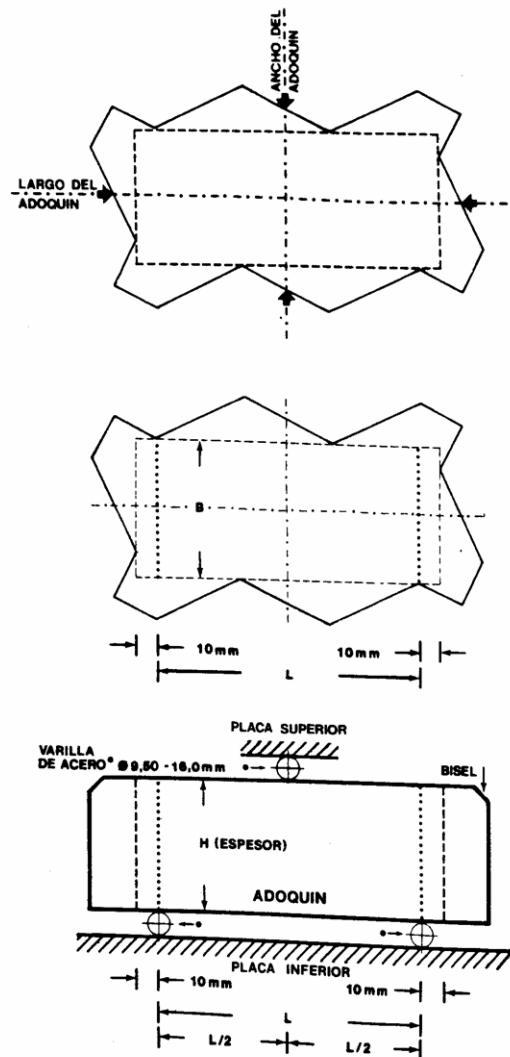
Determinación del Módulo de Rotura

- a) Principio del método: Cada adoquín se debe llevar hasta la rotura, por flexión, como una viga simplemente apoyada, cuyo eje coincidirá con el eje mayor del rectángulo inscrito, mediante la aplicación de una carga uniformemente distribuida a lo ancho del adoquín y sobre la proyección, en la superficie de desgaste, del eje menor del rectángulo inscrito.
- b) Preparación de la muestra. Los adoquines deberán permanecer durante 24 horas antes del ensayo, a temperatura y humedad ambiente.
- c) Aparatos, Se deberá utilizar una prensa o máquina para el ensayo de vigas a Flexión, con placas de tamaño apropiado para que haya soporte completo de las varillas de apoyo del adoquín y la varilla para la aplicación de la carga.

NOTAS TECNICAS-ICPC



Determinación del rectángulo inscrito, sus Ejes y las proyecciones de estos, para algunos adoquines



Determinación de las dimensiones de un adoquín y esquema del ensayo a flexión

NORMA AASHTO T180-01²

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA RELACIONES DENSIDAD - HUMEDAD DE SUELOS USANDO UN MARTILLO DE 4.54KG (10 IB) Y 457MM (18 PULG.) DE CAÍDA.

1. Alcance

1.1 Este método de ensayo esta destinado para determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad del suelo cuando son compactados en un molde de un tamaño dado, con un martillo de 4.54Kg (10lb), que se deja caer desde una altura de 457mm (18pulg). Cuatro procedimientos alternativos son proporcionados como sigue:

Método	Diámetro del molde	Suelo
A	101.6mm (4pulg.)	Material que pasa la malla de 4.75mm (No.4)
B	152.4mm (6pulg.)	Material que pasa la malla de 4.75mm (No.4)
C	101.6mm (4pulg.)	Material que pasa la malla de 19.0mm (3/4 pulg.)
D	152.4mm (6pulg.)	Material que pasa la malla de 19.0mm (3/4 pulg.)

1.2 El método a ser usado deberá ser indicado en las especificaciones para el material siendo ensayado. Si no se especifica el método, gobernaran las provisiones del método A.

1.3 Este método de ensayo se aplica a mezclas de suelo que tienen 40% o menos retenido en la malla de 4.75mm (No. 4) cuando se use el método A o B y 30 % o

² / _____ Referencia: AASHTO 2003, Traducción libre: Ing. Ricardo Burgos Oviedo
Laboratorio ISCYC, octubre 2003.

menos retenido en la malla de 19.0mm (3/4 pulg.) cuando se use el método C o D. El material retenido en esas mallas serán definidos como sobre tamaño (partículas gruesas).

- 1.4 Si el espécimen de ensayo contiene partículas de sobre tamaño, y el espécimen usado para control de compactación mediante densidad de campo, pueden hacerse correcciones de acuerdo a T224 para comparar la densidad de campo total con el espécimen compactado. La persona o institución que utilice este método deberá especificar un porcentaje mínimo de partículas con sobre tamaño, por debajo del cual no necesita ser aplicada ninguna corrección. Si ningún porcentaje mínimo es especificado, las correcciones deberán ser aplicadas a la muestra con más del 5% en peso de las partículas con sobre tamaño.
- 1.5 Si las tolerancias máximas de sobre tamaño especificadas son excedidas, pueden ser usados otros métodos de control de compactación.

Nota 1 - Un método para el diseño y control de la compactación de algunos suelos es el empleo de un ensayo preparado para determinar el requerido grado de compactación y un método para obtener la compactación. Entonces use un método especificado para controlar la compactación mediante especificación del tipo y tamaño del equipo de compactación, el espesor de la capa y el número de pasadas.

- 1.6 Lo siguiente aplica a todos los límites especificados en este estándar: Con el propósito de determinar concordancia con esta especificación, un valor observado o calculado deberá ser redondeado a "la unidad cercana" en el último

lugar a mano derecha de las figuras usadas para expresar los valores límites, de acuerdo con R 11.

- 1.7 Los valores establecidos en unidades SI son consideradas como las estándar.

3. Aparatos.

- 3.1 *Moldes* -Los moldes serán de paredes sólidas, cilindros metálicos manufacturados con las dimensiones y capacidad mostrados en la Sección 3.1.1 y 3.1.2. Tendrán un collar desmontable ensamblado de aproximadamente 60mm (2 3/8 pulg.) de altura, para permitir la preparación de especímenes compactados de suelos mezclados con agua, de la altura y volumen deseado. El molde y el collar ensamblado serán construidos como para que estos puedan ser firmemente sostenidos a una placa base desmontable hecha del mismo material (Nota 2). La placa base deberá ser plana a 0.13mm (0.005pulg.).

Nota 2 -Pueden ser usados tipos de molde alternativo con capacidad como los aquí estipulados, estableciendo que los resultados de los ensayos están correlacionados con aquellos hechos con molde de pared sólida en algunos tipos de suelo y se obtiene el mismo resultado densidad-humedad. Registro de cada correlación deberán ser mantenidos y rápidamente evaluados por inspección, cuando se usen moldes de tipo alternativo.

3.1.1 y 3.1.2 Dimensiones y tolerancias

Diámetro	Capacidad	Altura
101.6 ± 0.41mm	0.000943 ± 0.000008 m ³	116.43 ± 0.13mm
4.000 ± 0.016mm	1/30 = 0.0333 ± 0.0003 pie ³	4.584 ± 0.005pulg.
152.40 ± 0.66mm	0.002124 ± 0.000021 m ³	116.43 ± 0.13mm
6.000 ± 0.026mm	1/13.33=0.07500± 0.00075 pie ³	4.584 ± 0.005pulg.

3.1.3 *Moldes fuera de Tolerancia debido al uso*—Un molde que no alcanza a reunir las tolerancias de manufactura después del servicio continuo, puede permanecer en uso estipulando que aquellas tolerancias no estén excedidas por más del 50%; y el volumen del molde, calibrado de acuerdo con T 19 / T 19M, es usado en los cálculos.

3.2 *Martillo*

3.2.1 *Manualmente operado* - Un martillo metálico con una masa de 4.536 ± 0.009Kg (10.00 ± 0.02lb) (Nota3) y teniendo una cara circular y plana de 50.80mm (2.000pulg) de diámetro con una tolerancia de fabrica de ±1.25mm (± 0.01pulg). El diámetro en servicio de la cara circular no será menor que 50.42mm (1.985pulg). El martillo deberá estar equipado con una guía de manga compatible para controlar la altura del golpe a una caída libre de 457 ± 2mm (18.00 ± 0.06pulg) por encima de la elevación del suelo. La guía de manga deberá tener al menos cuatro agujeros de ventilación, no menores que 9.5mm (3/8pulg) de diámetro, espaciados aproximadamente 90 grados (1.57 radianes) separado y aproximadamente a 19mm (3/4pulg) de cada extremo; y se proporcionará limpieza suficiente así la caída sobre del martillo, pistón y cabezal no esté restringida.

Nota 3 - El término *peso* es temporalmente usado en esta norma porque estableció un registro de uso. La palabra es usada para significar fuerza y masa y se debe tener mucho cuidado para determinar cual es el significado en cada caso (unidades SI para fuerza = Newton y para masa = Kilogramo).

3.2.2 *Operación Mecanizada* -Un martillo metálico el cual esta equipado con un dispositivo para controlar la altura a una caída libre de $457 \pm 2\text{mm}$ ($18 \pm 0.06\text{pulg}$) sobre la elevación del suelo, y tales golpes uniformemente distribuidos sobre la superficie del suelo. (Nota 4). El martillo tendrá una masa de $4.536 \pm 0.009\text{Kg}$ ($10.00 \pm 0.02\text{lb}$) (Nota 2), y tendrá una cara circular plana de 50.80mm (2.000pulg) de diámetro con una tolerancia de fabricación de $\pm 0.25\text{mm}$ ($\pm 0.01\text{pulg}$). El diámetro en servicio de la cara circular plana no será menor de 50.42mm (1.985pulg). El martillo mecánico será calibrado según ASTM D 2168 para dar el mismo resultado de la relación densidad-humedad como el obtenido con un martillo operado manualmente.

Nota 4 -El martillo mecánico deberá ser calibrado con algunos tipos de suelo y la masa del martillo ajustada, si es necesario, para dar el mismo resultado de la relación densidad-humedad como el obtenido con un martillo operado manualmente.

Esto puede ser impráctico para ajustar el aparato mecánico, así la caída libre es 457mm (18pulg) cada vez que el martillo es golpeado, como con el martillo operado manualmente. Para hacer el ajuste de caída libre, la porción de suelo suelto que recibe el golpe inicial puede ser ligeramente comprimido con el martillo para establecer el punto de impacto desde el cual se determina la caída de 457mm (18pulg);

subsecuentes golpes sobre la capa de suelo siendo compactada pueden ser aplicados dejando caer el martillo desde una altura de 457mm (18pulg) sobre la elevación inicial, o cuando el aparato mecánico esta diseñado con una altura ajustable para cada golpe, todos los golpes subsecuentes deben tener un martillo con caída libre de 457mm (18pulg) medidos desde la elevación del suelo compactado por el golpe previo. Más detalles sobre el procedimiento de calibración para compactación de suelos con martillos mecánicos de laboratorio pueden ser encontrados en ASTM D2168.

3.2.3 *Cara del Martillo* -Puede ser usado un martillo con cara circular y también un martillo con sector circular como una alternativa prevista, el reporte deberá indicar el tipo de cara usada cuando sea diferente de la cara circular de 50.8mm (2pulg) y tendrá un área igual al martillo de cara circular.

3.3 *Extractor de Muestras* - (únicamente para moldes de pared sólida). Un gato, una palanca, un marco, u otro dispositivo adaptado para el propósito de extraer del molde el espécimen compactado.

3.4 *Balanzas y Básculas* -Una balanza o báscula conforme a requerimientos de M 231, clase G 20. Además, una balanza conforme a los requerimientos de M 231, clase G 2.

Nota 5 -La capacidad de la balanza métrica o báscula será de aproximadamente 11.5Kg cuando se use para determinar la masa del molde de 152mm (6pulg) y suelo húmedo compactado; sin embargo, cuando se use el molde de 102mm (4pulg), puede usarse una balanza o báscula de menor capacidad que 11.5Kg si la sensibilidad es 5g.

3.5 *Horno de Secado* -Un horno de secado controlado termostáticamente, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) para secar la humedad de las muestras.

3.6 *Enrazador* -Un enrazador de acero endurecido de al menos 250mm (10pulg) de longitud. Este deberá tener un borde biselado y al menos una superficie longitudinal (usada para el terminado final), será plana con 0.1% de la longitud dentro de la porción usada para el terminado del suelo (Nota 6).

Nota 6 - El borde biselado puede ser usado para el acabado final si el borde es recto con una tolerancia de 0.25mm por 250mm (0.1%) en longitud; sin embargo, con el uso continuo, el borde cortante puede convertirse en excesivamente gastado y no conveniente para el terminado del suelo al nivel del molde. El enrazador no debe ser tan flexible para el terminado de la superficie del suelo con el borde cortante ya que puede causar una concavidad en la superficie del suelo.

3.7 Mallas de 50, 19.0 y 4.75mm de acuerdo con los requerimientos de M92.

3.8 *Herramientas de mezclado* -Herramientas misceláneas tales como recipientes de mezclado, cucharas, enrazador, espátulas, etc. o un dispositivo mecánico compatible para mezclar completamente la muestra de suelo con incrementos de agua.

3.9 *Recipientes* -Recipientes adecuados hechos de material resistente a la corrosión y que no este sujeto a cambios de masa o desintegración en repetidos calentamientos y enfriamientos. Los recipientes deberán tener tapadera para prevenir perdidas de humedad de la muestra antes de la determinación de la masa inicial y para prevenir absorción de humedad de la atmósfera durante el

secado y antes de la determinación final de la masa. Un recipiente es necesario para cada determinación de contenido de humedad.

MÉTODO A

4. Muestra

- 4.1 Si la muestra de suelo está húmeda cuando se recibe del campo, secarla hasta que se convierta en desmenuzable bajo un palustre (mazo). El secado puede ser al aire o mediante el uso de un aparato de secado el cual es mantenido a una temperatura que no exceda los 60°C (140°F). Entonces desmenuce los grumos completamente de tal manera de evitar reducir el tamaño natural de las partículas individuales.
- 4.2 Tamice una cantidad adecuada de suelo pulverizado representativo, sobre la malla de 4.75mm. Descarte el material grueso, si hay alguno, retenido en la malla de 4.75mm.
- 4.3 Seleccione una muestra representativa, con una masa de aproximadamente 3Kg (7lb) o más, del suelo preparado como se describe en la Sección 4.1 y 4.2.

Nota 7 - Cuando desarrolle una curva de compactación para suelos que drenan libremente, tales como arenas uniformes y gravas, donde la filtración ocurre en el fondo del molde y placa base, tome una muestra representativa para contenido de humedad desde la bandeja de mezclado, puede ser preferido a fin de determinar la cantidad de humedad disponible para compactación.

5. Procedimiento

- 5.1 Mezcle completamente la muestra representativa seleccionada con suficiente agua para humedecerla aproximadamente cuatro puntos de porcentaje abajo del contenido de humedad óptimo.
- 5.2 Forme un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 101.60mm (4pulg) (con collarín fijo), en 5 capas aproximadamente iguales para dar una altura total compactada de alrededor de 125mm (5pulg). Antes de compactar, coloque el suelo suelto dentro del molde y extiéndalo en una capa de espesor uniforme. Ligeramente apisone el suelo antes de compactar hasta que no esté en un estado suelto, usando el martillo de compactación manual o dispositivo similar teniendo un diámetro de 50mm (2pulg). Seguidamente la compactación de cada una de las primeras cuatro capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no haya sido compactado o extendido encima de la superficie compactada será recortado usando un cuchillo u otro dispositivo conveniente, y será uniformemente distribuido en la superficie de la capa. Compacte cada capa con 25 golpes uniformemente distribuidos del martillo cayendo libremente desde una altura de 457mm (18pulg) sobre la elevación del suelo cuando es usado un martillo tipo funda o desde 457mm (18pulg) sobre la elevación aproximada del suelo compactado por un golpe previo cuando es usado un martillo tipo estacionario (Nota 8).

Nota 8 - Cada una de las siguientes ha sido encontrada ser una base satisfactoria en la cual descansa el molde durante la compactación del suelo: Un bloque de concreto con una masa de no menos de 90Kg (200lb), soportado por una fundación relativamente estable; un piso de concreto en buenas condiciones; y para

aplicaciones de campo, semejantes superficies como las encontradas en cajas de concreto, puentes y pavimentos.

5.2.1 Después de la compactación remueva el collarín de extensión, cuidadosamente recorte el suelo compactado emparejando con el borde superior del molde con un enrazador, y determine la masa del molde suelo húmedo en Kg con una precisión de cinco gramos, o determine la masa en libras con una precisión de 0.01lb; para moldes que cumplan con la tolerancia dada en la Sección 3.1.1 y masas registradas en Kg, multiplique la masa del espécimen compactado y el molde, menos la masa del molde , por 1060, y registre el resultado como la densidad húmeda, W_1 , en Kg/m^3 , de suelo compactado. Para moldes que cumplan con la tolerancia dada en la Sección 3.1.1 y masas registradas en lb, multiplique la masa del espécimen compactado y el molde, menos la masa del molde, por 30, y registre el resultado como la densidad húmeda, W_1 , en lb/pe^3 , de suelo compactado. Para moldes usados fuera de las tolerancias por no mas del 50% (Sección 3.1.3), use el factor para el molde determinado de acuerdo con T 19 / T 19 M. Durante la compactación, el molde debe descansar firmemente en una densa, uniforme y estable base o fundación. Esta base permanecerá estacionaria durante el proceso de compactación (Nota 8).

5.3 Remueva el material del molde y córtelo verticalmente por el centro. Tome una muestra representativa del material de una de las caras cortadas, determine la masa inmediatamente y secala de acuerdo con T 265, Determinación del Contenido de Humedad de suelos en el Laboratorio, para determinar el contenido de humedad, y registrar el resultado.

5.4 Desmenuce completamente la porción restante del espécimen moldeado hasta hacerlo pasar por la malla de 4.75mm (No. 4) ajuicio visual, y añada la porción remanente de la muestra siendo ensayada. Agregue agua en cantidad suficiente para incrementar el contenido de humedad del suelo en aproximadamente uno o dos puntos porcentuales (el contenido de agua incrementado no debe exceder 2.5%, excepto cuando son encontrados suelos arcillosos pesados o suelos orgánicos que exhiben una curva de elongación plana, los contenidos de agua pueden ser incrementados a un máximo de 4%), y repita el procedimiento de arriba para cada incremento de agua adicionada. Continúe esta serie de determinaciones hasta que haya un decrecimiento o ningún cambio en la masa unitaria húmeda por m^3 (pie^3) del suelo compactado (Nota 9).

Nota 9 - Este procedimiento ha sido encontrado satisfactorio en muchos casos. Sin Embargo, en situaciones donde el material de suelo es frágil reduciría significativamente el tamaño de los granos debido a la compactación repetida, y en casos donde el suelo es de textura pesada, material arcilloso en el cual es difícil incorporar agua, deberá ser usada una muestra separada y nueva en cada ensayo de compactación. En estos casos, las muestras separadas deberán ser mezcladas completamente con suficientes cantidades de agua para producir los contenidos de humedad de las muestras y variar por aproximadamente dos puntos porcentuales. Los contenidos de humedad seleccionados serán soportados por el contenido de humedad óptima, de esta manera se proporcionaran muestras las cuales, cuando sean compactadas incrementará su masa a la máxima densidad y después decrece en masa. Las muestras de suelo mezcladas con agua deberán ser colocadas en

recipientes cubiertos y mantenidas en reposo por no menos de 12 horas antes de realizar el ensayo densidad- humedad.

5.4.1 En los casos donde el material de suelo es frágil y será reducido significativamente en tamaño de grano por compactación repetida, una muestra separada y nueva deberá ser usada en cada ensayo de compactación.

MÉTODO B

6. Muestra

6.1 Seleccionar una muestra representativa de acuerdo con la Sección 4.3, excepto que ésta tendrá una masa de 7Kg (16lb).

7. Procedimiento

7.1 Siga el mismo procedimiento como se describe para el Método A en la Sección 5, excepto por lo siguiente: Forme un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 152.40mm (6pulg) con el collarín unido, en 5 capas, aproximadamente iguales para dar un espesor total compactado alrededor de 125mm (5pulg), cada capa siendo compactada con 56 golpes del martillo uniformemente distribuidos. Para moldes de acuerdo con las tolerancias dadas en la Sección 3.1.2 y masas registradas en Kg, multiplique la masa del espécimen compactado y el molde, menos la masa del molde por 471, y registre el resultado como la densidad húmeda, W_1 , en Kg/m^3 , del suelo compactado.

Para moldes de acuerdo con las tolerancias en 3.1.2 y masas registradas en libras, multiplique la masa del espécimen compactado y el molde, menos la masa del molde, por 13.33 y registre el resultado como la densidad húmeda, W_1 , en lb/pie^3 , del suelo compactado. Para moldes usados fuera de la tolerancia por no mas del 50% (Sección 3.1.3), use el factor para el molde determinado de acuerdo con T 19 / T 19 M.

MÉTODO C

8. Muestra

- 8.1 Si la muestra de suelo esta húmeda cuando se recibe del campo, secala hasta que se convierta en desmenuzable bajo un palustre (mazo). El secado puede ser al aire o mediante el uso de un aparato de secado el cual es mantenido a una temperatura que no exceda los 60°C (140°F). Entonces desmenuce los grumos completamente de tal manera de evitar reducir el tamaño natural de las partículas individuales.
- 8.2 Tamice una cantidad adecuada de suelo pulverizado representativo, sobre la malla de 19.0mm. Descarte el material grueso, si hay alguno, retenido en la malla de 19.0mm (Nota 10).

Nota 10 - El uso de métodos con reemplazo, previamente especificados, donde las partículas de sobre tamaño son reemplazadas con partículas finas para mantener el mismo porcentaje de material grueso, no se considera apropiado para calcular la densidad máxima.

- 8.3 Seleccione una muestra representativa, con una masa de aproximadamente 5Kg (12lb) o más, del suelo preparado como se describe en la Sección 8.1 y 8.2.

9. Procedimiento

- 9.1 Mezcle completamente la muestra representativa seleccionada con suficiente agua para humedecerla aproximadamente cuatro puntos de porcentaje abajo del contenido de humedad óptimo.
- 9.2 Forme un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 101.60mm (4pulg) (con collarín fijo), en 5 capas aproximadamente iguales para dar una altura total compactada de alrededor de 125mm (5pulg). Antes de compactar, coloque el suelo suelto dentro del molde y extiéndalo en una capa de espesor uniforme. Ligeramente apisone el suelo antes de compactar hasta que no esté en un estado suelto, usando el martillo de compactación manual o dispositivo similar teniendo un diámetro de 50mm (2pulg). Seguidamente la compactación de cada una de las primeras cuatro capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no haya sido compactado o extendido encima de la superficie compactada será recortado usando un cuchillo u otro dispositivo conveniente, y será uniformemente distribuido, en la superficie de la capa. Compacte cada capa con 25 golpes uniformemente distribuidos del martillo cayendo libremente desde una altura de 457mm (18pulg) sobre la elevación del suelo cuando es usado un martillo tipo funda o desde 457mm (18pulg) sobre la elevación aproximada del suelo compactado por un golpe previo cuando es usado un martillo tipo

estacionario. Durante la compactación, el molde descansara en una base densa, uniforme, rígida y estable. (Nota 8).

9.2.1 Después de la compactación remueva el collarín de extensión, cuidadosamente recorte el suelo compactado emparejando con el borde superior del molde con un enrazador, y determine la masa del molde suelo húmedo en Kg con una precisión de 5 gramos, o determine la masa en libras con una precisión de 0.01lb; para moldes que cumplan con la tolerancia dada en la Sección 3.1.1 y masas registradas en Kg, multiplique la masa del espécimen compactado y el molde, menos la masa del molde , por 1060, y registre el resultado como la densidad húmeda, W_1 , en Kg/m^3 , de suelo compactado. Para moldes que cumplan con la tolerancia dada en la Sección 3.1.1 y masas registradas en lb multiplique la masa del espécimen compactado y el molde, menos la masa del molde, por 30, y registre el resultado como la densidad húmeda, W_1 , en lb/pie^3 , de suelo compactado. Para moldes usados las tolerancias no deben de ser excedidas por no mas del 50% (Sección 3.1.3), use el factor para el molde determinado de acuerdo con T 19 / T 19 M.

9.3 Remueva el material del molde y córtelo verticalmente por el centro. Tome una muestra representativa del material de una de las caras cortadas, determine la masa inmediatamente y secarla de acuerdo con T 265, y registrar el resultado.

9.4 Desmenuce completamente la porción restante del espécimen moldeado hasta hacerlo pasar por la malla de 19.0mm y el 90 % de los grumos de suelo pasará la malla de 4.75mm (No. 4) ajuicio visual, y añada la porción remanente de la muestra siendo ensayada. Agregue agua en cantidad suficiente para incrementar

el contenido de humedad del suelo en aproximadamente uno o dos puntos porcentuales y repita el procedimiento de arriba para cada incremento de agua adicionada. Continúe esta serie de determinaciones hasta que haya un decrecimiento o ningún cambio en la masa unitaria húmeda por m^3 (pie^3) del suelo compactado (Nota 9).

MÉTODO D

10. Muestra

10.1 seleccione una muestra representativa de acuerdo con la Sección 8.3, excepto que esta tendrá una masa de aproximadamente 11Kg (25lb).

11. Procedimiento

11.1 Siga el mismo procedimiento descrito para el Método C en la Sección 9, excepto por lo siguiente: Forme un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 152.40mm (6pulg) con el collarín unido, en 5 capas aproximadamente iguales para dar un espesor total compactado alrededor de 125mm (5pulg), cada capa siendo compactada con 56 golpes del martillo uniformemente distribuidos. Para moldes de acuerdo con las tolerancias dadas en la Sección 3.1.2 y masas registradas *en* Kg; multiplique la masa del espécimen compactado y el molde, menos la masa del molde por 471, y registre el resultado como la densidad húmeda, $W1$, en Kg/m^3 , del suelo compactado. Para moldes de acuerdo con las tolerancias en 3.1.2 y masas registradas en libras, multiplique la masa del

espécimen compactado y el molde, menos la masa del molde, por 13.33 y registre el resultado como la densidad húmeda, $W1$, en lb/pie^3 , del suelo compactado. Para moldes usados las tolerancias no deben de ser excedidas por no mas del 50% (Sección 3.1.3), use el factor para el molde determinado de acuerdo con T 19 / T 19 M.

CÁLCULOS Y REPORTE

12. Cálculos

12.1 Calcule el contenido de humedad y la masa seca de suelo como compactado para cada prueba como sigue:

$$W = \frac{A - B}{B - C} \times 100 \quad (1)$$

$$W = \frac{W1}{W + 100} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

w = contenido de humedad en el espécimen (%).

A = masa del recipiente y suelo húmedo.

B = masa del recipiente y suelo seco.

C = masa del recipiente.

W = densidad seca del suelo compactado (Kg/m^3 o lb/pie^3).

$W1$ = densidad húmeda del suelo compactado (Kg/m^3 o lb/pie^3).

13. Relación Densidad-Humedad

13.1 *Contenido de Humedad Óptima*

13.2 *Densidad Máxima* -La densidad secada al horno en Kg/m^3 o lb/pie^3 del suelo al contenido de humedad óptimo será denominado "densidad máxima" bajo la compactación.

14. Reporte

14.1 El reporte deberá incluir lo siguiente:

14.1.1 El método usado (Método A, B, C o D).

14.1.2 El contenido de humedad óptima, (%), al número entero más cercano.

14.1.3 La densidad máxima (Kg/m^3) cercano a 10Kg/m^3 o lb/pie^3 al número entero.

14.1.4 En el Método C o D, ya sea que material de 19.0mm fue removido o reemplazado.

14.1.5 Tipo de cara si es diferente de la circular de 50.8mm (2pulg).

ANEXO Nº 2

REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA LOS AGREGADOS

GRUESOS SEGÚN “NORMA ASTM C33”

REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA LOS AGREGADOS GRUESOS SEGÚN “NORMA ASTM C33”

Clasificación de Tamaño	Tamaño Nominal (Tamiz con apertura cuadrada)	Cantidades de Finos que pasan por el tamiz en Laboratorio (aperturas cuadradas). Porcentaje de peso												
		4 in. (100mm)	3 ½ in. (90mm)	3 in. (75mm)	2 ½ in. (63mm)	2 in. (50mm)	1 ½ in. (37.5mm)	1 in. (25.0mm)	¾ in. (19.0mm)	½ in. (12.5mm)	3/8 in. (9.5mm)	No.4 (4.75mm)	N0.8 (2.36mm)	No. 16 (1.18mm)
1	3 ½ a 1 ½ in. (90 a 37.5 mm)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	2 ½ a 1 ½ in. (63 a 37.5 mm)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	2 a 1 in. (50 a 25.0 mm)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	2 in. a No. 4 (50 a 4.75 mm)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	1 ½ a ¾ in. (37.5 a 19.0mm)					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	1 ½ a No. 4 (37.5 a 4.75 mm)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	1 a ½ in. (25.0 a 12.5 mm)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	1 a 3/8 in. (25.0 a 9.5 mm)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	1 in. a No. 4 (25.0 a 4.75 mm)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	¾ a 3/8 in. (19.0 a 9.5 mm)							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	¾ in. a No. 4 (19.0 a 4.75 mm)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	½ in. a No. 4 (12.5 a 4.75 mm)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	3/8 in. a No. 8 (9.5 a 2.36 mm)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

ANEXO Nº 3

TABLA CÁLCULO DE ESAL's

CÁLCULO DE ESAL's

UBICACIÓN:		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%; padding: 2px;">PERIODO DE ANÁLISIS (AÑOS)</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> </table>					PERIODO DE ANÁLISIS (AÑOS)	
PERIODO DE ANÁLISIS (AÑOS)								
TPDA		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%; padding: 2px;">TASA DE CRECIMIENTO (%)</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> </table>					TASA DE CRECIMIENTO (%)	
TASA DE CRECIMIENTO (%)								
TIPO DE VEHÍCULO	% DE VEHÍCULOS	TRÁFICO ACTUAL	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRÁFICO DE DISEÑO	FACTOR DE EJE EQUIVALENTE	ESAL's DE DISEÑO		
AUTOMÓVIL								
PICKUP								
C2								
C3								
C4								
T2-S1								
T2-S2								
T2-S3								
T3-S1								
T3-S2								
T3-S3								
T2-S1-R1								
T2-S2-R2								
T2-S3-R3								
T3-S1-R1								
T3-S2-R2								
T3-S3-R3								
					ESAL's DE DISEÑO			
FACTOR DE CARRIL								
FACTOR DE SENTIDO								
ESAL's Por Carril de Transito								

Donde:

- C2 Camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple direccional y un eje simple de tracción
- C3 Camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple direccional y un eje de doble rueda de tracción
- C4 Camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple direccional y un eje de triple rueda de tracción
- T2-S1 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje simple de tracción y un eje simple de arrastre (semiremolque)
- T2-S2 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje simple de tracción y un eje de doble rueda de arrastre (semiremolque)
- T2-S3 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje simple de tracción y un eje de triple rueda de arrastre (semiremolque)
- T3-S1 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje simple de arrastre (semiremolque)
- T3-S2 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje doble rueda de arrastre (semiremolque)
- T3-S3 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje triple rueda de arrastre (semiremolque)

Y así sucesivamente.

ANEXO Nº 4

TABLAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLES

TABLAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLES

Tabla 3-1						
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt * 2,0						
Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.01	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.09	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.35	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1	1	1	1	1	1
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.4	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24	25.1
40	39.6	38	34.3	30.9	30	31.2
42	49.7	47.7	43	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73	65.6	58.3	55.7	57
48	92.9	89.1	80	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97	86	81	82

AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento, 1,993, tablas D-1 a D-18

Tabla 3-2						
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt = 2.0						
Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0	0	0	0	0	0
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.05	0.046	0.042	0.04
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.26	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.34	0.36	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.81	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.7
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.2	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.1	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12	12.6
62	16.6	16	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18	18	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33	30	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42	38	37	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53	51.2	53
86	76.3	73.3	66	59	56.8	58.6
88	85	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Tabla 3-3						
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt - 2.0						
Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0	0	0	0	0	0
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.001	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.01	0.012	0.012	0.01	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.06	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.08	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.14	0.149	0.14	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.39	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.56	0.587	0.58	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.71	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.2	1.2	1.19	1.18
52	1.4	1.4	1.42	1.42	1.41	1.4
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.6	2.63
62	3.1	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.9	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.4	5.28	5.03	4.9	5	5.15
72	6.15	6	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.2	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.9	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15	13.8	13	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Tabla 3-4						
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt a 2.5						
Carga p/eje (tóps)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
6	0.011	0.017	0.017	0.013	0.01	0.009
8	0.032	0.047	0.051	0.041	0.034	0.031
10	0.078	0.102	0.118	0.102	0.088	0.08
12	0.168	0.198	0.229	0.213	0.189	0.176
14	0.328	0.358	0.399	0.388	0.36	0.342
16	0.591	0.613	0.646	0.645	0.623	0.606
18	1	1	1	1	1	1
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.3
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.9	5.21	5.39	5.98
30	10.3	9.5	7.9	6.8	7	7.8
32	13.9	12.8	10.5	8.8	8.9	10
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24	22	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19
40	39.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23
42	49.3	45	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44	34	31	33.1
46	75.5	68.8	54	41.4	37.2	39.3
48	92.2	83.9	65.7	50.1	44.5	46.5
50	112	102	79	60	53	55

Tabla 3-5						
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt=2.5						
Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0	0	0
4	0.0005	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002
6	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
8	0.004	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003
10	0.008	0.013	0.011	0.009	0.007	0.006
12	0.015	0.024	0.023	0.018	0.014	0.013
14	0.026	0.041	0.042	0.033	0.027	0.024
16	0.044	0.065	0.07	0.057	0.047	0.043
18	0.07	0.097	0.109	0.092	0.077	0.07
20	0.107	0.141	0.162	0.141	0.121	0.11
22	0.16	0.198	0.229	0.207	0.18	0.166
24	0.231	0.273	0.315	0.292	0.26	0.242
26	0.327	0.37	0.42	0.401	0.364	0.342
28	0.451	0.493	0.548	0.534	0.495	0.470
30	0.611	0.648	0.703	0.695	0.658	0.633
32	0.813	0.843	0.889	0.887	0.857	0.834
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.7	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.4	3.55	3.79
48	5.08	4.8	4.25	3.98	4.17	4.49
50	6.12	5.76	5.03	4.64	4.86	5.28
52	7.33	6.87	5.93	5.38	5.63	6.17
54	8.72	8.14	6.95	6.22	6.47	7.15
56	10.3	9.6	8.1	7.2	7.4	8.2
58	12.1	11.3	9.4	8.2	8.4	9.4
60	14.2	13.1	10.9	9.4	9.6	10.7
62	16.5	15.3	12.6	10.7	10.8	12.1
64	19.1	17.6	14.5	12.2	12.2	13.7
66	22.1	20.3	16.6	13.8	13.7	15.4
68	26.3	23.3	18.9	15.6	15.4	17.2
70	29	26.6	21.5	17.6	17.2	19.2
72	33	30.3	24.4	19.8	19.2	21.3
74	37.5	34.4	27.6	22.2	21.3	23.6
76	42.5	38.9	31.1	24.8	23.7	26.1
78	48	43.9	35	27.8	26.2	28.8
80	54	49.4	39.2	30.9	29	31.7
82	60.6	55.4	43.9	34.4	32	34.8
84	67.8	61.9	49	38.2	35.3	38.1
86	75.7	69.1	54.5	42.3	38.8	41.7
88	84.3	76.9	60.6	46.8	42.6	45.6
90	93.7	85.4	67.1	51.7	46.8	49.7

Tabla 3-6						
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt a 2.5						
Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0	0	0	0	0	0
4	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0006	0.0007	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003
8	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
10	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002
12	0.005	0.007	0.006	0.004	0.003	0.003
14	0.008	0.012	0.01	0.008	0.006	0.006
16	0.012	0.019	0.018	0.013	0.011	0.01
18	0.018	0.029	0.028	0.021	0.017	0.016
20	0.027	0.042	0.042	0.032	0.027	0.024
22	0.038	0.058	0.06	0.048	0.04	0.036
24	0.053	0.078	0.084	0.068	0.057	0.051
26	0.072	0.103	0.114	0.095	0.08	0.072
28	0.098	0.133	0.151	0.128	0.109	0.099
30	0.129	0.169	0.195	0.17	0.145	0.133
32	0.169	0.213	0.247	0.22	0.191	0.175
34	0.219	0.266	0.308	0.281	0.246	0.228
36	0.279	0.329	0.379	0.352	0.313	0.292
38	0.352	0.403	0.461	0.436	0.393	0.368
40	0.439	0.491	0.554	0.533	0.487	0.459
42	0.543	0.594	0.661	0.644	0.597	0.567
44	0.666	0.714	0.781	0.769	0.723	0.692
46	0.811	0.854	0.918	0.911	0.868	0.838
48	0.979	1.015	1.072	1.069	1.033	1.005
50	1.17	1.2	1.24	1.25	1.22	1.2
52	1.4	1.41	1.44	1.44	1.43	1.41
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.93	1.9	1.9	1.91	1.93
58	2.29	2.25	2.17	2.16	2.2	2.24
60	2.67	2.6	2.48	2.44	2.51	2.58
62	3.09	3	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.57	3.44	3.19	3.1	3.22	3.36
66	4.11	3.94	3.61	3.47	3.62	3.81
68	4.71	4.49	4.06	3.88	4.05	4.3
70	5.38	5.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	6.12	5.79	5.13	4.8	5.03	5.41
74	6.93	6.54	5.74	5.32	5.57	6.04
76	7.84	7.37	6.41	5.88	6.15	6.71
78	8.83	8.28	7.14	6.49	6.78	7.43
80	9.92	9.28	7.95	7.15	7.45	8.21
82	11.1	10.4	8.8	7.9	8.2	9
84	12.4	11.6	9.8	8.6	8.9	9.9
86	13.8	12.9	10.8	9.5	9.8	10.9
88	15.4	14.3	11.9	10.4	10.6	11.9
90	17.1	15.8	13.2	11.3	11.6	12.9

Tabla 3-7						
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 3.0						
Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0008	0.0009	0.0006	0.0003	0.0002	0.0002
4	0.004	0.008	0.006	0.004	0.002	0.002
6	0.014	0.03	0.028	0.018	0.012	0.01
8	0.035	0.07	0.08	0.055	0.04	0.034
10	0.082	0.132	0.168	0.132	0.101	0.086
12	0.173	0.231	0.296	0.26	0.212	0.187
14	0.332	0.388	0.468	0.447	0.391	0.358
16	0.594	0.633	0.695	0.693	0.651	0.622
18	1	1	1	1	1	1
20	1.6	1.53	1.41	1.38	1.44	1.51
22	2.47	2.29	1.96	1.83	1.97	2.16
24	3.67	3.33	2.69	2.39	2.6	2.96
26	5.29	4.72	3.65	3.08	3.33	3.91
28	7.43	6.56	4.88	3.93	4.17	5
30	10.2	8.9	6.5	5	5.1	6.3
32	13.8	12	8.4	6.2	6.3	7.7
34	18.2	15.7	10.9	7.8	7.6	9.3
36	23.8	20.4	14	9.7	9.1	11
38	30.6	26.2	17.7	11.9	11	13
40	38.8	33.2	22.2	14.6	13.1	15.3
42	48.8	41.6	27.6	17.8	15.5	17.8
44	60.6	51.6	34	21.6	18.4	20.6
46	74.7	63.4	41.5	26.1	21.6	23.8
48	91.2	77.3	50.3	31.3	25.4	27.4
50	110	94	61	37	30	32

Tabla 3-8						
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, eJes tándem, Pt = 3.0						
Carga p/eje (tóps)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0	0
4	0.001	0.001	0.001	0	0	0
6	0.003	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
8	0.006	0.011	0.009	0.005	0.003	0.003
10	0.011	0.024	0.02	0.012	0.008	0.007
12	0.019	0.042	0.039	0.024	0.017	0.014
14	0.031	0.066	0.068	0.045	0.032	0.026
16	0.049	0.096	0.109	0.076	0.055	0.046
18	0.075	0.134	0.164	0.121	0.09	0.076
20	0.113	0.181	0.232	0.182	0.139	0.119
22	0.166	0.241	0.313	0.26	0.205	0.178
24	0.238	0.317	0.407	0.358	0.292	0.257
26	0.333	0.413	0.517	0.476	0.402	0.36
28	0.457	0.534	0.643	0.614	0.538	0.492
30	0.616	0.684	0.788	0.773	0.702	0.656
32	0.817	0.87	0.956	0.953	0.896	0.855
34	1.07	1.1	1.15	1.15	1.12	1.09
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.71	1.64	1.62	1.66	1.7
40	2.21	2.11	1.94	1.89	1.98	2.08
42	2.75	2.59	2.29	2.19	2.33	2.5
44	3.39	3.15	2.7	2.52	2.71	2.97
46	4.15	3.81	3.16	2.89	3.13	3.5
48	5.04	4.58	3.7	3.29	3.57	4.07
50	6.08	5.47	4.31	3.74	4.05	4.7
52	7.27	6.49	5.01	4.24	4.57	5.37
54	8.65	7.67	5.81	4.79	5.13	6.1
56	10.2	9	6.7	5.4	5.7	6.9
58	12	10.6	7.7	6.1	6.4	7.7
60	14.1	12.3	8.9	6.8	7.1	9.8
62	16.3	14.2	10.2	7.7	7.8	9.5
64	18.9	16.4	11.6	8.6	8.6	10.5
66	21.8	18.9	13.2	9.6	9.5	11.6
68	25.1	21.7	15	10.7	10.5	12.7
70	28.7	24.7	17	12	11.5	13.9
72	32.7	28.1	19.2	13.3	12.6	15.2
74	37.2	31.9	21.6	14.8	13.8	16.5
76	42.1	36	24.3	16.4	15.1	17.9
78	47.5	40.6	27.3	18.2	16.5	19.4
80	53.4	45.7	30.5	20.1	18	21
82	60	51.2	34	22.2	19.6	22.7
84	67.1	57.2	37.9	24.6	21.3	24.5
86	74.9	63.8	42.1	27.1	23.2	26.4
88	83.4	71	46.7	29.8	25.2	28.4
90	92.7	78.8	51.7	32.7	27.4	30.5

Tabla 3-9						
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt • 3.0						
Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0	0	0
4	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0
8	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001
10	0.005	0.008	0.005	0.003	0.002	0.002
12	0.007	0.014	0.01	0.006	0.004	0.003
14	0.011	0.023	0.018	0.011	0.007	0.006
16	0.016	0.035	0.03	0.018	0.013	0.01
18	0.022	0.05	0.047	0.029	0.02	0.017
20	0.031	0.069	0.069	0.044	0.031	0.026
22	0.043	0.09	0.097	0.065	0.046	0.039
24	0.059	0.116	0.132	0.092	0.066	0.056
26	0.079	0.145	0.174	0.126	0.092	0.078
28	0.104	0.179	0.223	0.168	0.126	0.107
30	0.136	0.218	0.279	0.219	0.167	0.143
32	0.176	0.265	0.342	0.279	0.218	0.188
34	0.226	0.319	0.413	0.35	0.279	0.243
36	0.286	0.382	0.491	0.432	0.352	0.31
38	0.359	0.456	0.577	0.524	0.437	0.389
40	0.447	0.543	0.671	0.626	0.536	0.483
42	0.55	0.643	0.775	0.74	0.649	0.593
44	0.673	0.76	0.889	0.865	0.777	0.72
46	0.817	0.894	1.014	1.001	0.92	0.865
48	0.984	1.048	1.152	1.148	1.08	1.03
50	1.18	1.23	1.3	1.31	1.26	1.22
52	1.4	1.43	1.47	1.48	1.45	1.43
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.92	1.86	1.85	1.88	1.91
58	2.28	2.21	2.09	2.06	2.13	2.2
60	2.66	2.54	2.34	2.28	2.39	2.5
62	3.08	2.92	2.61	2.52	2.66	2.84
64	3.56	3.33	2.92	2.77	2.96	3.19
66	4.09	3.79	3.25	3.04	3.27	3.58
68	4.68	4.31	3.62	3.33	3.6	4
70	5.34	4.88	4.02	3.64	3.94	4.44
72	6.08	5.51	4.46	3.97	4.31	4.91
74	6.89	6.21	4.94	4.32	4.69	5.4
76	7.78	6.98	5.47	4.7	5.09	5.93
78	8.76	7.83	6.04	5.11	5.51	6.48
80	9.84	8.75	6.67	5.54	5.96	7.06
82	11	9.8	7.4	6	6.4	7.7
84	12.3	10.9	8.1	6.5	6.9	8.3
86	13.7	12.1	8.9	7	7.4	9
88	15.3	13.4	9.8	7.6	8	9.6
90	16.9	14.8	10.7	8.2	8.5	10.4

ANEXO Nº 5
MANUAL TECNICO
DISEÑO DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO



MANUAL TECNICO DISEÑO DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO



INDICE

	Pág.
I. ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO	
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
VENTAJAS Y APLICACIONES.....	4
SUBRASANTE.....	9
SUB-BASE Y BASE.....	10
CAPA DE RODADURA.....	13
CONFINAMIENTO.....	19
SISTEMAS Y ESTRUCTURAS DE DRENAJES.....	21
II- PROCESO CONSTRUCTIVO.....	25
III- MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA.....	32
IV- DISEÑO DEL PAVIMENTO	
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL.....	39
ANÁLISIS DEL TRÁNSITO.....	42
FUNCIONAMIENTO.....	48
DISEÑO POR EL MÉTODO DEL ICPI	
- PARAMETROS DE DISEÑO ESPECÍFICOS...	50
- EJEMPLO.....	59
DISEÑO POR EL MÉTODO DEL CCA	
- PARAMETROS DE DISEÑO ESPECÍFICOS...	65
- EJEMPLO.....	71

I. ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos se ha tratado de solucionar problemas convencionales para obtener un estatus de vida más adecuado de acuerdo a las exigencias de cada sociedad, por lo que un elemento predominante en el desarrollo de cada civilización han sido los caminos y su forma de desarrollo en el transcurso del tiempo.

Dada la importancia de obtener tipos de pavimentos que sean competitivos en nuestro medio de acuerdo a los diferentes tipos de tráfico que existen, se hace necesario explorar de una forma exhaustiva, propuestas para un mejoramiento pertinente; haciendo énfasis en los procesos que sean técnica y económicamente factibles para llevar a cabo su realización. Por lo que el siguiente manual de diseño se enfoca al estudio de una propuesta automatizada en el diseño de cálculos de pavimentos con adoquines de concreto y sus respectivas especificaciones, considerando que es una alternativa favorable para diferentes tipos de tráfico vehiculares, tales como: tráfico ligero, mediano y pesado, considerando los métodos de diseño de los organismos especializados tales como; el ICPI; por sus siglas en inglés (Interlocking Concrete Pavement Institute), CCA; por sus siglas en inglés (Cement and Concrete Association); por lo que se presentarán aspectos que se deben de tomar en cuenta para el diseño, construcción, mantenimiento, etc.; de los pavimentos con adoquines de concreto. La ejecución de los pavimentos con adoquines de concreto, se

ha realizado en el transcurso del tiempo en base a la experiencia adquirida en diferentes proyectos. La resistencia de este tipo de pavimentos en sus diferentes elementos, como en el acabado deben de cumplir con las normas o especificaciones técnicas a que podrían estar sometidos.

ANTECEDENTES

Las grandes y pequeñas civilizaciones en el transcurso del tiempo han desarrollado pavimentos de una u otra manera, por lo que el adoquín es tan antiguo como la humanidad misma, anteriormente eran de piedra tallada o natural según figura I.A; investigaciones dan a conocer que en el Imperio Romano ya se tenían claros los conceptos de rodadura, bases, confinamiento y drenajes, inicialmente se trabajaba con piedra natural, por lo que la rodadura pasó de piedra natural a piedra tallada, para reducir los tamaños de juntas, el ruido y la vibración.

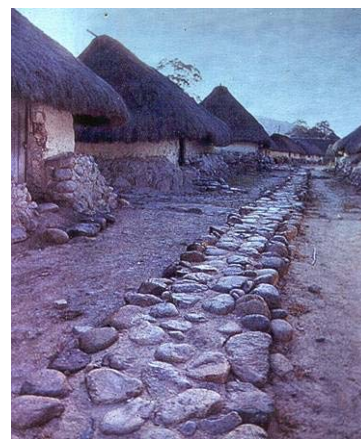


Figura I.A
Pavimento de piedra

- **Adoquines de Piedra:**

Las civilizaciones antiguas observaron que al labrar las piedras se tenía un mejor ajuste entre ellas, la dificultad para dar abasto con los adoquines de piedra al proceso de urbanización por la revolución industrial a finales del siglo XVIII llevo a que se desarrollaran otros tipos de pavimentos.

- **Adoquines de Arcilla:**

Loa Adoquines de Arcilla como se muestra en la figura I.B, se comenzaron a construir en Alemania y Países Bajos a principios del siglo XIX; son unidades resistentes al desgaste para peatones, estos adoquines se usaron para de llantas de caucho en las vías por ser menos costoso que los adoquines de piedra.



Figura I.B
Adoquines de Arcilla

- **Adoquines de Madera y Otros:**

Aparecieron a mediados del siglo XIX el Reino Unido patentó los adoquines de madera para la reducción de ruido, pero el mayor deslizamiento de las llantas de caucho limitó su desarrollo.

- **Adoquín de Concreto:**

Fueron desarrollados inicialmente por Alemania y los Países Bajos por la falta de adoquines de ladrillo de arcilla y el desarrollo de equipos que permitían fabricar un gran número de unidades, de igual dimensión y calidad controlada, rápida, fácil y eficiente, utilizando concreto como material.

En El Salvador, se construyen pavimentos con adoquines de concreto desde los años de 1960, un incremento de estos se estableció a mediados de la década de 1970 e inicio de la década de 1980 en colonias, barrios, parques, etc.; sin embargo se puede mencionar que estos pavimentos con adoquines de concreto en su mayoría presentaron deficiencias estructurales a corto plazo, las causas son diversas, entre las más comunes se encuentran; diseños estructurales inadecuados, deficiencias en la calidad de los adoquines y vicios en procesos constructivo; pero existen algunos casos de buen comportamiento a través del tiempo como lo es; la calle Roosevelt en Soyapango; que fue construida hace más de 20 años y presenta un comportamiento excelente a pesar del tipo de tráfico que circula por dicha arteria ya que a diario soporta un promedio de 3000 vehículos, incluyendo tráfico pesado.

VENTAJAS Y APLICACIONES

VENTAJAS

b) Ventajas debidas al proceso de construcción;

Toda la estructura del pavimento se puede construir y dar al servicio en un mismo día, por lo cual las interrupciones en el tráfico son mínimas y se logran economías en tiempo, equipos, materiales, costos financieros y sociales. La colocación de las piezas de adoquines generalmente se da de forma artesanal y se utiliza mano de obra que, se puede multiplicar al crear varios frentes de trabajo simultáneamente. Debido a su facilidad de montaje lo pueden realizar personas que no sean especialistas en su

colocación., aunque en ocasiones se puede utilizar equipo industrializado para su respectiva colocación como se muestra en la figura I.C.



Figura I.C

Colocación Manual

Colocación Mecanizada

Colocación de Adoquines

b) Ventajas debidas al manejo del pavimento:

Al presentarse una falla en el pavimento o cuando hay que instalar o reparar las redes de servicios que están cubiertos por la vía es indispensable retirar, y con esto destruir, las distintas capas. Teniendo un pavimento de adoquines la capa de rodadura es recuperable según se muestra en la figura I.D.



Figura I.D

**Reparación de
redes de servicio**

c) Ventajas debidas a su apariencia:

Por la conformación de muchas piezas iguales el pavimento de adoquines induce un cierto sentido de orden en la vía. La fabricación de los adoquines se puede dar en diferentes colores como se observa en la figura I.E, agregándoles colorantes minerales a la mezcla y utilizando cemento gris o cemento blanco. Con algunos adoquines de

color diferente al del resto, se pueden incorporar en la superficie del pavimento señales y demarcaciones tan duraderas como este, pero que a la vez pueden ser removidas fácilmente; se pueden colorear zonas para distinguir su utilización o incorporar diseños decorativos.



Figura I.E

Apariencias de adoquines

d) Ventajas relativas a la seguridad:

Los pavimentos con adoquines de concreto se facilitan para incorporar señales, o se pueden colocar en medio de otros pavimentos sirviendo como zonas de aviso para disminución de velocidad según figura I.F o zonas permanentes de velocidad

restringida



Figura I.F

**Adoquines permanentes
para reducción de
velocidad**

e) Ventajas relativas a la durabilidad:

La calidad que se le exige a las adoquines de concreto garantiza su durabilidad, de manera que sean resistentes a la abrasión del tráfico de llantas, a la acción de la intemperie y al derrame de combustibles y aceites, lo que los hace ideales para la pavimentación de estacionamientos, estaciones de servicio, patios industriales, etc.

f) Ventajas relativas al costo de construcción:

Para la fabricación de los adoquines y para la compactación del pavimento se utiliza maquinaria de la cual existe producción nacional de buena calidad y rendimiento. Los materiales que se requieren para su construcción se consiguen en cualquier lugar del país y no consume derivados del petróleo.

APLICACIONES

Ámbito arquitectónico, por la variedad de múltiples patrones de colocación y formas existentes, se pueden utilizar en aceras, centro de las ciudades (zonas peatonales) y plazas públicas, tomando en consideración la seguridad de las personas, la proporcionalidad de los adoquines, la luminosidad, y la impermeabilidad, además los ámbitos de aplicación se dan en las vías internas de urbanizaciones, calles y avenidas, con tráfico vehicular que puede ir desde unos cuantos vehículos livianos, hasta gran número de vehículos pesados; garajes, áreas industriales: naves industriales con desplazamiento de tráfico pesado y poca velocidad; almacenes; áreas de autopistas, de puertos, de aeropuertos, de ferrocarriles; estaciones de autobús; pistas de bicicletas: carril bici; gasolineras como se muestra en la figura I.G ; armado de taludes; sujeción de orillas y fondos pluviales; superficies de terrazas; caminos de jardines.

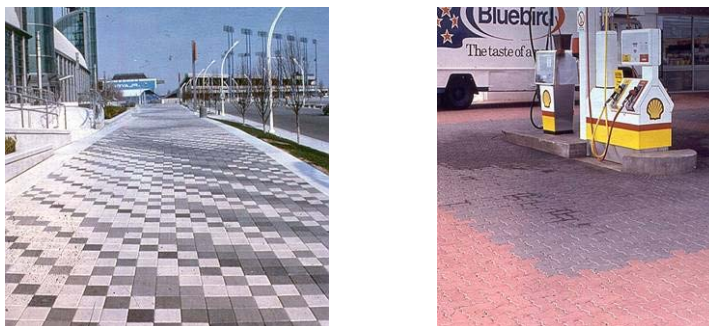


Figura I.G

Aplicaciones Arquitectónicas

Es necesario mencionar que las aplicaciones referente a las **áreas sometidas a tráfico vehicular** como se puede observar en la figura I.H, es destacable en el aspecto de señalizaciones para áreas urbanas. Existen un sin número de aplicaciones para los pavimentos con adoquines de concreto, por consiguiente también existen en este caso **aplicaciones especiales** que es necesario tomar en consideración, como son las **estructuras hidráulicas** en las que de forma general se recomienda el uso de adoquines de 10cm de espesor por razones de estabilidad, ya que la velocidad de desplazamiento del caudal



Figura I.H

**Áreas
sometidas a
tráfico**



Figura I.I
Pavimento en Minas de SURÁFRICA

en los canales y su movimientos ondulatorio se pueden controlar mediante adoquines que sobresalgan un poco de los extremos.

protección de taludes, cualquier tipo de adoquín es válido, colocándose de abajo hacia arriba sobre una capa de arena de 3 a 5cm de espesor, sobre un

relleno debidamente compactado. deberá protegerse con borde de confinamiento. Otras aplicaciones especiales se dan en **granjas y en zonas mineras** según figura I.I, debido a su naturaleza de modulación y durabilidad de este tipo de pavimentos.

Algunas limitantes que presentan los pavimentos de adoquines:

- a) El nivel freático del terreno.
- b) Nunca se debe poner a trabajar un pavimento de adoquines como canal colector de aguas, que pueda llegar a soportar corrientes voluminosas y rápidas tipo “arroyo”.
- c) Nunca se deben someter a la acción de un chorro de agua a presión.
- d) No es aconsejable para velocidades superiores a los 60km/h.

SUBRASANTE

CONCEPTO: Es el piso o terreno sobre el cual se construirá el pavimento y que sirve como fundación. Puede ser de terreno natural o mejorado.

Todo análisis de un pavimento se inicia con exploración de la zona, con la preparación del terreno o la subrasante. Una de las actividades es de retirar los materiales ajenos a la vía como lo son árboles, piedras, restos de construcciones y de pavimentos antiguos cuando no se vayan a utilizar estos últimos como parte de la estructura del nuevo pavimento.

La subrasante debe de quedar al nivel y pendiente indicados que tendrá el pavimento, para poder colocar capas de igual espesor en toda el área del pavimento.

La superficie acabada no deberá variar en más de 10mm, cuando se compruebe con una regla de 3m, aplicada tanto paralela como normalmente al eje de la vía. Tampoco podrán existir zonas capaces de retener agua.

SUB-BASE Y BASE

SUB-BASE

Realmente se trata de una base de menor calidad, ya que al estar más alejada de las cargas del tráfico, estas le llegan más atenuadas. Su función consiste en proporcionar un cimiento uniforme para la base y una adecuada plataforma de trabajo para su puesta en obra y compactación. En muchos casos se ha atribuido a esta capa una función drenante.

BASE

Constituye el principal elemento portante de la estructura del pavimento, por lo que debe de absorber en mayor proporción, las cargas verticales transmitidas por el tráfico; las bases más comunes son:

1. Bases de suelo cemento, el requisito básico se da por medio de la tabla I.A

Tabla I.A**Requisitos Básicos de Bases de Suelo Cemento**

TIPO DE SUELO	CLASIFICACIÓN UNIFICADA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)	
		7 días	28 días
Arenoso y Cascajoso	GW, GC, SW, SC, SP, SM, GP	2	2.7
Limosos	ML y CL	1.7	2
Arcillosos	MH y CH	1.4	1.7

- c) Bases Granulares: Los requisitos básicos que deben cumplirse estipulan de la siguiente tabla.

Tabla I.B**Requisitos Básicos de Bases Granulares**

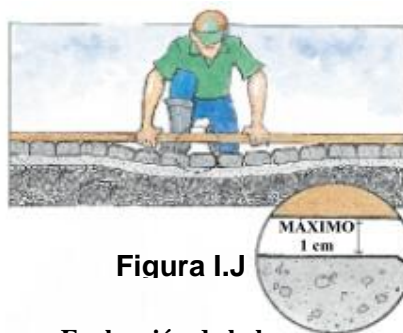
CBR	>80%
Límite Líquido ¹	<25%
Índice de plasticidad ²	<6
Granulometría: - Tamaño máximo - Fracción que pasa por el tamiz 74 μ (Nº 200)	38.1mm (1 1/2") Menor que los 2/3 de la fracción que pasa por el tamiz 420 μ (Nº 40)
Compactación	> 97% (Proctor modificado)
Desgaste de la máquina de los Ángeles	< 50%

La base se construye por capas, de espesor constante en toda el área del pavimento. Cada capa debe de quedar completamente terminada (compactada) antes de colocar la siguiente.

¹ / ____ De la fracción que pasa el tamiz 420 μ (Nº 40)

² / ____ De la fracción que pasa el tamiz 420 μ (Nº 40)

La superficie de la base se evaluará con una regla de tres metros, sobre una línea que no afecte los cambios en la pendiente de la vía, no se separa de la regla la superficie de la base más de 10mm; cualquier punto de la superficie estará entre +0 y -10mm de la cota de diseño según se observa en la figura I.J, y el espesor no será menor que el proyectado menos de 5mm.



NOTA

Para la construcción de pavimentos con adoquines de concreto para tráfico peatonal (personas, animales, bicicletas, motocicletas, y vehículos similares), no se requerirá base como capa estructural, la capa de arena se colocará directamente sobre la subrasante, debidamente perfilada y compactada, y cuando ésta no esté conformada con material orgánico, en el caso de encontrar material orgánico se deberá reemplazar por otro material que sea adecuado. Se construirá una base cuando se requiera por consideraciones estructurales, lo que significa que cuando la capacidad de soporte de la subrasante sea extremadamente baja, o cuando se espera la circulación eventual de vehículos más pesados que los mencionados en este párrafo.

CAPA DE RODADURA

CONCEPTO: Es la capa superior del pavimento que soporta el tráfico.

En los pavimentos con adoquines de concreto, la capa de rodadura esta formada por tres elementos:

- a) Los adoquines de concreto
- b) La capa de arena
- c) El sello de arena, unidos por fricción por medio de la compactación, sin ligamentos.

CAPA DE ARENA

El objetivo fundamental de esta capa es de servir de base de apoyo a los adoquines, permitiendo una adecuada compactación y nivelación de los mismos; se aconseja un espesor final de 3cm para esta capa, siempre y cuando los adoquines estén ya colocados y se a realizado la respectiva vibración, por lo tanto el espesor de arena oscila entre 3 a 5cm no compactados. El contenido máximo de materia orgánica y arcilla debe ser inferior al 3%, la calidad de esta capa es muy importante y repercute en el comportamiento general del pavimento.

ADOQUINES

CONCEPTO: un adoquín es un elemento macizo de concreto, prefabricado, con forma de prisma recto, cuyas bases son polígonos que permiten conformar una superficie completa.

El diseño de los adoquines de concreto permite un entrelazamiento que facilita la transmisión de cargas en pisos y pavimentos, por lo que es la parte de mayor calidad, este debe de poseer condiciones de funcionalidad, tales como rodadura cómoda y segura, y de estética ya que es la parte visible del pavimento.

PATRONES DE COLOCACIÓN DE ADOQUINES

Colocación de adoquines

El adoquinado se coloca por hileras, cuya disposición final depende del arreglo de conjunto o patrón deseado, cuidando los perfilamientos longitudinal y transversal que se aplique al proyecto. Las pendientes recomendables son: longitudinal 1: 180, y transversal 1: 40. Cuando se estén colocando los adoquines se tendrá cuidado de no pisar la "cama" o base de arena.

En caso de que los huecos por rellenar sean tan pequeños que la ejecución de fragmentos no sea práctica, podrá colocarse en los bordes a manera de rellenos concreto de $f'c = 300\text{kg/cm}^2$, con un tamaño máximo de agregado de 1cm, ver figura I.K

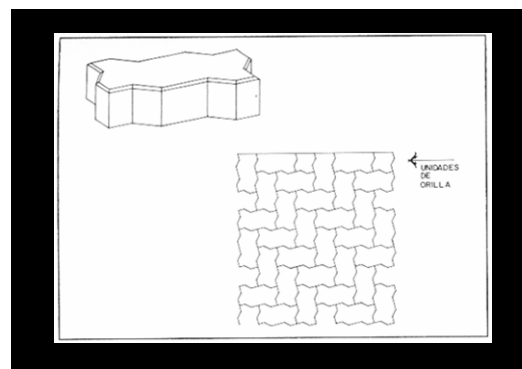


Figura I.K
Colocación en los
Bordes de Relleno

- **Tipos de Arreglos**

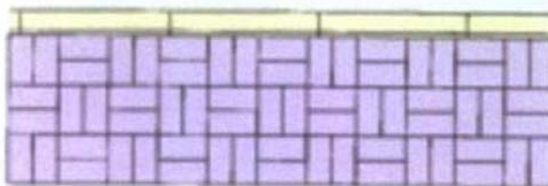
Los adoquines se ubican siguiendo un **patrón** de colocación, de tipos de arreglos; que es la manera como van puestos los adoquines, uno al lado de otros, se

debe seguir también un **alineamiento** que es la posición del patrón con respecto al eje de la vía. Ambos se deben definir antes de empezar la colocación. Para el tránsito vehicular no se pueden dejar juntas continuas en el sentido de circulación de los vehículos, por lo cual hay que buscar que no queden alineadas con el eje de la vía.

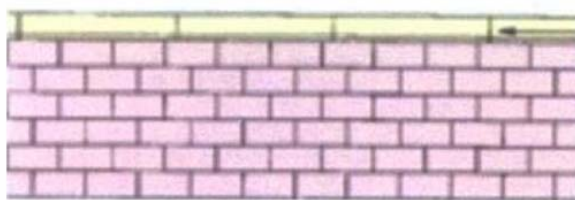
Es muy importante que tanto el patrón como el alineamiento se mantengan a lo largo de la vía o de la zona que se vaya a pavimentar. Es requisito que los hilos transversales se encuentren a escuadra con los longitudinales.

A continuación se presentan algunos patrones de colocación en las figuras I.L.A y I.L.B, utilizados en zonas peatonales, tráfico moderado y ligero, tráfico pesado.

Patrones de Colocación para Zonas Peatonales

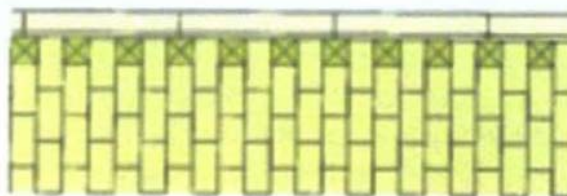


Parquet

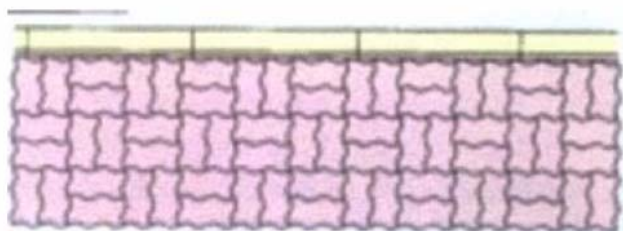


Matajunta con borde de confinamiento paralelo

Patrones de Colocación para Tráfico Moderado y Ligero



Matajunta



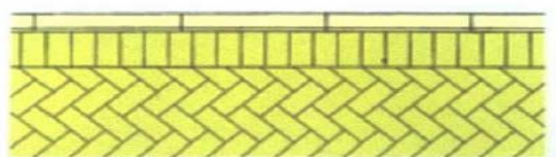
Parquet

Figura I.L.A

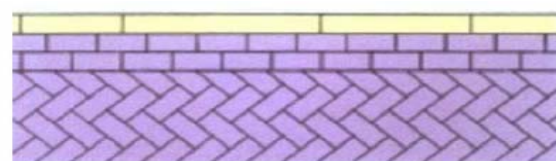
Patrones de Colocación para Tráfico Pesado



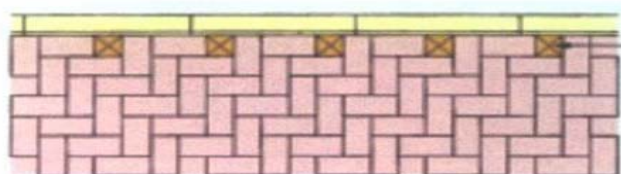
Espina de Pez con remate simple



Espina de Pez con remate perpendicular



Espina de Pez con remate doble



A 90°



A 45°

Figura I.L.B

SELLO DE ARENA

El sello de arena esta constituido por la arena que se coloca como relleno de juntas, además sirve como sello y contribuye al funcionamiento como un todo de los elementos de la capa de rodamiento, se trata de una arena fina que ocupa el espacio que queda entre los adoquines, ayuda a confinar los bloques lateralmente y transmite las cargas verticales entre ellos, además proporciona una cierta impermeabilidad al pavimento, disminuyendo la permeabilidad de agua que se podría dar.

Lo recomendable con respecto al tamaño de los granos de arena para la utilización de sello es que no sea mayor de 2.5mm de gruesos, y nunca se le debe adicionar cemento, cal o remplazarla por mortero, puesto que el sello quedaría quebradizo y se saldría con el tiempo. Por lo tanto esta arena se debe pasar con una malla cuadrada conocida como angeo cuadrado de 8 x 8, para quitarle los granos mayores de 2.5mm, los materiales contaminantes; como madera, plástico, metal, etc, quedando sueltos se pueden secar más rápidamente, las juntas entre los adoquines no debe exceder de 5mm, las ranuras que queden entre los bordillos o cunetas laterales o entre los remates o travesaños de concreto y los adoquines, serán rellenos con sello de arena y cemento pórtland en proporción de 4:1³

³/ ___ Manual Centroamericano “Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes”

CONFINAMIENTO

Su función primordial es la de evitar que los adoquines se desplacen lateralmente por empuje horizontal del tráfico vehicular, por lo tanto rodeará completamente el área del pavimento de adoquines, por lo que su estructura consiste en cunetas, andenes, muros o la estructura de otro pavimento, etc, según se observa en la figura I.M.

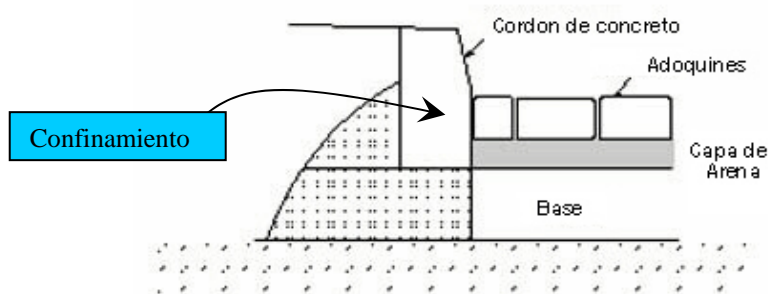


Figura I.M

Esquema de Confinamiento

El confinamiento deben de tener la estabilidad suficiente para soportar el impacto ocasional del transito de vehículos, una recomendación dada es que deben de tener una profundidad de por lo menos 15cm por debajo de los adoquines, pudiendo utilizar los bordillos, cunetas de concreto u otro pavimento , en caso de que solo se reemplaza una parte del mismo.

Se pueden mencionar dos tipos de confinamiento en general, ver figura I.N, como lo son: el externo que es



Tipo de confinamiento Externo



Tipo de confinamiento Interno
Figura I.N

el que rodea el pavimento y el interno el que rodea las estructuras que se encuentran dentro del externo. Es necesario construir el confinamiento antes de esparcir la capa de arena, para poder colocar ésta, y los adoquines dentro de una forma de caja, cuyo fondo sea la base compactada y sus paredes las estructuras de confinamiento.

Se recomienda construir cordones transversales cuando haya cambios fuertes de pendientes de la vía, mayores del 8%, se confina al comenzar y termina cada cuadra, en calles, y cada 100m, en carreteras, estos cordones transversales de confinamiento serán de concreto, prefabricado o algún otro material.

La estructura del confinamiento por conveniencia se debe de construir antes de la colocación de la capa de rodadura.

En las zonas de tapas de registro de electricidad, de visita (como en la figura I.O), etc., se deberán construir brocales de concreto alrededor de ellas. Los niveles de los brocales deben de estar aproximadamente 7mm por abajo del correspondiente a los adoquines.

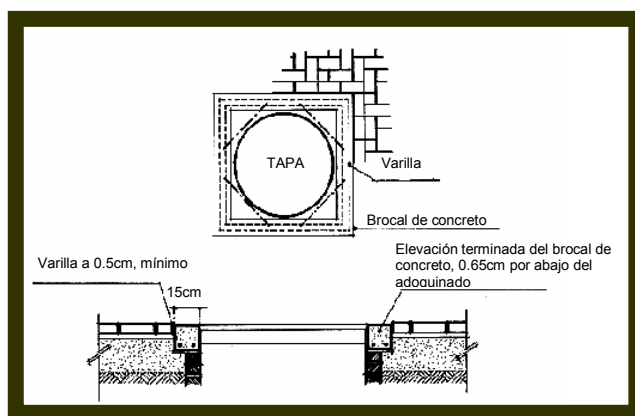


Figura I.O

Tapa de Registro

SISTEMAS Y ESTRUCTURAS DE DRENAJES

Las estructuras de drenajes sirven para la recolección, conducción y evacuación del agua, tanto superficialmente como internamente en el pavimento, llamados comúnmente drenaje subterráneo.

El drenaje natural corresponde a las pendientes longitudinales como transversales, cunetas y sumideros.

El drenaje subterráneo corresponde a las redes de desagüe, filtros, etc, ver figura I.P

Todo diseñador de pavimentos con adoquines de concreto debe de buscar que la subrasante, sub-base y base estén lo más protegidas de la acción del agua.

Sistema de Drenaje Superficial:

El sistema de drenaje superficial ver figura I.Q; es el que maneja y encausa el agua que está sobre el pavimento, siendo de este tipo las pendientes, cunetas, sumideros, etc.



Figura I.P
Tipo de Drenaje Sumidero

Cuando se tienen tránsito peatonal, las cunetas se pueden hacer escaladonadas hasta 3cm, con respecto a la superficie del pavimento. En áreas pavimentadas con adoquines, diferentes a vías, como plazas, parqueaderos, patios, etc. La pendiente mínima será del 2%. Y se recomienda que el tipo de mortero a utilizar sea de una relación de 1:4. según figura de sistema de drenaje superficial. En zonas diferentes a vías, como plazas, parqueaderos, patios, etc., la pendiente mínima será del 2% y se dejarán perforaciones en los confinamientos cada 40cm. El lado del tubo que está en contacto con la capa de arena se cubre con geotextil no tejido.



Figura I.Q
Sistema de Drenaje Superficial
 Fuente: www.cementovalle.com.co

Sistema de Drenaje Subterráneo:

Entre los sistemas conocidos de drenajes subterráneos tenemos:

- c) Drenes Longitudinales.
- d) Drenes Transversales y horizontales
- e) Sistemas de Pozos

Consideraciones de drenaje en el diseño de pavimentos flexibles según AASHTO

Los tiempos de drenajes recomendados están basados en el tiempo requerido para drenar la capa base hasta un grado de saturación del 50%, sin embargo el criterio del 85% de saturación reduce en forma significativa el tiempo real usado para seleccionar la calidad del drenaje según la tabla I.C.

Tabla I.C

Tiempo de Drenaje

Calidad del Drenaje	50% de saturación en:	85% de Saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	mas de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

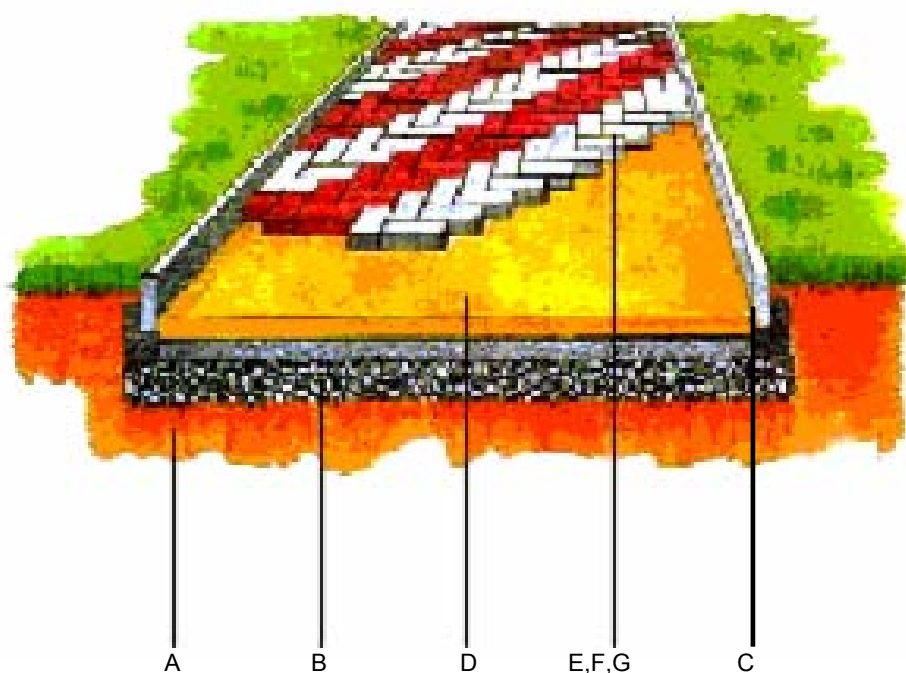
Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Esta calidad de drenaje según la tabla I.D se expresa según el número estructural a través de los coeficientes de drenajes “m”, que afectan a las capas no ligadas.

Tabla I.D**Coeficientes de Drenajes para Pavimentos Flexibles**

Calidad de Drenaje	% de tiempo en que el pavimento flexible está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy Pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Forma Detallada de Construcción de Pavimentos de Adoquines

- A: Preparación del Subrasante
- B: Preparación de la Sub-base; y/o base
- C: Ejecución de los bordes de confinamiento
- D: Extendido y nivelación de la capa de arena
- E, F, G: Colocación de los adoquines, compactación y vibración, relleno de juntas con arena, nuevamente compactación y vibración, barrido de arena sobrante

Figura I.R

II. PROCESO CONSTRUCTIVO

Preparación del sitio

Una vez preparada y compactada la superficie de apoyo, se coloca el material de sub-base y se compacta al 98 % respecto a la prueba Proctor modificada o AASHTO modificada (T180).

A continuación se colocan los confinamientos o elementos de restricción lateral. El confinamiento deberá quedar cubierto en concreto por los dos lados al menos dos tercios de su altura.

Se coloca la base de arena en el espesor especificado, más un sobreespesor de 1 a 2cm, para posteriormente ser enrasado a la altura del proyecto de la cama de arena.

Colocación de adoquines

El adoquinado se coloca por hileras, cuya disposición final depende del arreglo de conjunto o patrón deseado, cuidando los perfilamientos longitudinal y transversal que se aplique al proyecto. Cuando se estén colocando los adoquines se tendrá cuidado de no pisar la "cama" o base de arena.

En las inmediaciones de los confinamientos, elementos restrictivos, banquetas, pozos de visita, alcantarillas, etc. se utilizarán fragmentos de adoquines, los cuales provendrán de cortes hechos con guillotinas. En caso de que los huecos por rellenar

sean tan pequeños que la ejecución de fragmentos no sea práctica, podrá colocarse en los bordes a manera de rellenos concreto de $f'c = 300\text{kg/cm}^2$, con un tamaño máximo de agregado de 1cm.

Restricción de orillas

Estos elementos estructurales son los que restringen los movimientos laterales del adoquinado y del material de plantilla, debido al paso del tránsito. Estos elementos de confinamiento contribuyen además a transferir carga en el sistema de pavimento y a minimizar su deformación con el tiempo. Asimismo, los elementos confinantes se diseñan para permanecer en su sitio, cuando ocasionalmente reciben impactos por las llantas de vehículos.

- ◆ Concreto allanado: esto normalmente se coloca sin cimbrado. El confinamiento protector de concreto debe tener un ancho mínimo en su fondo de 15cm. La zona más ancha debe ser a la profundidad total entre adoquinado y cama de arena.
- ◆ Confinamiento de adoquín y prefabricadas: en todos los casos, las piezas se deben empotrar como mínimo 2.5cm bajo la plantilla de arena. En el caso de calles con tránsito medio a alto se recomienda colocar el elemento confinante hasta el fondo de la capa base. Si por alguna razón ello no es posible, entonces al menos el relleno o la cama de concreto en donde se apoya la pieza prefabricada deberá extenderse hasta el fondo de la capa granular.
- ◆ Confinamientos colados en sitio: funcionan adecuadamente como elementos confinantes. Para cumplir con esta función, estas piezas deben empotrarse como mínimo dentro de la cama de arena. En las zonas de tapas de registro de

electricidad, de visita, etc., se deberán construir brocales de concreto alrededor de ellas.

Los niveles de los brocales deben de estar aproximadamente 7mm por abajo del correspondiente a los adoquines.

En caso de sobreelevar las cajas o registro, se deberá inspeccionar la integridad de la parte nueva recién construida, ya que se podrían generar grietas por donde pudiesen emigrar las partículas de arena de la plantilla hacia las tuberías de drenaje o alcantarillado. En este caso se deberán reparar los fisuramientos, y en caso extremo, colocar geomembranas a manera de filtro bajo la arena.

En el caso de cruces peatonales, se pueden colocar los adoquines recargados sobre una viga de concreto, la función de la viga sería la de resistir frenajes, giros y arrancones de vehículos. Cuando el tránsito sea muy pesado, se deberá proveer una capa adicional de concreto bajo el conjunto formado por la plantilla de arena y adoquines, entre las secciones de vigas.

Compactación

La compactación se puede lograr con los equipos convencionales:

- ❖ Por apisonado.
- ❖ Vibración.
- ❖ Estáticos.

La diferencia entre los dos primeros es básicamente la altura de caída en que accionan las placas compactadoras, la amplitud que utilizan, y el número de golpes que se generan por minuto (frecuencia). Otro factor que diferencia a estos dos métodos de compactación es el grado de impacto o energía de compactación del equipo. El de apisonado tiene, normalmente, mayor impacto que el equipo de vibración.

- ◆ Apisonado: los apisonadores se caracterizan por usar frecuencias bajas, en el rango de 800 a 2,500 golpes por minuto, con alturas de caída entre 40 a 90mm. Existen tres variantes típicas en estos equipos: a) los de tipo manual ("bailarinas"), b) los de placa autopropulsables, y c) los del tipo de rodillo "pata de cabra".
- ◆ Vibrado: estos equipos se distinguen por sus bajas amplitudes, sus altas frecuencias (golpes por minuto), normalmente de 2,000 a 6,000. Las rotaciones de un vástago excéntrico dentro de la placa vibratoria, o chasis del rodillo, generan ondas de esfuerzo que viajan dentro del subsuelo. Estas vibraciones provocan el desplazamiento y reacomodo de las partículas de suelo.
- ◆ Estáticos: utilizan en su funcionamiento sólo su peso. Son capaces de compactar capas de suelo delgadas. Su empleo se limita sólo a dar el perfilamiento final después de la aplicación energética con rodillos. También se utilizan en compactar piezas reducidas de adoquín aplicables en puertos y aeropuertos. La naturaleza de los suelos por compactar determinará el tipo de equipo por emplear. Por ejemplo, en el caso de las arcillas, el equipo debe romper la liga íntima entre partículas y la posible presencia de agua. Para ello resulta mejor amasar

mediante percusiones fuertes, de amplitudes mayores, es decir, por medio del apisonado.

En el caso de las arenas, dada la trabazón entre partículas, es necesario sacudir y romper la estructura mediante vibración, luego este tipo de equipo es más efectivo. Las placas vibratorias son útiles especialmente en el caso de adoquines y arena ya instalados, para que esta última se reacomode y quede el conjunto bien compactado. En aplicaciones especiales, sobre todo en áreas confinadas, también se pueden emplear pisones, tal como en el caso de trincheras. Si no existe confinamiento, los pisones en lugar de compactar lo único que producen son desplazamientos de suelo hacia las orillas. En la naturaleza nunca se encuentran suelos puros, sino más bien mezclas de ellos; es por ello que para elegir un buen equipo de compactación es necesario tener un conocimiento adecuado de los suelos, así como juicio ingenieril. En la figura II.A se presenta una gráfica a manera de guía, para el empleo de los citados equipos atendiendo a los tipos de suelos y porcentajes de su composición.

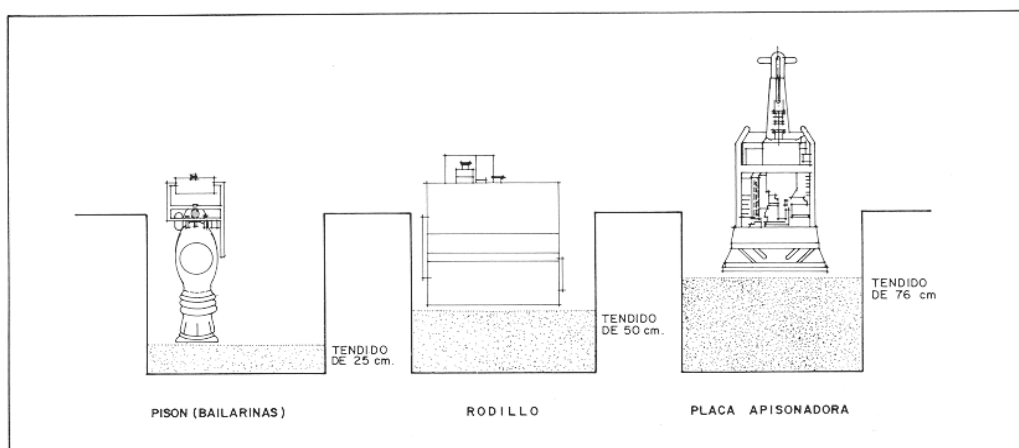


Figura II.A

Formas de Empleo de Equipo de Compactación

Terminado

Inicialmente se realizarán de dos a tres pasadas con la placa vibratoria, y así conseguir una superficie de rodamiento plana y uniforme.

En cuanto al nivel de los elementos de retención lateral o de confinamiento, estos deberán venir claramente especificadas en los planos. Durante el proceso de compactación del adoquinado, se tratará de pasar el compactador en trazos traslapados para diferentes hileras de adoquinado. Se dará inicio en una orilla para terminar en el extremo opuesto ver figura II.B, siempre evitando dar pasadas en

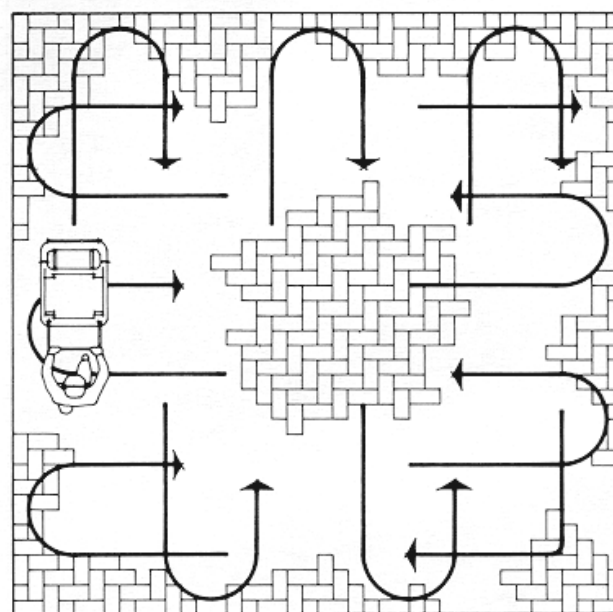


Figura II.B
Secuencia Típica de compactación

áreas con menos de 1m de distancia a elementos de restricción. Se deberá notar que los adoquines vibran hacia abajo, del orden de 0.7 a 1.0cm.

El propósito de la compactación es lograr una penetración de las piezas, a fin de que se presente una pequeña elevación de la arena dentro de las juntas del adoquinado. Dado el primer acomodo inicial, colóquese arena fina sobre el adoquinado, y distribúyase con escoba o rastrillo. Los tendidos deben ser delgados y lo

más uniformes posible. Este material deberá estar seco. La arena de juntas nunca deberá situarse en un solo montículo, sino que deberá distribuirse a lo largo del adoquinado por compactar. Aplíquense de dos a tres pasadas con la placa vibradora para hacer penetrar la arena en las juntas que forman las piezas, hasta que estas últimas se llenen. El proceso de compactación se repetirá cuantas veces sea necesario, hasta que se observe que el material granular regado en la superficie ya no penetre dentro de las juntas como resultado del vibrado. Se empleará una arena que tenga un tamaño máximo de 1.2mm, y un contenido de finos (material que pasa la malla No 200) menor del 10%. Las partículas tendrán una forma angular de preferencia, y estarán libres de sales solubles. El sello final se logra de manera natural, al acumularse polvo y detritus sólidos en las aberturas entre adoquines.

Al final de cada jornada se deberán colocar todas las piezas de orilla debidamente cortadas; todas las áreas colocadas deberán estar debidamente compactadas; todas las piezas rotas, removidas, y sustituidas; todas las juntas con arena, rellenadas; y finalmente, dar una compactación verifcatoria final. Si es necesario dejar áreas sin compactar, se las deberá proteger adecuadamente con plásticos o lona.

Por último se procederá a retirar el exceso de arena superficial y se abrirá el pavimento al tránsito. Las juntas entre adoquines se regularizarán mediante compactación, y la abertura en juntas recomendadas deberá estar en el rango de 2 a 4mm.

III. MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA

MANTENIMIENTO INICIAL

Durante la vida inicial del pavimento, las juntas entre los adoquines serán más o menos permeables. El ingreso de pequeñas cantidades de agua, consolidará la arena de la junta y es de vital importancia que las juntas sean llenadas regularmente con arena para reemplazar la arena consolidada por el agua lluvia.

Las juntas se volverán semi-impermeables. Hasta que esto haya ocurrido, el pavimento sólo puede ser barrido a mano. Las barredoras mecánicas y, en particular, la aspiradora con alta succión, no deben ser utilizadas. Si se utilizan, existe el riesgo real de perder arena de las juntas entre los adoquines.

LIMPIEZA DEL PAVIMENTO

Suciedad y desperdicios en general

Para remover la suciedad y los desperdicios en general, se recomienda cepillado regular. Si la suciedad reduce el color del material, éste puede ser reestablecido cepillando con agua tibia y jabón. Se puede hacer a mano o utilizando una máquina limpiadora industrial. Asegúrese que se ha sacado todo el jabón de la superficie al terminar la limpieza. El agua sobrante se debe llevar cuidadosamente a los puntos de drenaje o a recipientes donde se pueda botar con seguridad. Si se utiliza manguera a

presión, se debe tener en cuidado en evitar remover el material de la junta, ya sea arena o mortero.

Musgo, liquen, algas

Por lo general, no crece musgo, liquen o algas sobre la arcilla, concreto o piedra natural a no ser que el área sea demasiado sombreada, esté bajo los árboles o no se le haya generado la pendiente adecuada. Si crecen y se consideran indeseables, el área se debe tratar con matamalezas, siguiendo las indicaciones del productor. Estos productos se demoran algunos días para mostrar su efectividad, y son más efectivos cuando se utilizan en tiempo seco. El lavado obra mucho mejor cuando se han arrancado primero todos los retoños y después se cepilla bien con el matamaleza. Algunos tratamientos dejan un residuo para evitar la reaparición del musgo y las algas, pero esto sólo será parcialmente efectivo si se continúa con las mismas condiciones circundantes, con el pavimento húmedo y a la sombra.

Manchas de moho

Primero hay que emprender acciones para eliminar el origen de estas manchas. Para remover las manchas de moho, se debe mojar primero la superficie y después aplicar al área tratada una solución al 10% de ácido clorhídrico o similar. Sin embargo, el ácido ataca el concreto y puede dejar el área un poco áspera, de tal manera que se debe ser cuidadosos cuando se utilice este tratamiento, y se deben seguir, al pie de la letra, las instrucciones del productor. Después de la limpieza, el contaminante químico se debe botar de manera segura.

Manchas de aceite

El aceite penetra rápidamente en el concreto y en la piedra natural, pero no debe manchar si se remueve rápidamente con material absorbente, por ejemplo toallas de papel o tela. No restriegue durante la limpieza ya que esto llevará el aceite a más adentro y extenderá la mancha a un área de contaminación mayor. Si la mancha persiste, se debe utilizar una emulsión para limpieza de grasa. Cepille con la adición del limpiador sobre el área afectada y déjelo actuar por un período de acuerdo con las instrucciones del fabricante, y luego enjuague la emulsión y el aceite con suficiente agua. Alternativamente, la superficie puede ser cepillada con la adición de un detergente fuerte y después lavada con agua caliente. Sin embargo, se debe tener cuidado ya que este tratamiento puede ocasionar la pérdida de algo de pigmento de los productos de concreto.

Manchas de asfalto

El asfalto no penetra fácilmente en el concreto, la arcilla o piedra natural. El mejor Método para remoción es dejar que el asfalto se enfríe. Después se puede remover con sólo una espátula para raspar pintura o algún otro medio mecánico. Si la mancha persiste, se puede proceder a utilizar hielo, para que el asfalto se vuelva más quebradizo antes de rasparlo del pavimento. Cualquier residuo debe ser removido con un polvo abrasivo y al final, lavar toda el área con agua limpia. Se pueden conseguir ciertos limpiadores con propiedades para remover el asfalto, pero deben ser probados en un área de pavimento apartada antes de utilizarse.

Manchas de pintura y grafitos

Ambas son difíciles de remover. La pintura fresca debe ser empapada con un material absorbente, sin restregarla, pues esto la regaría más. Después se debe tratar con un disolvente apropiado, como el “thinner” y lavar el área con un producto removedor de grasa, teniendo cuidado al deshacerse del líquido residual.

En cuanto a la pintura seca, se debe raspar primero, tanto como sea posible, y después aplicar un removedor de pintura apropiado. Este se debe hacer siguiendo estrictamente las indicaciones del fabricante. Los fabricantes de pintura, a menudo están en capacidad de ofrecer información más detallada en cuanto a la remoción de grafitos y puede ser necesario consultarles en caso de áreas de vandalismo muy grandes.

Manchas de epóxicos y de poliéster

Las áreas de epóxico solidificado o de resinas de poliéster se pueden remover quemando cuidadosamente el área con una llama de soldador de acetileno. Se debe tener cuidado de no inhalar el vapor que se expela. Si después de que se quema persiste una mancha negra, se puede remover con agua y jabón. Para áreas mayores, se puede considerar la utilización de chorros abrasivos. Esto no afectaría la durabilidad del material, pero podría afectar la micro textura de la superficie. Es aconsejable hacer pruebas en áreas pequeñas antes de efectuar la operación a gran escala.

Manchas de humo, fuego y tabaco

Estas manchas se pueden remover normalmente estregando con agua y jabón. Donde persista la mancha, se puede utilizar una mezcla de blanqueador común, como el utilizado en los hogares, y polvo abrasivo. Cuando se utiliza blanqueador, es muy importante lavar bien el área cuando se finalice la limpieza y deshacerse, en forma segura, del líquido de desecho.

Manchas de bebidas

Estas se pueden remover generalmente estregando el área con agua jabonosa caliente. Si la mancha persiste, aplique un blanqueador común, como el utilizado en los hogares, y lave luego el área con agua limpia, teniendo cuidado de deshacerse, en forma segura, del líquido del desecho.

Goma de mascar

La goma de mascar es una de las sustancias más difíciles de sacar de la arcilla, el concreto y la piedra natural.

Una goma de mascar acabada de pegar sobre la superficie se puede remover fácilmente utilizando una espátula. La goma de mascar endurecida se puede remover mediante productos químicos, congelándola para poder despegarla, o raspándola con la espátula de la superficie del pavimento. Alternativamente, se puede también utilizar un sistema de limpieza con agua o vapor calientes para suavizar la goma de mascar y cuando esté suave, se raspa la superficie.

Marcas o huellas de las llantas de los vehículos

Se pueden remover normalmente mediante limpieza a vapor o estregando el área con la adición de agua caliente y una solución de detergente fuerte.

USO DE BARREDORAS MECANICAS EN AREAS PAVIMENTADAS PARA LIMPIEZA Y LAVADO

Las siguientes recomendaciones para la operación de barredoras de succión utilizadas para barrer cunetas, andenes, caminos y otras áreas peatonales y vías, tienen que ver con los vehículos asociados y su utilización.

- ◆ Cuando sea posible se debe reducir la presión de inflado de las llantas para reducir el riesgo de quebrar las losetas o adoquines.
- ◆ La llantas se deben inflar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, una vez más, para asegurar una distribución de peso reducida por unidad de área.
- ◆ Se debe utilizar cepillo de polipropileno, no de alambre.
- ◆ La presión de los cepillos de limpieza se debe ajustar a las mínimas requeridas para la tarea recomendada.

Por ejemplo, las superficies limpiadas con regularidad, requieren una presión menor que aquellas limpiadas de vez en cuando o cubiertas con depósitos pesados de suciedad.

- ◆ Durante la limpieza, las revoluciones del motor se deben mantener al mínimo requerido para mantener la presión de succión.
- ◆ Los operadores debe recibir entrenamiento acerca de las recomendaciones de los fabricantes; y se debe revisar, con regularidad, la presión de inflado de las llantas y el estado de los cepillos.
- ◆ Se les debe aconsejar a los operadores que cuando el equipo está parado o desatendido, se deben apagar los motores de succión, de rotación de cepillos y de salida de agua. Esto evitará el riesgo de daño del área bajo el equipo estacionado.
- ◆ En áreas nuevas o vueltas a colocar, se debe llegar a acuerdos con las autoridades viales locales sobre un período de limpieza manual, para poder dejar que las losetas o adoquines se acomoden y las juntas se sellen. Este período puede ser reducido utilizando pegas con base de agua o sellantes de prepolímeros elastoméricos y mediante un acuerdo con las autoridades de limpieza acerca de un régimen apropiado para esta actividad.
- ◆ Cuando se utilizan para la limpieza equipos de chorro de agua, los chorros se debe dirigir a la superficie a un ángulo no mayor de 30° y en sentido diagonal a las juntas (no paralelo a ellas), utilizando una solución con altas concentraciones de detergente. Se debe revisar el área después de haber realizado la limpieza para verificar que las juntas estén llenas.

IV. DISEÑO DEL PAVIMENTO

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Una de las características únicas del comportamiento de los adoquines es la estructura mecánica de la trabazón, que es un beneficio estructural, la cual lleva a que la superficie adopte un modo de funcionamiento similar al de un material flexible convencional.

Se ha caracterizado la trabazón a través de sus tres componentes: rotacional, vertical y horizontal; determinándose de la forma siguiente:

Trabazón vertical: esta dada por el material de lleno de las juntas.

Trabazón rotacional: se logra por la provisión de los confinamientos laterales.

Trabazón horizontal: está dado por el uso del patrón de espina de pescado o posiblemente, por el uso de adoquines con formas adecuadas.

Un pavimento que tenga trabazón completa puede soportar altos niveles de aplicación de cargas.

En el caso de existir la trabazón, la definición de trabazón manifiesta: si los adoquines próximos no pueden moverse independientemente unos de los otros, la capa de arena debajo de ellos tiene que soportar valores de esfuerzos de compresión verticales similares a lo largo de los límites entre adoquines, dado que cualquier

diferencia en los esfuerzos vecinos, llevaría a deformaciones diferenciales en la capa de arena y a la pérdida de la trabazón vertical.

En la capa de arena los esfuerzos de compresión ocurren sólo en una esquina de la cara inferior del adoquín y los esfuerzos cero ocurren en las tres esquinas restantes. A medida que la huella de la carga ocupa progresivamente más área superficial del adoquín, se logra que los esfuerzos sean de compresión en dos esquinas del adoquín. Eventualmente, en el régimen de esfuerzos vertical, la huella de la carga se arrastra o se mueve lentamente hacia dentro del adoquín, entonces las tres esquinas presentan esfuerzos de compresión sobre la capa de arena. Finalmente se desarrolla esfuerzo de compresión en cada una de las cuatro esquinas en la capa de arena, en el régimen de esfuerzos verticales.

Los procedimientos de diseño para pavimentos de adoquines se basan en hacer equivalentes los adoquines con los materiales tradicionales de construcción de pavimentos flexibles.

Los pavimentos con adoquines de concreto por su comportamiento estructural se asemejan a los pavimentos flexibles, pero según sean las capas inferiores que lo componen siendo estas más o menos rígidas, se consideran un caso intermedio entre los pavimentos flexibles y rígidos. La transmisión de cargas verticales entre los bloques, que es lo que determina el grado de flexibilidad o rigidez del pavimento, se realiza por rozamiento, a través de la arena fina situado entre las juntas, por consiguiente una serie de aspectos consecutivos, como la separación entre los

adoquines afectaran al comportamiento del pavimento como se muestra en el figura de tipos de comportamiento.

En términos compresibles en un pavimento de adoquines de concreto, ya que la transmisión de los esfuerzos verticales se realiza por rozamiento, a través de una arena fina de sellado que se coloca entre las juntas entre los bloques, las acciones horizontales del pavimento debe de estar confinadas lateralmente, mediante elementos rígidos como lo son los bordes de confinamiento tales como bordillos, cunetas de concreto, etc. Para esta función, desempeña un papel fundamental la arena de sellado, limitando los desplazamiento individuales de los bloques.

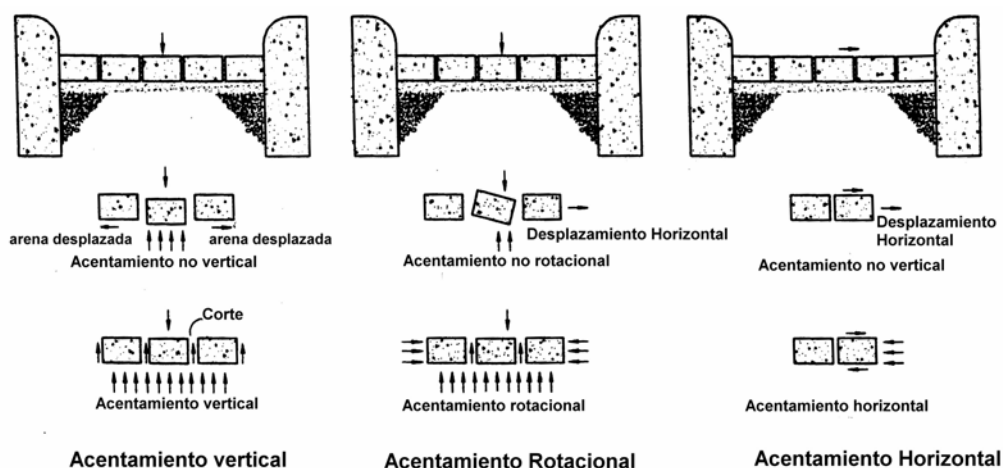


Figura IV.A

Tipos de Comportamiento Estructural: Vertical, Rotacional y Horizontal

ANÁLISIS DEL TRANSITO

En los procedimientos de diseño, la estructura de un pavimento es considerada como un sistema de capas múltiples y los materiales de cada una de las capas se caracterizan por su propio Módulo de de Resiliencia.

Conversión De Transito En ESAL´s según Tabla de Diseño

El cálculo de ESAL´s está elaborado por el método riguroso según la tabla IV.A, para poder tener un mayor análisis del tipo de tráfico y poder dar datos más verosímiles para el diseño de los pavimentos con adoquines de concreto.

Tabla IV.A

Cálculo de ESAL´s por el Método Riguroso de la AASHTO

CÁLCULO DE ESAL's						
UBICACIÓN:			PERÍODO DE ANÁLISIS (AÑOS)			
			TASA DE CRECIMIENTO (%)			
TPDA						
TIPO DE VEHICULO	% DE VEHICULOS	TRÁFICO ACTUAL	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRÁFICO DE DISEÑO	FACTOR DE EJE EQUIVALENTE	ESAL's DE DISEÑO
AUTOMÓVIL						
PICKUP						
C2						
C3						
C4						
T2-S1						
T2-S2						
T2-S3						
T3-S1						
T3-S2						
T3-S3						
T2-S1-R1						
T2-S2-R2						
T2-S3-R3						
T3-S1-R1						
T3-S2-R2						
T3-S3-R3						
					ESAL's DE DISEÑO	
FACTOR DE CARRIL						
FACTOR DE SENTIDO						
ESAL's Por Carril de Transito						

Donde:

- C2 Camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple direccional y un eje simple de tracción
 - C3 Camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple direccional y un eje de doble rueda de tracción
 - C4 Camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple direccional y un eje de triple rueda de tracción
 - T2-S1 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje simple de tracción y un eje simple de arrastre (semiremolque)
 - T2-S2 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje simple de tracción y un eje de doble rueda de arrastre (semiremolque)
 - T2-S3 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje simple de tracción y un eje de triple rueda de arrastre (semiremolque)
 - T3-S1 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje simple de arrastre (semiremolque)
 - T3-S2 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje doble rueda de arrastre (semiremolque)
 - T3-S3 Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje triple rueda de arrastre (semiremolque)
- Y así sucesivamente.

Tráfico Actual:

Es el volumen diario contado para cada vehículo tipo.

Factores de Crecimiento:

Es el factor de Crecimiento para cada tipo de vehículo. El factor de crecimiento depende de la tasa de crecimiento y del periodo de análisis y se obtienen de la tabla IV.B de factores de crecimiento de tránsito. Cada tipo de vehículo puede tener una tasa de crecimiento distinta, dado que no tiene porque crecer al mismo tiempo.

Tabla IV.B

FACTORES DE CRECIMIENTO DE TRANSITO								
Periodo de Análisis (Años)	Factor sin Crecimiento	Tasa de Crecimiento Anual %						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	18.29	19.60	21.02	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.54
18	18.00	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	29.78	33.07	36.79	41.00	45.76	57.27
25	25.00	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.00	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.00	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

En la columna del Factor de crecimiento = $((1+q)^n - 1)/100$ donde Y no debe ser nula. Si esta es nula el factor es igual al periodo de

Tráfico de Diseño:

La multiplicación de la columna de tráfico actual por la columna de factores de crecimiento multiplicada por 365 días nos da la columna del tráfico de diseño que no es más que la cantidad acumulada de vehículos de cada tipo en el período de análisis.

Factores de Eje Equivalente:

Se obtiene por medio de las tablas de diseño de pavimento flexibles proporcionado por la AASHTO y que dependen de cada peso y configuración o tipo de camión (ejes simples, tandem o tridem) y los valores asumidos de índice de servicialidad final y el número estructural (SN para pavimentos flexibles).

ESAL's:

Es el producto del tráfico de diseño por el factor de eje equivalente, y la sumatoria total es el número total de ESAL's para el diseño del pavimento a considerar y el cual debe afectarse por el factor de distribución por dirección y el factor de dirección por carril.

Factor de Distribución por Dirección. (Factor de Sentido)

Es el factor del total del flujo vehicular, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; pues la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede ser que una dirección el flujo sea mayor que en la otra, lo cual puede obtenerse por conteos vehiculares o de la tabla IV.C:

Tabla IV.C**Factor de Sentido**

Número de Carriles en Ambas Direcciones	% LD
2	50
4	45
6 o más	40

Factor de Distribución por Carril (Factor de Carril)

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril, para calles de varios carriles, el de diseño será el extremo, por el hecho de que los vehículos pesados viajan por ese carril ó de la tabla IV.D:

Tabla IV.D**Factor de Carril**

Número de Carriles en una sola Dirección	LC
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Criterios de adopción de niveles de servicialidad:

En el diseño de pavimentos se deben elegir la servicialidad inicial y final. La servicialidad inicial P_o , es función del diseño de pavimento y de la calidad de la construcción. La servicialidad final P_f , es función de la categoría del camino y es

adoptada en base a éstas y al criterio del proyectista, los valores recomendados según la AASHTO son:

Servicialidad inicial:

$P_o = 4.2$ Para Pavimentos Flexibles (Nuestro Caso)

Servicialidad Final:

$P_f = 2.5$ o más para caminos muy importantes

$P_f = 2.0$ para caminos de menor tránsito

No es práctico, ni económico la colocación de capas de un espesor menor que el mínimo requerido. Además las capas de un cierto espesor por encima de un mínimo son más estables. Los espesores mínimos en función del SN (Número estructural), están basados en el concepto de capas granulares no tratadas y deben estar protegidas de tensiones verticales excesivas que les producirían deformaciones permanentes (ver figura IV.B).

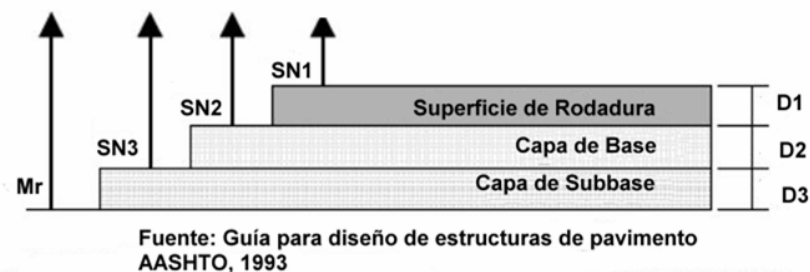


Figura IV.B

Procedimiento para Determinar el Espesor

FUNCIONAMIENTO

En los pavimentos con adoquines de concreto, se determina todo aquello que en su diseño u organización da la facilidad, utilidad y comodidad para el tipo de tráfico a que estará sometido en su vida útil.

- ◆ Cada adoquín transfiere las cargas verticales, horizontales y torsionales a los demás adoquines que se encuentran a su alrededor (área de influencia)
Rodadura homogénea y flexible como se muestra en la figura IV.C

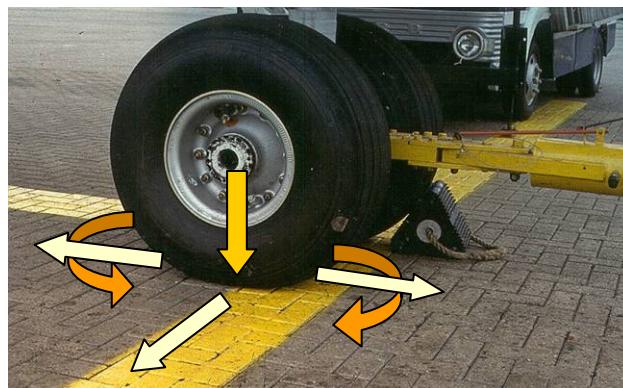


Figura IV.C

Transferencias de Carga

El pavimento de adoquines de concreto se comporta como una estructura flexible, en función del espesor y rigidez de las capas de base y sub-base que se le coloquen.

- ◆ En la capa de rodadura, cada adoquín transfiere parte de la carga o empujes, impuestos por el tráfico, a los adoquines circundantes y esos, a su vez, a los que

los rodean, hasta un diámetro cercano a 60 cm. En esto tiene una importancia radical la calidad de la obra.

- ◆ Una adecuada transferencia de carga requiere (ver figura IV.D)
 - Unidades con dimensiones precisas.
 - Juntas pequeñas (alrededor de 2.5mm a 5mm) y llenas.
 - Compactación adecuada de todo el conjunto.

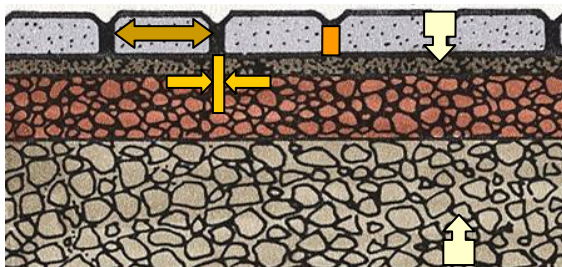


Figura IV.D

Transferencias de Carga

- ◆ Para la estabilidad del pavimento de adoquines no es suficiente contar con adoquines de buena resistencia y durabilidad sino que sus tolerancias dimensionales estén dentro de los límites permisibles.
- ◆ Adicionalmente, un proceso cuidadoso de diseño estructural sólo podrá dar los resultados esperados si en el proceso constructivo se mantuvieron las premisas básicas de juntas estrechas y bien llenas de material para facilitar la transferencia de carga.

DISEÑO POR EL MÉTODO DEL ICPI

PARAMETROS DE DISEÑO ESPECÍFICOS

a) Medio Ambiente:

Es un hecho que humedad y la temperatura afectan significativamente el pavimento; sin embargo si fuera necesario esto se puede evitar con un tratamiento de estabilización del suelo, o determinar unas buenas condiciones de drenaje y el problema quedaría resuelto.

b) Tráfico:

- Se diseña para una vida útil de pavimento de 20 años
- Todas las diferentes cargas de ejes de los vehículos son expresadas como diseño de una carga de eje equivalente.
- Los efectos diseñados combinados de varias cargas de ejes son iguales al efecto dañino de 18Kips (80KN). Repeticiones equivalentes de ejes únicos ESAL's; según se muestra en el tema (ANALISIS DEL TRANSITO) para un calculo riguroso del tipo de carga que pasara sobre una arteria a diseñar.
- Factores de Diseño de otras cargas de eje se muestran en la tabla IV.E, factores de daño de eje de carga.

Tabla IV.E

Factores de Daño de Eje de Carga			
Eje Único		Eje Doble	
Kips (kN)	Factor de Daño	Kips (kN)	Factor de Daño
2 (9)	0.0002	10 (44)	0.010
6 (27)	0.010	14 (62)	0.030
10 (44)	0.080	18 (80)	0.080
14 (62)	0.340	22 (98)	0.170
18 (80)	1.000	26 (115)	0.340
22 (98)	2.440	30 (133)	0.630
26 (115)	5.210	34 (157)	1.070
30 (133)	10.030	38 (169)	1.750
34 (157)	17.870	42 (186)	2.750
38 (169)	29.950	46 (204)	4.110

- Si no hay disponible una información de tráfico detallada se puede usar la tabla; diseño típico de ESAL's como guía general, que incluye ESAL's típicos como una función de clases de carretera
- Por confiabilidad (nivel de conservacionismo),

$$\text{ESAL's ajustado} = \text{FR} \times \text{ESAL's}$$

Donde FR = Factor de confiabilidad tomado de la tabla IV.F diseño típico de ESAL's

Tabla IV.F

Diseño Típico ESAL´s			
Clase de Carretera	ESAL´s (millones)	Factor de seguridad	Diseño ESAL´s (millones)
Arteria o Calle Principal			
Urbana	7.500	3.775	28.400
Rural	3.600	2.929	10.600
Colector Principal			
Urbana	2.800	2.929	8.300
Rural	1.500	2.390	3.500
Colector Secundario			
Urbana	1.300	2.390	3.000
Rural	0.550	2.390	1.300
Locales Comerciales/Multifamiliares			
Urbana	0.430	2.010	0.840
Rural	0.280	2.010	0.540

Se asume 20 años de vida de diseño

c) Apoyo del suelo de la subrasante o Capacidad de Soporte de la Subrasante:

Las pruebas de laboratorio a realizarse para el estudio del suelo donde irá el pavimento a diseñar son:

- a. Módulo de Resiliencia (Mr)
- b. CBR húmedo en la explanada típica para evaluar su resistencia.

En ausencia de laboratorio se han asignado valores típicos de Mr en el Sistema Unido de Clasificación de Suelo SUCS (según tabla SUCS tipo de suelo), ASTM D2487, o los sistemas de clasificación de suelo de la AASHTO (según tabla AASHTO tipo de suelo). Se prevén valores de módulos por cada tipo de suelo SUCS o AASHTO dependiendo de las condiciones anticipadas de drenaje y medioambiente en el sitio. Según tabla IV.I, condiciones de drenaje da los valores Mr generales apropiados. La

tabla IV.G, SUCS tipo de suelo y la tabla IV.H, AASHTO tipo de suelo dan los valores reducidos (ultima columna a la derecha) la acción congelante para climas fríos.

- La compactación de la subrasante durante la construcción debe de ser al menos 98% de AASHTO T-99 o ASTM D698, para suelos cohesivos (barro) y de al menos 98% AASHTO T180 o ASTM D1557 para suelos no cohesivos (arenosos o con grava).
- La profundidad efectiva de compactación para todos los casos debe ser al menos las 12" o superiores a 300mm.
- Los suelos que tiene un $M_r = 4500\text{psi}$ (31Mpa) o menos (CBR 3%), deben ser evaluados para ya sea reemplazo con un material con mayor resistencia, instalación de una capa a la subbase, mejoramiento por estabilización o uso de geotextiles.

Tabla IV.G

Resistencia de la Subrasante como una función de SUCS del tipo de suelo. $10^3 \text{ psi} = 6.94 \text{ Mpa}$				
SUCS tipo de suelo	Modulo de Resiliencia (10^3 psi)			Modulo reducido (10^3 psi)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	
GW, GP, SW, SP	20	20	20	N/A
GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC	20	20	20	12
GM, GM-GC, GC, SW-SM, SW-SC	20	20	20	4.5
SP-SM	20	20	20	9
SP-SC	17.5	20	20	9
SM, SM-SC	20	20	20	4.5
SC	15	20	20	4.5
ML, ML-CL, CL	7.5	15	20	4.5
MH	6	9	12	4.5
CH	4.5	6	7.5	4.5

Tabla IV.H

Resistencia de la Subrasante como una función de AASHTO del tipo de suelo. 103 psi = 6.94 Mpa				
AASHTO tipo de suelo	Modulo de Resiliencia (103 psi)			Modulo reducido (103 psi)
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	
A-1-a	20	20	20	N/A
A-1-b	20	20	20	12
A-2-4, A-2-5, A-2-7	20	20	20	4.5
A-2-6	7.5	15	20	4.5
A-3	15	20	20	9
A-4	7.5	15	20	4.5
A-5	4.5	6	9	4.5
A-6	4.5	10.5	20	4.5
A-7-5	4.5	6	7.5	4.5
A-7-6	7.5	15	20	4.5

Tabla IV.I

Opciones ambientales y de desagüe para las características de la subrasante				
Calidad de Drenaje	Duración de porcentaje del pavimento expuesto a humedad a niveles de saturación			
	<1%	1 a 5%	5 a 25%	>25%
Excelente	3	3	3	2
Bueno	3	3	2	2
Adecuado	3	2	2	1
Pobre	2	2	1	1
Muy pobre	2	1	1	1

d) Materiales del Pavimento

Se establece:

- Tipo
- Resistencia
- Espesor. (Ver tabla IV.J)

De todos los materiales de pavimentos disponibles.

- Las bases agregados triturados o bases estabilizadas; son generalmente apropiadas para pavimentos con adoquines de concreto.
- Si no existieran estas bases se puede utilizar las bases estándar de ASTM D2940.
- Para bases de agregados sueltos los requerimientos mínimos recomendados son: CBR =80%, para sub-bases = CBR de 30%
- Para material base con material granular
Índice Plástico: $IP \leq 6$
Límite Líquido: $LL < 25$
Compactación para la densidad $\geq 98\%$ según AASHTO T180
- Para material súbbase granular suelto
Índice Plástico: $IP < 10$
Límite Líquido: $LL < 25$
Compactación para la densidad $\geq 98\%$ según AASHTO T180
- Para material Base tratada con asfalto
El material debe cumplir con las especificaciones de asfalto definidas, bien compactado y de gradación densa, (Estabilidad Marshall $\geq 1800\text{lb}$ (8000N))
- Para Material Base tratada con cemento.
Resistencia compresiva no confinada de siete días $\geq 650\text{Psi}$ (4.5Mpa)

Tabla IV.J**Espesores de Base Mínimos Recomendados.**

BASES	ESPEORES MÍNIMOS
- Capas de material granular	4" (100mm)
- Tratadas con asfalto	3" (75mm)
- Tratadas con cemento	4" (100mm)
- Base con agregado CBR= 80% ESAL`s < 500,000 (Nivel de tráfico bajo)	4" (100mm)
- ESAL`s > 500,000 (Nivel de tráfico alto)	6" (150mm)
la capa de arena debe de ser consistente en todo el pavimento	<= 1.5" (40mm); capa de arena, después de la compactación. Y granulometría según ASTM C33, los rangos establecidos son: 3/4" >= capa de arena <= 1/2mm  20mm >= capa de arena <= 40mm

Arena de las Juntas

La arena entre las juntas proporciona a los pavimentos con adoquines de concreto una distribución de cargas verticales y horizontales.

La gradación mínima es de 100% pasado en el tamiz N 16

La gradación mínima 10% pasado en el tamiz N200

- Los pavimentos de concreto deben de cumplir con la ASTM C936
- Se recomienda un espesor de pavimento mínimo de 3.15 " (80mm) para todos los pavimentos de tráfico vehicular, **excluyendo las vías residenciales**
- El endurecimiento progresivo o entrelazado ocurre generalmente al inicio de la vida del pavimento antes de los 10,000 ESAL`s
- Cuando el ESAL`s es >= 10,000 el $M_r = 450,000\text{Psi}$ (3100Mpa) esto es para los pavimentos gruesos de 80mm y 1" (25mm) de arena estratificada lo cual es equivalente a un espesor de asfalto = 0.44" (25mm).

Curvas de Diseño Estructural:

Las figuras A, B y C son las curvas de diseño de espesor base para:

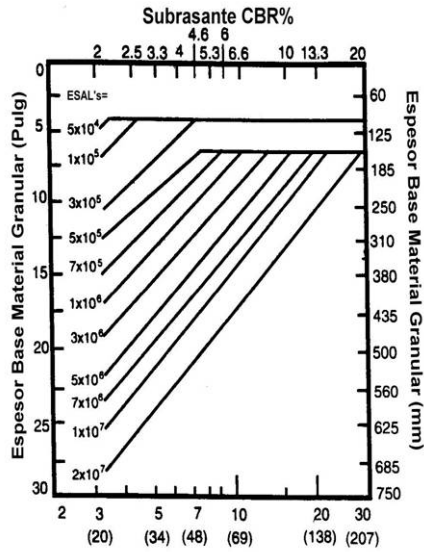
- Material granular
- Asfalto
- Cemento

Los espesores en las figuras son una función de la resistencia de la subrasante M_r o CBR y ESAL's, por lo que utilizaremos los siguientes pasos ya simplificados para determinar los espesores de los pavimentos:

- 1) ESAL's de Diseño.
- 2) Se determina las características de la subrasante a partir de los datos de laboratorio, si no ver las tablas específicas para un estimado de M_r o CBR.
- 3) Con los valores de M_r y CBR y ESAL's se determina el espesor requerido de la base con las figuras A, B y C dependiendo del material base requerido.

Curvas de Diseño de Espesores

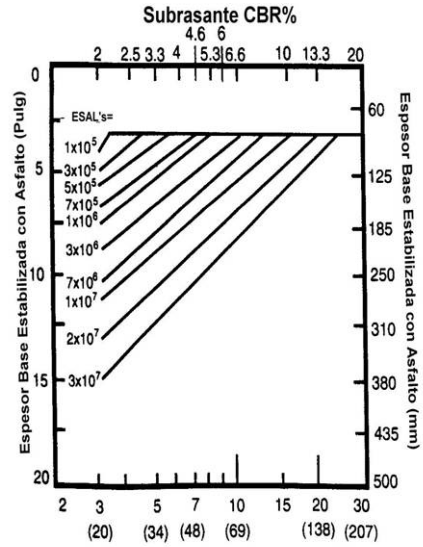
Figura A



MODULO DE RESILIENCIA X 10³ PSI (Mpa)

Base de Material Granular

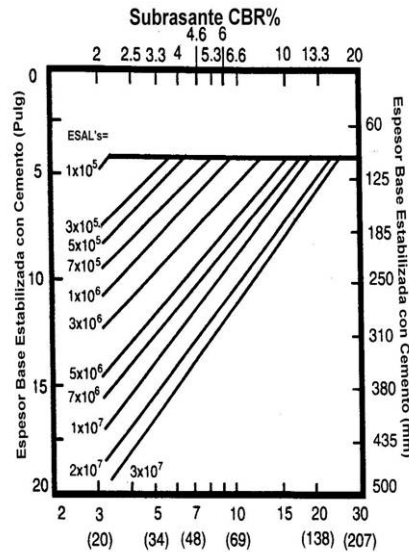
Figura B



MODULO DE RESILIENCIA X 10³ PSI (Mpa)

Base Estabilizada con Asfalto

Figura C



MODULO DE RESILIENCIA X 10³ PSI (Mpa)

Base Estabilizada con Cemento

Si el espesor de base estimado excede los requerimientos de espesores puede ser sustituido por una capa de material granular de menor calidad de la subrasante; determinando valores equivalentes ya establecidos como se ve a continuación en la tabla IV.K.

Tabla IV.K

Equivalencia de Espesores

<u>Valor Obtenido</u>	<u>Valor Equivalente</u>
1" (25mm) de base agregado	1.75" (45mm) de material sub-base de material granular.
1" (25mm) de base tratada con asfalto	3.40" (85mm) de material súbbase de material granular)
1" (25mm) de base tratada con cemento	2.50" (65mm) de súbbase de material granular.

EJEMPLO

Datos de diseño:

El proyecto consiste en pavimentar calles y avenidas de una urbanización con longitud aproximada de 1Km, con ancho variable de 7.7m, 7.0m y 6.5m se trata de determinar el espesor del pavimento y una alternativa de solución; vida útil del proyecto es de 25 años, no se considerará el crecimiento vehicular por ser un proyecto residencial, ni tampoco congelamiento. La calidad del drenaje se considera buena.

Considerando un invierno de 10 días de lluvia continua se obtiene el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Teniendo un censo vehicular del tipo de tráfico en el lugar tenemos la tabla IV.L

Tabla IV.L
Censo Vehicular

Tipo de Vehículo	Carga en eje simple delantero y trasero respectivamente en Kips	Servicialidad Final	Número estructural	Factor de eje equivalente
Automóvil	2.31	2.0	3.0	0.000479
	2.31	2.0	3.0	0.000479
Pick-Up	7.30	2.0	3.0	0.02725
	7.30	2.0	3.0	0.02725
C2	18.56	2.0	3.0	1.0224
	18.56	2.0	3.0	1.0224
C3	11.50	2.0	3.0	0.16425
	11.50	2.0	3.0	0.16425

Ejemplo de cálculo de factor equivalente:

De la tabla de la AASHTO con $P_t = 2.0$, Y Número Estructural = 3 podemos encontrar los factores equivalentes de la forma siguiente con la formula de interpolación:

$$Y = \left[\frac{(Y_1 - Y_0)(X - X_0)}{(X_1 - X_0)} \right] + Y_0$$

Donde:

X_0 = Valor de carga menor

X_1 = Valor de carga mayor

X = Valor de carga por eje

Y_0 = Valor de eje equivalente correspondiente a la carga menor

Y_1 = Valor de eje equivalente correspondiente a la carga mayor

Para el tipo de vehículo Automóvil:

Eje delantero simple:

$$Y = \left[\frac{(0.002 - 0.0002)(2.31 - 2.0)}{(4 - 2)} \right] + 0.0002$$

$$Y = 0.000479$$

Eje trasero simple:

$$Y = \left[\frac{(0.002 - 0.0002)(2.31 - 2.0)}{(4 - 2)} \right] + 0.0002$$

$$Y = 0.000479$$

Total de eje equivalente = $0.000479 + 0.000479 = 0.000958$

Para el tipo de vehículo Pick-Up:

Total de eje equivalente = $0.02725 + 0.02725 = 0.0545$

Para el tipo de vehículo C2:

Total de eje equivalente = $1.0224 + 1.0224 = 2.0448$

Para el tipo de vehículo C3:

Total de eje equivalente = $0.16425 + 0.16425 = 0.3285$

Solución:

ESAL´s de Diseño.

Tabla IV.M

CÁLCULO DE ESAL's						
UBICACIÓN:				PERÍODO DE ANÁLISIS (AÑOS)	25	
TPDA	124			TASA DE CRECIMIENTO (%)	0	
TIPO DE VEHÍCULO	% DE VEHÍCULOS	TRÁFICO ACTUAL	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRÁFICO DE DISEÑO	FACTOR DE EJE EQUIVALENTE	ESAL´s
AUTOMÓVIL	48.387	60.00	25.00	547,500	0.000958	525
PICKUP	50.000	62.00	25.00	565,750	0.0545	30,833
C2	0.806	1.00	25.00	9,125	2.0448	18,659
C3	0.806	1.00	25.00	9,125	0.3285	2,998
C4						
T2-S1						
					ESAL´s	53,014
FACTOR DE CARRIL		1				
FACTOR DE SENTIDO		0.5				
ESAL´s		26,507				

Se determina las características de la subrasante a partir de los datos de laboratorio, si no ver las tablas 3.6.1C y 3.6.1D para un estimado de Mr o CBR. Se aprecia que el tipo de suelo está conformado por material orgánico suelto en su primer estrato, luego se observa en un segundo estrato suelo arenoso compuesto por fragmentos de piedra, grava arena y material ligante, poco plástico que de acuerdo a la clasificación en el sistema unificado a un tipo de suelo SW, según tablas de diseño del método ICPI el valor de CBR es de 13.33%. Para este diseño se considera un invierno de 10 días de lluvia continua por lo que tenemos un porcentaje de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad a la saturación. %tiempo = $(10 \cdot 100) / 365 = 2.74\%$, La calidad del drenaje se considera buena.

Ver Pasos 1 y 2 en la tabla IV.N.

Determinando el espesor de la base requerida: Paso 3 según tabla IV.N.

Determinando alternativas de solución: Paso 4 según tabla IV.N.

Esquema de diseño del ejemplo, según figura IV.E.

Tabla IV.N

Solución del Ejemplo

Paso 1	Tabla 3.6.1E
	Calidad del drenaje se determina: Buena Porcentaje de saturación : 2.74% Opción: 3
Paso 2	Tabla 3.6.1C
	Modulo de Resiliencia : 20,000Psi según tipo de suelo SW CBR : $20,000/1500 = 13.33\%$ de acuerdo al tipo de suelo
Paso 3	Figura 3.6.1 ^a , 3.6.1B, 3.6.1C
	Determinamos el espesor de la base requerida Los espesores de base mínimos requeridos recomendados Espesor de base de material granular: 4 “ Espesor de la base estabilizada con asfalto = 3 “ Espesor de base estabilizada con cemento = 4 ”
Paso 4	Alternativas de solución considerando sub-bases equivalentes:
	Nota: No podría tener equivalencias ya que en el paso 3; ya se dan los valores mínimos recomendados.

Nota:

3. La cama de arena se determina en un espesor de 2.5 a 4cm
4. Por recomendación del método el espesor del pavimento mínimo es de 3.15” (80mm), para todos los pavimentos de tráfico vehicular, excluyendo las vías residenciales.

ESQUEMA DE DISEÑO

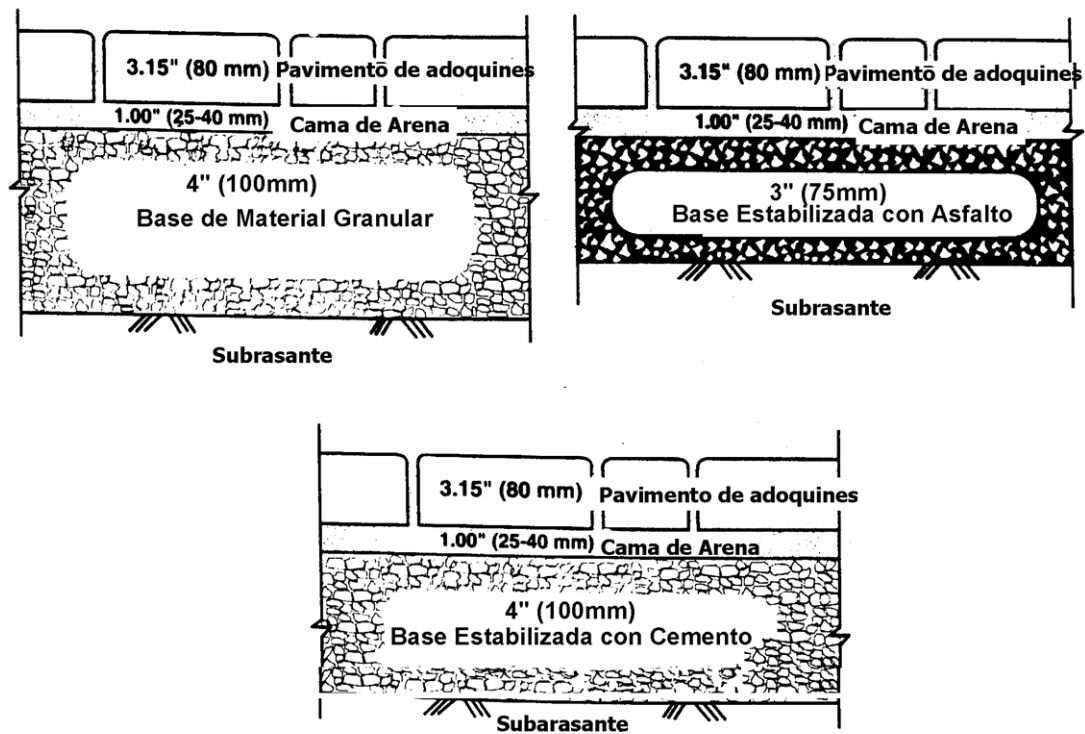


Figura IV.E

Sección Transversal del Pavimento

DISEÑO POR EL MÉTODO DEL CCA

PARAMETROS DE DISEÑO ESPECÍFICOS

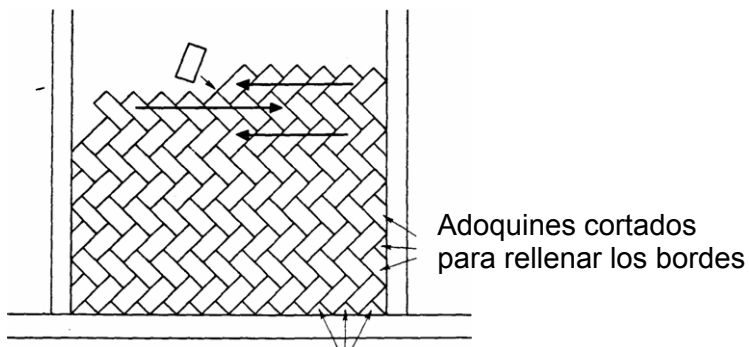
Elementos que conforman el pavimento

- a) Sub-base
- b) Base
- c) Plantilla – capa de 5cm de arena fina
- d) Adoquinado
- e) Confinamiento.

Estos cinco elementos sostienen la disposición de los adoquines. La base no es necesaria en los pavimentos que deban soportar un total menor de 1.5 millones de ejes estándar.

El adoquinado consta de adoquines que encajan perfectamente; los espacios entre ellos generalmente se encuentra entre 2 y 3mm se llenaran de polvo y partículas de arena, el método de diseño recomienda, que los adoquines rectangulares se deben de colocar solamente en forma de espina de pescado según se muestra en la figura IV.F.

Las flechas indican la dirección en que avanza la colocación de adoquines



Adoquines cortados para rellenar el espacio entre la hilera inicial y el borde del camino existente

Figura IV.F

Forma de Colocación de Adoquines Rectangulares

La influencia destructora de un vehículo, depende principalmente de las cargas axiales, por lo que se enumera la influencia nociva relativa a las cargas axiales de 900 a 18000Kg, y estas se comparan con un eje estándar de 8160Kg (cifra redondeada a 8000), a continuación se proporcionan gráficamente estos datos en la figura IV.G.

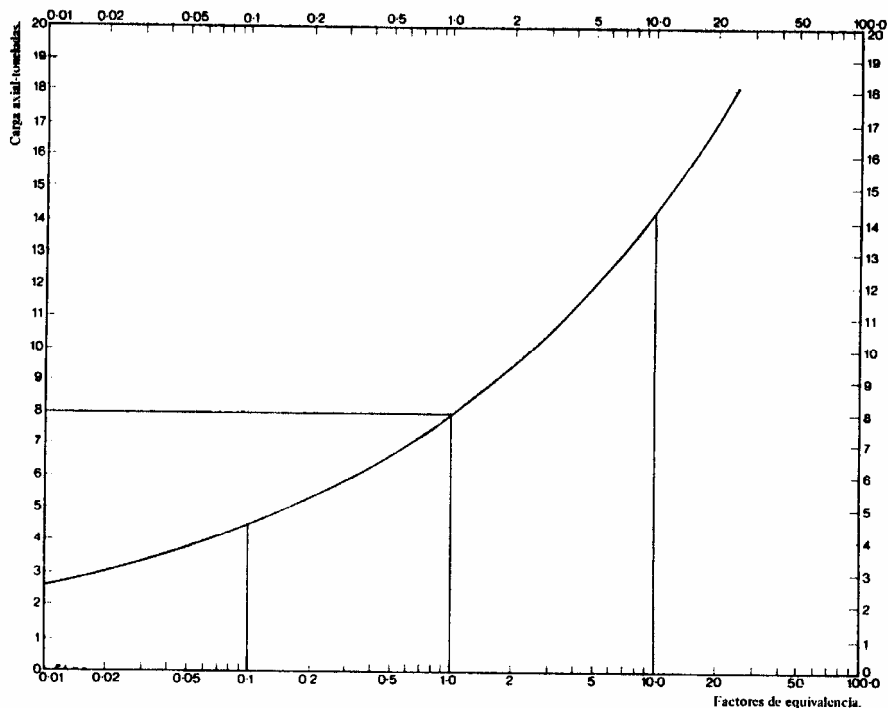


Figura IV.G

Influencia Desfavorable Relativa de las Diferentes Cargas Axiales

Conociendo el total de las cargas axiales individuales, estas pueden ser convertidas utilizando la figura anterior a un número de ejes estándar equivalentes.

Subrasante

La subrasante puede estar constituida por el terreno natural o por un material de terraplén. El Valor de Soporte de California (CBR) tiene una influencia decisiva en el diseño y en el comportamiento del pavimento, este método nos especifica que si el manto freático es de 60cm o menos bajo el nivel de la terracería, se debe adoptar el valor de CBR más bajo, para fines de diseño.

Se recomienda que cuando el valor de CBR de la subrasante pueda ser menor a un 5%, es necesario una capa adicional y esta debe tener un valor de CBR de por lo menos del 5% más que el de la subrasante.

Sub-Base

Si nos referimos a las normas de las Road Note 29, los pavimentos con adoquines de concreto se colocan sobre una sub-base, donde la base, la capa de arena y la superficie de rodadura se sustituyen con los adoquines y con 5cm de arena, por lo tanto se puede estimar el espesor de la sub-base, para cualquier subrasante y la duración esperada en diversos caminos, los cuales soportan hasta 1.5 millones de ejes estándar, según la Road Note 29 da la figura IV.H siguiente.

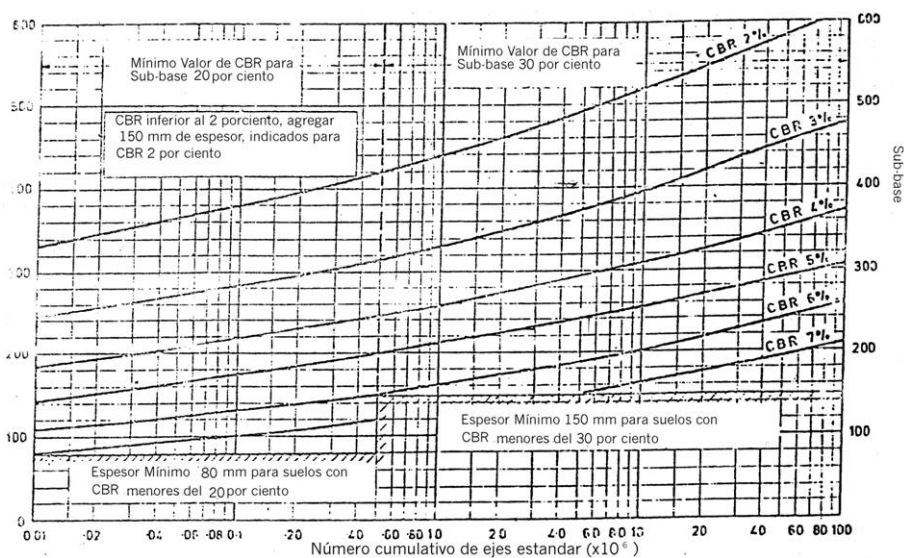


Figura IV.H

Relación %CBR y Sub-base

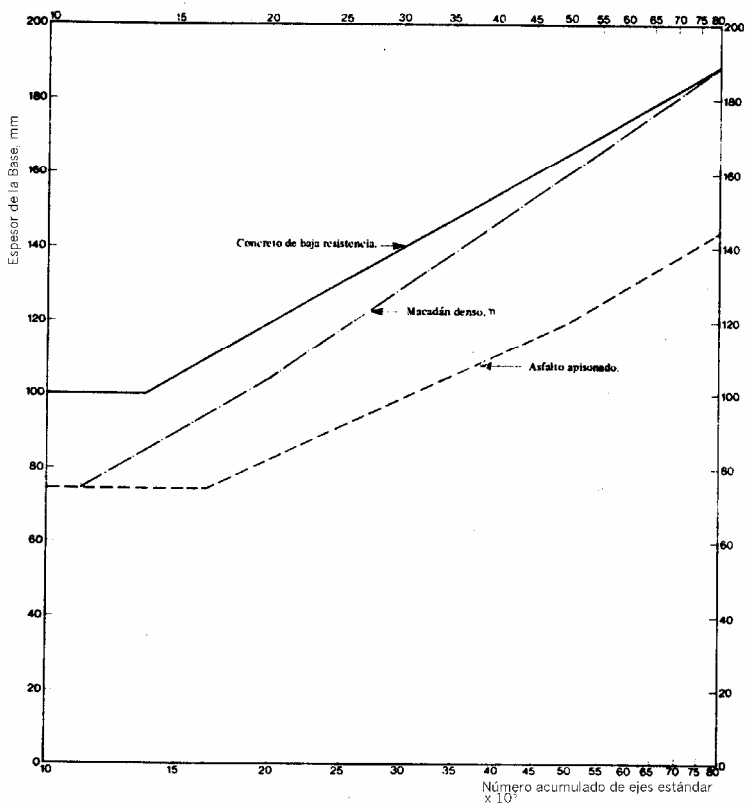
El acabado final de la sub-base no debe exceder el límite de $\pm 2\text{mm}$ del nivel especificado. Si la sub-base es transitada con frecuencia, seguramente obtendrá daños, los cuales hay que repararlos antes de la colocación de los adoquines, el acabado final de la superficie de la sub-base debe ser el mismo que cuando se termine el pavimento. Los valores calculados del CBR para las subrasante, abarcan un porcentaje del 2% hacia arriba.

Base

Es posible igualar las capacidades de carga del asfalto compactado, el macadán denso y de las bases hechas de concreto de baja resistencia, con las de su revestimiento.

Por lo tanto tenemos que si se hace la comparación al nivel de 1.5 millones de ejes estándar, se puede comprobar que una capa de 22.5cm de concreto y revestimiento de baja resistencia, una capa de 17cm de macadán y revestimientos densos, una carpeta de 16cm de asfalto compactado y los adoquines de concreto para pavimentación colocados sobre una plantilla de arena, tiene capacidades similares de carga.

En conclusión y deduciendo la capacidad equivalente de carga de los adoquines será posible el cálculo de espesores de cualquier base requerida entre aquellos, en los casos particulares que se presenten según figura IV.I.



Los espesores de base, requeridos bajo los adoquines, en pavimentos que soportan hasta 80 millones de cargas axiales estándar.

Figura IV.1

Forma de Cálculo de Bases

Por razones exclusivamente prácticas, las bases combinadas con cemento no deberán tener un espesor menor de 10cm y los materiales bituminosos no deberán tener un espesor menor de 7.5cm.

EJEMPLO

Un pavimento industrial deberá soportar 50 movimientos de un vehículo triaxial (vehículo de tres ejes) por día, dos de los ejes cargan 8,000kg cada uno y el tercero, 7,500kg. Otros vehículos de dos ejes, cada uno con una carga de 10,000kg, usaran el pavimento 160 veces en total por día. La duración del pavimento es de 20 años, y se toman en cuenta 300 días hábiles por año. La subrasante es una arcilla limosa y tiene un valor estimado CBR de 5%. El manto freático está un metro abajo del nivel de excavación, por medio de la figura siguiente determinamos, tanto los factores de equivalencia, como el número de ejes estándar por día (ver tablas IV.O, IV.P)

Solución:

- a) Encontrando el número de ejes estándar en la figura IV.J)

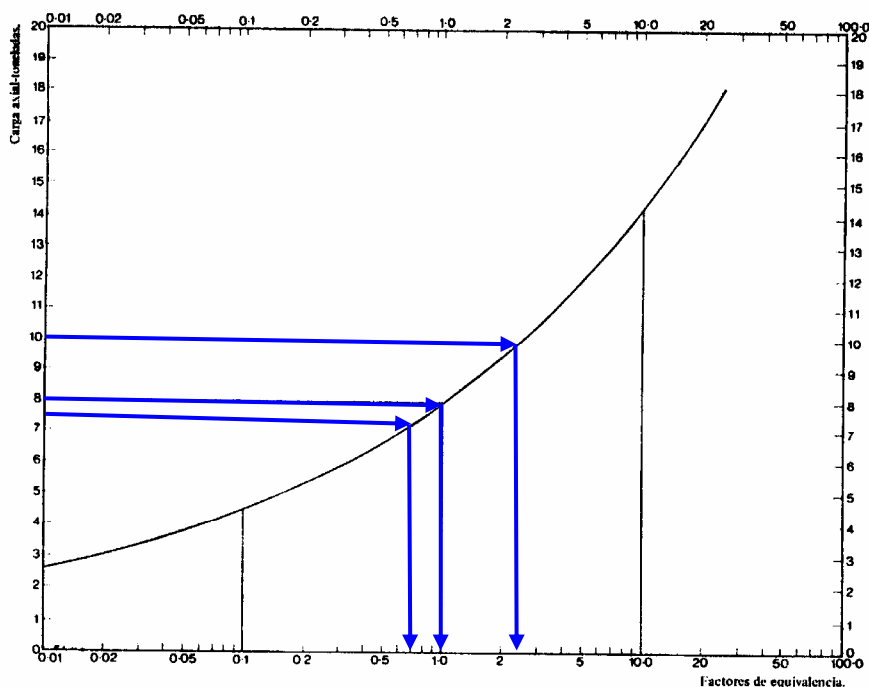


Figura IV.J

Influencia Desfavorable Relativa de las Diferentes Cargas Axiales

Tabla IV.O**Resumen de Datos**

Peso Vehículo/ Eje (kg.)	Movimientos/ Vehiculares	Número de/ Ejes	Factor de / Equivalencia	Ejes estándar/ Día
8000	50	2	1.0	100
7500	50	1	0.70	35
10000	160	2	2.5	800

Σ 935

Conversión de Unidades a Kips

1T = 1000Kg, 1Kips = 0.4536T

Tabla IV.P**Resumen de Datos**

Peso Vehículo en Kips	Movimientos Vehiculares	Número De Ejes	Factor de Equivalencia	Ejes estándar/ Día
17.64	50	2	0.92602	92.602
16.53	50	1	0.697915	34.90
22.05	160	2	2.5205	806.56

Σ 934.062

Considerando una servicialidad final (Pt) de 2.0, y número estructural (NS) de 1, con eje simple, encontramos los factores de equivalencia exactos de la carga vehicular. Para la vida útil de diseño tenemos:

Ejes estándar/día X Días hábiles X Período de diseño = 935 x 300 x 20

= 5610000 Ejes estándar

- b) Analizando la figura de la Road Note 29 obtenemos el espesor de la sub-base.

Con un CBR = 5%

Ejes estándar 5.61×10^6

Obtenemos el valor de 251cm de la figura IV.K)

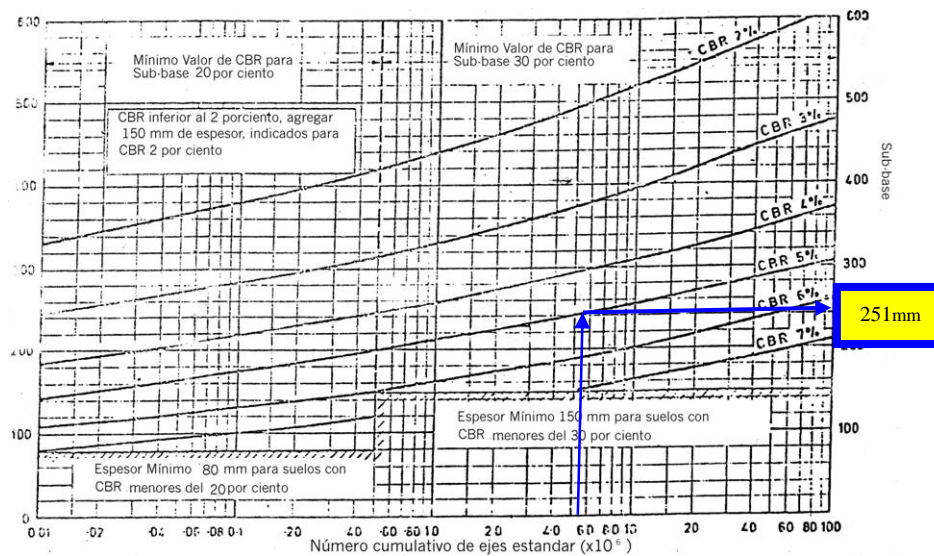


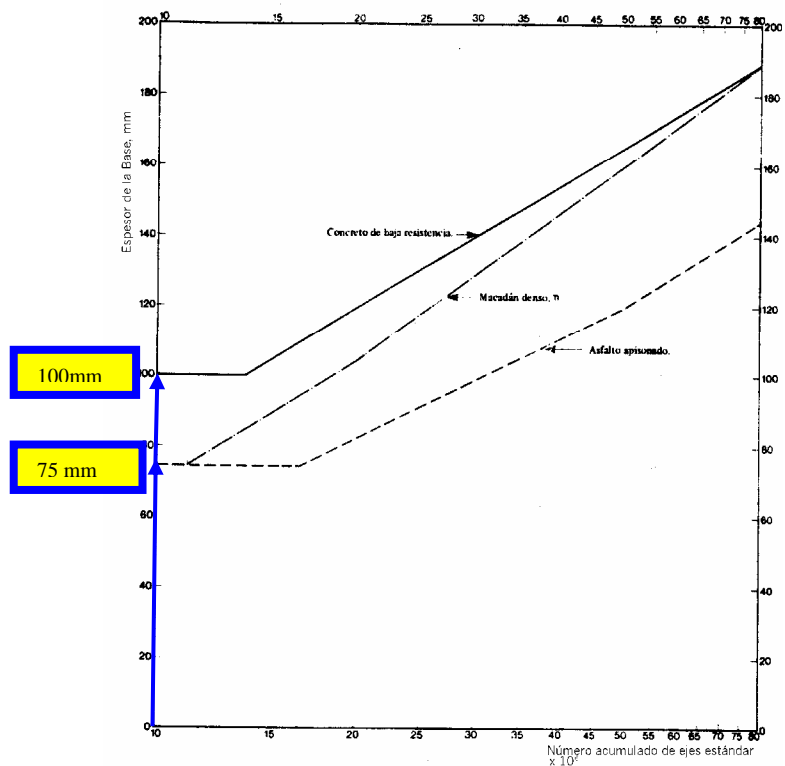
Figura IV.K

Relación %CBR y Sub-base

- c) Determinando el espesor de la base de la figura 3.6.2D, que para este caso es la figura IV.L), observamos que los ejes estándar son menores de 10×10^6 las bases pueden ser.

Base de concreto de baja resistencia = 10cm

Bases bituminosas = 7.5cm



Los espesores de base, requeridos bajo los adoquines, en pavimentos que soportan hasta 80 millones de cargas axiales estándar.

Figura IV.L

ESQUEMA DE DISEÑO

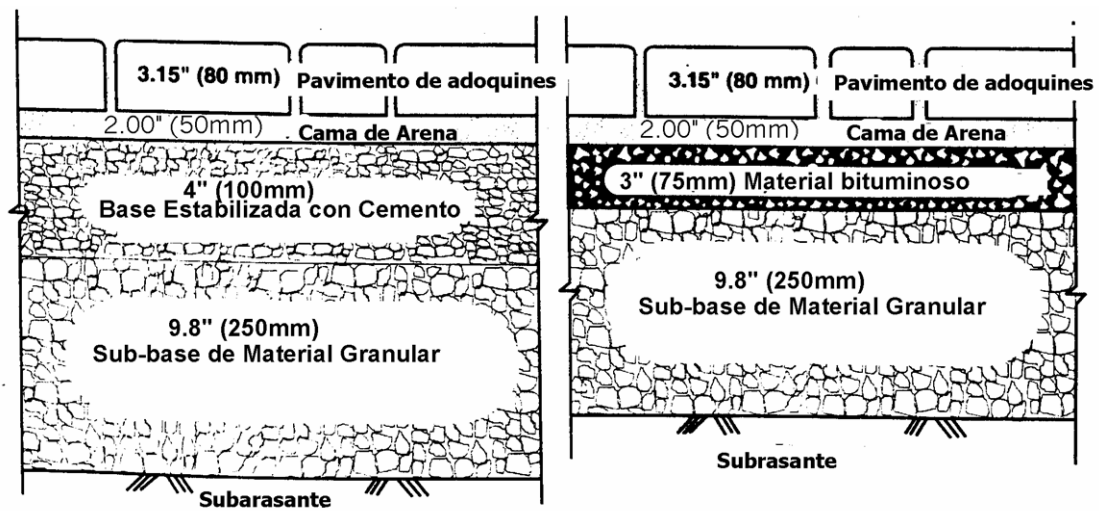


Figura IV.M

Sección Transversal del Pavimento

ANEXO Nº 6

MANUAL TECNICO DE AYUDA

PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS

CON ADOQUINES DE CONCRETO



MANUAL TECNICO DE AYUDA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO



INDICE

	Pág.
MANEJO DEL PROGRAMA DPACWIN 1.0	
DESCRIPCION DE PANTALLAS	1
NOMBRE DEL PROYECTO	5
PARÁMETROS DE DISEÑO ESPECÍFICOS	5
PARÁMETROS DE DISEÑO ESTRUCTURAL	
SERVICIALIDAD FINAL (PT).....	9
NÚMERO ESTRUCTURAL (NS).....	10
PERIODO DE DISEÑO.....	10
TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR.....	10
TIPO DE VEHÍCULO.....	11
CARGA POR EJE.....	12
TIPO DE EJE.....	12
DEMANDA VEHICULAR.....	12
FACTOR DE CARRIL.....	13
FACTOR DE SENTIDO.....	13
CALCULO DE ESAL´S.....	14
TIPOS DE BASES	14
INFORMACIÓN BASICA NECESARIA	18

MANEJO DEL PROGRAMA DPACWin 1.0

DESCRIPCION DE PANTALLAS



Pantalla Inicial



Acerca De

Figura A

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO ICPI - AASHTO

Nombre del Proyecto:

Parámetros de Diseño Específicos

De Laboratorio CBR de la Subrasante: % MR de la Subrasante: Psi

De Tablas de Diseño Calidad de Drenaje: %

Seleccione Tipo de Suelo: SUCS AASHTO SUCS Tipo de Suelo:

MR de la Subrasante: 10^3 Psi CBR de la Subrasante: %

Parámetros de Diseño Estructural

Serviciabilidad Final: NS: Período de Diseño: Años Tasa de Crecimiento Vehicular: %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input type="checkbox"/> LP	2.20	Simple	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> C3	11.00	Simple	<input type="text"/> D
	<input type="text"/>	<input type="text"/>			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	2.20	Simple			30.00	Doble	
<input type="checkbox"/> LC	2.20	Simple	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> T3-S2	10.00	Simple	<input type="text"/> D
	<input type="text"/>	<input type="text"/>			35.20	Doble	<input type="text"/> D
	5.50	Simple			35.20	Doble	
<input type="checkbox"/> C2	10.00	Simple	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> T3-S3	11.00	Simple	<input type="text"/> D
	<input type="text"/>	<input type="text"/>			36.30	Doble	<input type="text"/> D
	20.00	Simple			35.20	Doble	

Factor de Carril: Factor de Sentido: %

Calcular ESAL's

Tipos de Base

Tipo de Base:

Abrir Guardar Calcular Imprimir

Figura B

Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO

DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL METODO CCA - AASHTO

Nombre del Proyecto:

Parámetro de Diseño Específico
 CBR de la Subrasante: % CBR Desconocido

Parámetros de Diseño Estructural
 Serviciabilidad Final: NS: Período de Diseño: Años Tasa de Crecimiento Vehicular: %

Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular	Tipo de Vehículo	Carga por Eje Kips	Tipo de Eje	Demanda Vehicular
<input type="checkbox"/> LP	<input type="text"/> 2.20 <input type="text"/>	Simple <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> C3	<input type="text"/> 11.00 <input type="text"/>	Simple <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> D
	<input type="text"/> 2.20	Simple <input type="text"/>			<input type="text"/> 30.00	Doble <input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> LC	<input type="text"/> 2.20 <input type="text"/>	Simple <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> T3-92	<input type="text"/> 10.00 <input type="text"/>	Simple <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> D
	<input type="text"/> 5.50	Simple <input type="text"/>			<input type="text"/> 35.20	Doble <input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> C2	<input type="text"/> 10.00 <input type="text"/>	Simple <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> D	<input type="checkbox"/> T3-93	<input type="text"/> 11.00 <input type="text"/>	Simple <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> D
	<input type="text"/> 20.00	Simple <input type="text"/>			<input type="text"/> 36.30	Doble <input type="text"/>	
					<input type="text"/> 35.20	Doble <input type="text"/>	

Factor de Carril: Factor de Sentido: %

Tipos de Base
 Tipo de Base:

Figura C

Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO

La pantalla Inicial del programa presenta un formulario con el nombre del programa DPACWin 1.0 según figura A, con una serie de alternativas, las cuales son para la ejecución del programa:

En el Botón Diseño de Pavimentos tenemos: La Ejecución

- a) Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO
- b) Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO

Para los cuales cada una de las alternativas nos mandan a la ejecución de cada uno de los métodos propuestos.

En el Botón Ayuda tenemos: la ayuda necesaria para poder ejecutar el programa DPACWin 1.0

- a) Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO
- b) Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO
- c) Manual de ayuda de la automatización
- d) Acerca De

Y por último tenemos el Botón Salir, que no es más el abandono del programa.

Para ambos métodos de diseño se han subdividido las pantallas de forma similar, según figuras B y C, las cuales consisten en:

- 1) Nombre del proyecto
- 2) Parámetros de diseño específicos
- 3) Parámetros de diseño estructural
- 4) Tipos de Base

NOMBRE DEL PROYECTO

No es más que la asignación de un sustantivo al proyecto para diferenciarlo de otros.

PARÁMETROS DE DISEÑO ESPECÍFICOS

Para el caso del Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO, hay dos formas de cálculo para el porcentaje del CBR de la subrasante, el primero es por pruebas de laboratorio y el segundo por las tablas de diseño dadas por el método ICPI, cabe mencionar que el porcentaje de CBR encontrado tiene la limitación en sus valores de 2 a 20 ya que las curvas de espesores de diseño estructural del método ICPI utilizan estos rangos¹. Cuando el diseño se realiza por medio de las tablas, se debe de determinar la calidad del drenaje, que comprenden si es excelente, bueno, adecuado, pobre o muy pobre, como así mismo el porcentaje de humedad a niveles de saturación, entre los rangos de <1%, 1 a 5%, 5 a 25%, >25% posteriormente se selecciona el tipo de suelo de la subrasante; ya sea este SUCS o AASHTO ver tabla A de equivalencia entre los tipos de suelo de la subrasante, si es del tipo de suelo SUCS se determinan de la forma siguiente:

- a) GW, GP, SW, SP
- b) GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC
- c) GM, GM-GC, GC, SW-SM, SW-SC

¹ / _____ Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots, ICPI, Number 4

- d) SP-SM
- e) SP-SC
- f) SM, SM-SC
- g) SC
- h) ML, ML-CL, CL
- i) MH
- j) CH

Donde:

- GW: Gravas bien graduadas
- GP: Gravas mal graduadas
- GM: Gravas limosas
- GC: Gravas arcillosas
- SW: Arenas bien graduadas
- SP: Arenas mal graduadas
- SM: Arenas limosas
- SC: Arenas arcillosas
- ML: Limos inorgánicos (baja elasticidad)
- CL: Arcillas inorgánicas (baja o media plasticidad)
- MH: Limos inorgánicos (alta elasticidad)
- CH: Arcillas inorgánicas (alta plasticidad)

Si el diseño se basa en el tipo de suelo según AASHTO se determina de la forma siguiente:

- a) A-1-a
- b) A-1-b
- c) A-2-4, A-2-5, A-2-7
- d) A-2-6
- e) A-3
- f) A-4
- g) A-5
- h) A-6
- i) A-7-5
- j) A-7-6

Donde:

A-1-a:	Grava bien graduada, o Grava pobremente graduada
A-1-b:	Arena gruesa
A-2-4, A-2-5, A-2-7:	Suelo Gravoso: Grava limosa, Grava arenosa limosa, Grava arenosa arcillosa Suelo arenoso: Arena limosa, Arena gravosa limosa, Arena gravosa arcillosa
A-2-6:	Suelo gravoso: Grava arcillosa Suelo arenoso: Arena arcillosa
A-3:	Arena fina
A-4:	Mezcla de limo, arena y grava

A-5:	Limo pobremente graduado
A-6:	Arcilla plástica
A-7-5:	Arcilla elástica moderadamente plástica
A-7-6:	Arcilla elástica favorablemente plástica

TABLA A

Equivalencia entre Tipos de Suelo de la Subrasante

Tipo de Suelo SUCS	Tipo de Suelo AASHTO
GW, GP	A-1-a
SW	A-1-b
GM y SM, GM y SM, GC y SC	A-2-4, A-2-5, A-2-7
GC, SC	A-2-6
SP	A-3
ML	A-4
MH	A-5
CL	A-6
CL	A-7-5
CH	A-7-6

El valor de Modulo de resiliencia (MR) es una conversión interna de CBR para el caso de laboratorio el $MR = CBR \times 1500$, y para el caso de diseño por tablas es el encontrado en los cálculos y el $CBR = MR / 1500$

Para el caso del Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO, hay solamente una forma de calculo para el porcentaje del CBR de la subrasante², y conlleva a pruebas de laboratorio, cabe mencionar que el porcentaje de CBR encontrado tiene la limitación en sus valores de 2 a 20.

² / _____ ADOQUINES DE CONCRETO (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto)

PARÁMETROS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Los Parámetros de Diseño Estructural en el programa computacional son realizados para que funcionen correctamente tanto para el Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO y Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO, claramente no saliéndose de los lineamientos y limitaciones que proporcionan los métodos originales en el cálculo del ESAL's (ejes equivalentes)

Los parámetros de diseño estructural están dados por:

Servicialidad Final (Pt):

La servicialidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado por lo que el Índice de Servicialidad es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo, por lo tanto la servicialidad final es en primera instancia asumido e indica el grado de deterioro que se encontrará la vía al final de su vida de diseño, para el caso de pavimentos flexibles en donde se encuentran catalogados los adoquines de concreto, la AASHTO proporciona los valores de 2.0, 2.5, 3.0, para los diferentes tipos de ejes, simples, dobles y triples, podemos observar que la Servicialidad Final se puede analizar y asumir de la siguiente forma:

Pt = 2.5 o más para caminos muy importantes

Pt = 2.0 para caminos de menor tránsito

Número Estructural (NS):

El número estructural es un valor de espesor asumido en pulgadas, por lo consiguiente si el número estructural es 1, significa que corresponde a 1 pulg, y así sucesivamente, los valores se encuentran en el rango de 1 a 6 y no pueden ser mayores ya que las tablas de diseño de la AASHTO³ me lo restringen.

Período de Diseño:

Es el tiempo de diseño para el cual se proyectara la carretera en años, el método recomienda inicial veinte años, pero se ha extendido hasta 35 años.

Tasa de Crecimiento Vehicular:

La tasa de crecimiento vehicular representa el porcentaje de vehículos en un determinado período de análisis, lo cual nos proporciona los factores de crecimiento para los vehículos, la formula empleada es $= ((1+ g)^n - 1)/100$

Donde:

g = tasa/100 y no debe ser nula. Si esta es nula el factor es igual al periodo de análisis.

Los valores de Servicialidad Final, Número Estructural y Periodo de Diseño en el diseño automatizado se han colocado como combos, los cuales al aplicar un clic con el Mouse, nos extienden los valores correspondientes a cada uno, estos valores se encuentran en una base de datos ya elaborado dentro del programa que automáticamente se inicializan, dependiendo de la variables que necesitemos para

³ / ____ AASHTO Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, 1,993, Tablas D-1 a D-9

cargarlos. La Tasa de Crecimiento Vehicular se encuentra entre los rangos de 0 a 10 % recomendados por la AASHTO, así mismo el programa carga los factores de crecimiento dependiendo de la tasa de crecimiento vehicular que necesitemos en su base de datos.

Tipo de Vehículo:

Para una mejor comprensión se proporciona la tabla B.

TABLA B
Tipos de Vehículos

Tipo de Vehículo	Descripción	Ejemplos
LP	Vehículo particular	Automóviles, tipo sedan, camionetas, pick-up, etc.
LC	Vehículo Comercial	Camiones a autobuses de 2.5 a 8 toneladas, equivalente a 5.5 a 17.6 kips
C2	Vehículo con un eje simple direccional y un eje simple de tracción	Camiones a autobuses de 8 a 12 toneladas, equivalente a 17.6 a 26.5 kips
C3	Vehículo con un eje simple direccional y un eje doble rueda de tracción	Camiones de 12 toneladas en adelante, equivalente a 26.5 kips, como tren de aseo, camiones concreteros.
T3-S2	Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje doble rueda de arrastre	Camiones conocidos como rastras
T3-S3	Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje triple rueda de arrastre	Camiones conocidos como rastras

1kips= 1000lbf = 0.4536Tf

Carga por Eje:

Las cargas por ejes consideradas son valores mínimos utilizados para nuestro medio, dependiendo del tipo de vehículos para el diseño, estas cargas se considera en Kips, según tablas de diseño de AASHTO⁴.

Tipo de Eje:

Se consideran tres tipos los cuales son:

- ❖ Eje simple
- ❖ Eje doble
- ❖ Eje triple

Demanda Vehicular:

La demanda vehicular para nuestro caso se ha considerado en días, por ser una de las formas más sencillas cuando se hace el censo de cantidades de vehículos que transitan en una vía.

La automatización comprende que cuando se le de clic al tipo de vehículo a considerar se activan las casillas de texto de Carga por Eje consideradas en nuestro medio los valores mínimos para cada tipo de vehículo, Tipo de Eje los cuales se consideran simple, doble o triple; según sea el caso, Demanda vehicular que no es más que la cantidad del tipo de vehículo diaria que usarán la vía.

⁴ / ____ AASHTO Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, 1,993, Tablas D-1 a D-9

Factor de Carril:

Como se dijo anteriormente se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's; para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril, para calles de varios carriles, el de diseño será el extremo, por el hecho de que los vehículos pesados viajan por ese carril o se puede considerar la tabla C.

TABLA C**Factor de Carril**

Número de Carriles en una sola Dirección	LC
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Para la automatización se han tomado valores de 0.5 a 1 según la tabla anterior

Factor de Sentido:

En la mayoría de los casos este valor es de 0.5; pues la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección, para una mayor comprensión tenemos la tabla D.

TABLA D**Factor de Sentido**

Número de Carriles en Ambas Direcciones	% LD
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993

Para la automatización se han considerado valores de 0 a 100%, recordando que es responsabilidad del diseñador establecer los valores pertinentes para cada proyecto.

Calculo de ESAL's:

Nuestro objetivo primordial en los Parámetros de Diseño Estructural es obtener un valor de ESAL's (ejes equivalentes), Por lo tanto todos los elementos que corresponden deben de estar con valores para que el cálculo se efectúe correctamente.

TIPOS DE BASE

Para el caso Diseño Fundamentado en el Método ICPI-AASHTO existen tres tipos de bases a considerar las cuales son:

- a) Base Material Granular
- b) Base Estabilizada con Cemento
- c) Base Estabilizada con Asfalto

Para el caso Diseño Fundamentado en el Método CCA-AASHTO existen tres tipos de bases a considerar las cuales son:

- a) Base Estabilizada con Cemento
- b) Base de Macadán Denso
- c) Base de Asfalto Compactado

La consideración automatizada comprende en que todos los datos anteriores los podemos guardar, y así mismo abrirlos cuando lo deseemos e imprimir la pantalla de datos, y por lo tanto, con el valor del %CBR y el ESAL's calculado al proporcionarle con el Mouse clic sobre la base deseada para cualquiera de ambos métodos; se carga automáticamente, para luego presionar el botón "**calcular**", y así poder tener una respuesta gráfica y con datos de los parámetros utilizados, como las características de las bases o sub-bases para el diseño de pavimentos con adoquines de concreto; por lo que se presenta a continuación una representación de la respuesta a un determinado diseño de pavimento en la figura D:

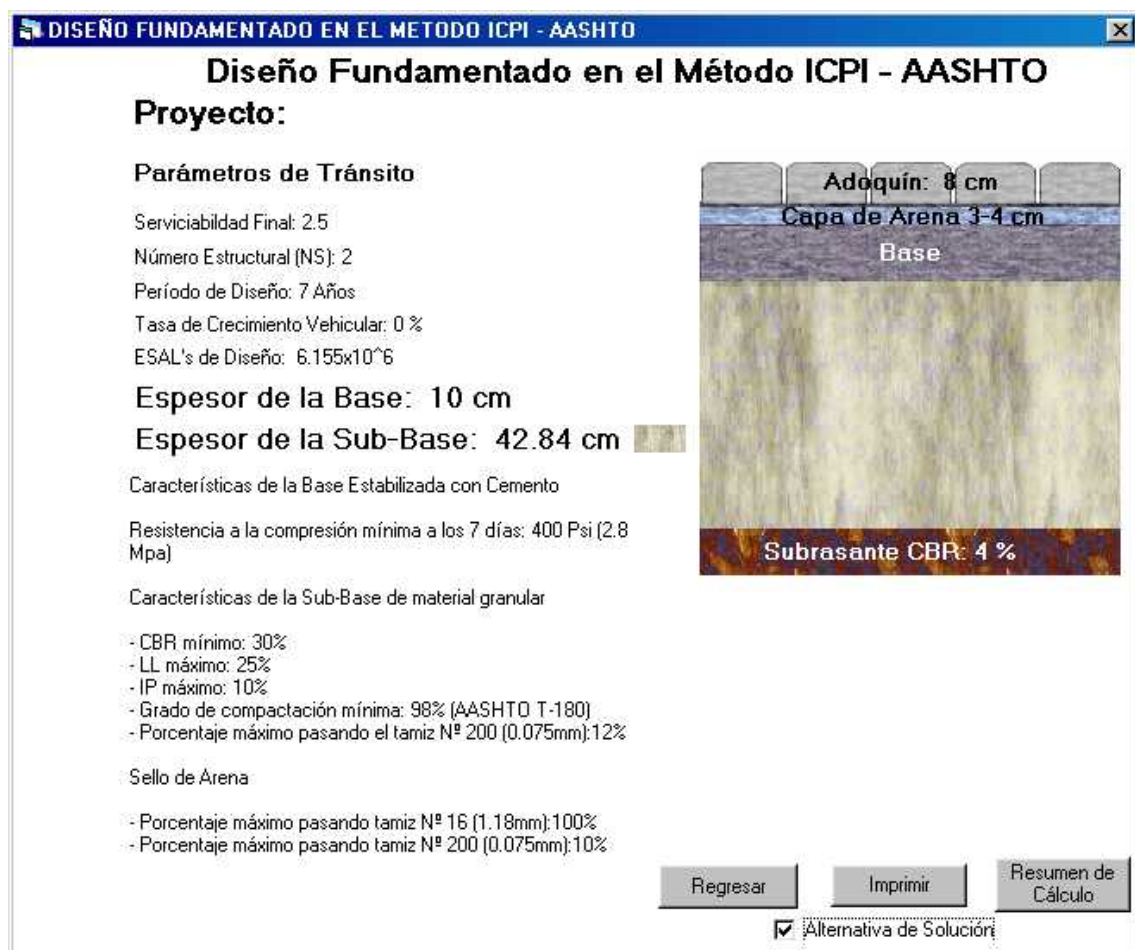


Figura D

Pantalla Gráfica Representativa del Pavimento

Aquí podemos apreciar que el gráfico representativo del pavimento proporciona los valores del espesor del adoquín para el tipo de vehículos calculados dependiendo del ESAL's, la capa de arena se mantiene constante de 3 a 4cm para el diseño, posteriormente se observa la capa de base o Sub-base, que también dependen de los parámetros de diseño proporcionados, al final se puede observar la subrasante, con su

respectivo %CBR, que es del cual se inicializa los espesores de los distintos elementos que conforman el diseño de pavimentos con adoquines de concreto.

Y finalizando con el diseño se manda un Resumen de Cálculo de lo que es el diseño del pavimento, para que el proyectista o diseñador de un determinado proyecto tenga a mano los datos utilizados como sus respectivas respuestas de cálculo, para poderlos utilizar para la ejecución del proyecto.

NOTA: Es responsabilidad del diseñador de pavimentos con adoquines de concreto tomar y verificar que los datos y cálculos obtenidos sean congruentes y de entera confiabilidad, ya que el programa es solamente una herramienta de trabajo.

INFORMACIÓN BÁSICA NECESARIA

AYUDA DEL DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL MÉTODO ICPI-AASHTO

Nombre del Proyecto:

Digite el nombre del proyecto a que se refiere

CBR de la Subrasante:

Los valores se encuentran entre los rangos de 2 a 20%

Servicialidad Final:

Los valores se encuentran entre los rangos de 2.0 a 3.0

Característica mínima de servicialidad final (pt) para varios tipos de camino y clasificaciones de la calle:

- 2.5 Carreteras Interestatales y Arteria Mayores
- 2.25 Rutas Principales, Calles Industriales y Comerciales
- 2.0 Rutas Secundarias, Calles Residenciales y Parques de Estacionamiento
- 1.5 Fallo obtenido en experimento vial de AASHTO

Número Estructural:

Los valores se encuentran entre los rangos de 1 a 6

El número Estructural (SN), de un sistema de pavimento flexible es indicativo del espesor del pavimento total requerido

$$SN = a(1) t(1) + a(2) t(2)+m(2) + a(3) t(3)+m(3)...$$

Donde

a(i) = es el coeficiente de la capa

t(i) = es el espesor de capa

m(i) = es el coeficiente de drenaje de capa

La conversión de datos de peso por eje a peso equivalente de 18kips, requiere estimar previamente el número estructural (SN).

El SN puede estimarse de 1.0 a 20. los rangos siguientes se ofrecen

	Sistema Métrico	Sistema Ingles
Carreteras interestatales	4.0 a 6.0	01.6 a 152.4
Arteria Principal	3.5 a 4.0	88.9 a 101.6
Calle Colector	3.0 a 3.5	76.2 a 88.9
Caminos Locales	.5 a 3.0	63.5 a 76.2
Áreas de Estacionamiento	2.0 a 2.5	50.8 a 63.5

Periodo de Diseño:

Los valores se encuentran 1 a 35 años

El número total de cada vehículo es basado en la cantidad de vehículos por día, mes o año sobre la vida de diseño de pavimentos. Típicamente, se diseñan sistemas de pavimentos para durar entre 20 y 50 años.

Tasa de Crecimiento Vehicular:

Digite el valor entre 0 y 10%

La tasa de crecimiento anual para tráfico puede incorporarse en el cálculo de las cargas de ejes equivalentes, esta tasa de crecimiento asume un crecimiento anual exponencial, tal que:

$$\text{Tráfico Total} = \text{Tráfico Anual} \times (1 + GR)^{\text{años}}$$

Tipo de Vehículo:

LP = Vehículo particular

LC = Vehículo comercial

C2 = Vehículo con eje simple direccional y un eje simple de tracción

C3 = Vehículo con un eje simple direccional y un eje doble rueda de tracción

T3-S2 = Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje doble rueda de arrastre

T3-S3 = Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje triple rueda de arrastre

1 kips= 1000 lbf = 0.4536 tonf

Carga por Eje:

Digite la carga que desee, las presentadas son mínimas recomendadas

Tipo de Eje:

Selecciona para cualquiera que necesite de: Simple, Doble y Triple

Demanda Vehicular:

Esta proporcionada en días.

Factor de Carril:

Se encuentra entre los valores de 0.5 y 1.00

Factor de Sentido:

Toma valores de 0 a 100%

El procedimiento de diseño de la AASHTO determina espesores en vía de diseño del tráfico. A menos que el diseñador proporcione específicamente y considere el tráfico en cada vía y dirección. AASHTO usa la ecuación siguiente.

Diseño de Tráfico de la Vía = Tráfico Total x DLD x DD

Diseño de Distribución de Vía (DLD):

El Diseño de Distribución de Vía considera la distribución de tráfico cuando dos o más vías están disponibles en una dirección, expresada como un porcentaje. Un 50% del Diseño de Distribución de Vía da que la mitad de vehículos están en un carril y la otra en el otro. Un 100% de Distribución de Vía significa que todos los vehículos están en el carril de diseño

Distribución Direccional (DLD):

La Distribución Direccional considera para la distribución de tráfico por dirección (i.e. este-oeste, norte-sur), expresado como un porcentaje. Un 50% de la Distribución Direccional da que la mitad de los vehículos van en una dirección y la otra mitad va al otro. Un 100% la Distribución Direccional significa que todos los vehículos están entrando en la vía de diseño.

ESAL's de Diseño

El diseño AASHTO es basado en el uso de carga equivalente expresado en 18,000lbs de carga de eje único. Debe expresarse el diseño del tráfico en 18kip equivalente (1kip = 1,000lbs)

Alternativamente, refiérase a la AASHTO guía de diseño para convertir su tráfico a E18's (Apéndice D)

Tipo de Base:

Seleccione la base que se necesite, Base de Material Granular, Base Tratada con Cemento, Base Tratada con Asfalto

NOTA:

- 1** *Es responsabilidad del diseñador de pavimentos con adoquines de concreto tomar y verificar que los datos y cálculos obtenidos sean congruentes y de entera confiabilidad, ya que el programa es solamente una herramienta de trabajo.*
- 2** *El método no soporta valores mayores a 20000000 ESAL's de Diseño*

AYUDA DEL DISEÑO FUNDAMENTADO EN EL MÉTODO CCA-AASHTO

Nombre del Proyecto:

Digite el nombre del proyecto a que se refiere

CBR de la Subrasante:

Los valores se encuentran entre los rangos de 2 a 20%, en el caso se desconoce el CBR, hacer clic en la casilla de verificación CBR Desconocido, y el valor asumido para la sub-base es automáticamente 45cm

Servicialidad Final:

Los valores se encuentran entre los rangos de 2.0 a 3.0

Característica mínima de servicialidad final (pt) para varios tipos de camino y clasificaciones de la calle:

- 2.6 Carreteras Interestatales y Arteria Mayores
- 2.26 Rutas Principales, Calles Industriales y Comerciales
- 3.0 Rutas Secundarias, Calles Residenciales y Parques de Estacionamiento
- 1.5 Fallo obtenido en experimento vial de AASHTO

Número Estructural:

Los valores se encuentran entre los rangos de 1 a 6

El número Estructural (SN), de un sistema de pavimento flexible es indicativo del espesor del pavimento total requerido

$$SN = a(1) t(1) + a(2) t(2) + m(2) + a(3) t(3) + m(3) \dots$$

Donde

a(i) = es el coeficiente de la capa

t(i) = es el espesor de capa

m(i) = es el coeficiente de drenaje de capa

La conversión de datos de peso por eje a peso equivalente de 18kips, requiere estimar previamente el número estructural (SN).

El SN puede estimarse de 1.0 a 20. los rangos siguientes se ofrecen

	Sistema Métrico	Sistema Ingles
Carreteras interestatales	4.0 a 6.0	101.6 a 152.4
Arteria Principal	3.5 a 4.0	88.9 a 101.6
Calle Colector	3.0 a 3.5	76.2 a 88.9
Caminos Locales	2.5 a 3.0	63.5 a 76.2
Áreas de Estacionamiento	2.0 a 2.5	50.8 a 63.5

Periodo de Diseño:

Los valores se encuentran 1 a 35 años

El número total de cada vehículo es basado en la cantidad de vehículos por día, mes o año sobre la vida de diseño de pavimentos. Típicamente, se diseñan sistemas de pavimentos para durar entre 20 y 50 años.

Tasa de Crecimiento Vehicular:

Digite el valor entre 0 y 10%

La tasa de crecimiento anual para tráfico puede incorporarse en el cálculo de las cargas de ejes equivalentes, esta tasa de crecimiento asume un crecimiento anual exponencial, tal que:

$$\text{Tráfico Total} = \text{Tráfico Anual} \times (1 + GR)^{\text{años}}$$

Tipo de Vehículo:

LP = Vehículo particular

LC = Vehículo comercial

C2 = Vehículo con eje simple direccional y un eje simple de tracción

C3 = Vehículo con un eje simple direccional y un eje doble rueda de tracción

T3-S2 = Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje doble rueda de arrastre

T3-S3 = Vehículo articulado con eje simple direccional, un eje doble rueda de tracción y un eje triple rueda de arrastre

1kips= 1000 lbf = 0.4536 tonf

Carga por Eje:

Digite la carga que desee, las presentadas son mínimas recomendadas

Tipo de Eje:

Selecciona para cualquiera que necesite de: Simple, Doble y Triple

Demanda Vehicular:

Esta proporcionada en días.

Factor de Carril:

Se encuentra entre los valores de 0.5 y 1.00

Factor de Sentido:

Toma valores de 0 a 100%

El procedimiento de diseño de la AASHTO determina espesores en vía de diseño del tráfico. A menos que el diseñador proporcione específicamente y considere el tráfico en cada vía y dirección. AASHTO usa la ecuación siguiente.

Diseño de Tráfico de la Vía = Tráfico Total x DLD x DD

Diseño de Distribución de Vía (DLD):

El Diseño de Distribución de Vía considera la distribución de tráfico cuando dos o más vías están disponibles en una dirección, expresada como un porcentaje. Un 50% del Diseño de Distribución de Vía da que la mitad de vehículos están en un carril y la otra en el otro. Un 100% de Distribución de Vía significa que todos los vehículos están en el carril de diseño

Distribución Direccional (DLD):

La Distribución Direccional considera para la distribución de tráfico por dirección (i.e. este-oeste, norte-sur), expresado como un porcentaje. Un 50% de la Distribución Direccional da que la mitad de los vehículos van en una dirección y la otra mitad va al otro. Un 100% la Distribución Direccional significa que todos los vehículos están entrando en la vía de diseño.

ESAL's de Diseño

El diseño AASHTO es basado en el uso de carga equivalente expresado en 18,000lbs de carga de eje único. Debe expresarse el diseño del tráfico en 18kip equivalente (1kip = 1,000lbs)

Alternativamente, refiérase a la AASHTO guía de diseño para convertir su tráfico a E18's (Apéndice D)

Tipo de Base:

Seleccione la base que se necesite, Base Combinada con Cemento, Base Macadán Denso, Base Asfalto Apisonado.

NOTA:

- 3** *Es responsabilidad del diseñador de pavimentos con adoquines de concreto tomar y verificar que los datos y cálculos obtenidos sean congruentes y de entera confiabilidad, ya que el programa es solamente una herramienta de trabajo.*
- 4** *El método no soporta valores mayores a 1000000000 ESAL's de Diseño*

ANEXO Nº 7

**EJEMPLO DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS PARA BASES Y
SUB-BASES DE LA AUTOMATIZACIÓN**

EJEMPLO DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS PARA BASES Y SUB-BASES DE LA AUTOMATIZACIÓN

TABLA A														
Espesor base de agregado en milímetros														
Subrasante CBR%														
ESAL's	2	2.5	3.3	4	4.6	5.3	6	6.6	10	13.3	20			
50000	132	100											$y = -143.41Ln(x) + 231.4$	R2 = 1
100000	166	118	100										$y = -129.11Ln(x) + 248.65$	R2 = 0.9014
300000	269	217	166	132	100								$y = -197.84Ln(x) + 402.96$	R2 = 0.9975
500000	324	269	224	192	157	150							$y = -180.76Ln(x) + 441.77$	R2 = 0.9875
700000	391	330	274	237	201	173	150						$y = -216.91Ln(x) + 535.16$	R2 = 0.9975
1000000	433	390	330	281	248	217	194	166	150				$y = -193.03Ln(x) + 555.3$	R2 = 0.9645
3000000	488	435	389	338	298	267	246	215	150				$y = -216.94Ln(x) + 636.15$	R2 = 0.9939
5000000	552	504	438	402	367	330	298	269	166	150			$y = -225.29Ln(x) + 706.99$	R2 = 0.9909
7000000	596	547	481	437	407	382	348	311	215	150			$y = -236.81Ln(x) + 765.18$	R2 = 0.9982
10000000	645	602	528	480	442	412	392	359	248	178	150		$y = -230.32Ln(x) + 800.02$	R2 = 0.9883
20000000	658	673	604	551	517	481	453	425	324	253	150		$y = -236.3Ln(x) + 869.68$	R2 = 0.9879

TABLA B																				
ESAL's	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
50000	132	100																		
100000	156	104	100																	
300000	266	186	129	100																
500000	317	243	191	151																
700000	385	297	235	287	150	150	150													
1000000	422	343	288	245	209	180	154													
3000000	486	398	335	287	247	214	185	160	150	150										
5000000	551	460	395	344	303	269	239	212	188	167	150	150								
7000000	601	505	437	384	341	304	273	245	220	197	177	158	150	150	150					
10000000	640	547	481	429	387	352	321	294	270	248	228	209	192	176	161	150	150	150	150	
20000000	706	610	542	489	446	410	378	350	326	303	285	264	246	230	215	200	187	174	162	
	$y = 99.009Ln(x) - 965.65$																			R2 = 0.9913
		$y = 89.786Ln(x) - 915.21$																		R2 = 0.9835
			$y = 87.162Ln(x) - 937.93$																	R2 = 0.9794
				$y = 81.827Ln(x) - 898.7$																R2 = 0.9146
					$y = 80.2Ln(x) - 918.13$															R2 = 0.9713
						$y = 75.747Ln(x) - 881.89$														R2 = 0.9545
							$y = 68.69Ln(x) - 800.29$													R2 = 0.923
								$y = 102.04Ln(x) - 1360.6$												R2 = 0.9939
									$y = 95.968Ln(x) - 1286.1$											R2 = 0.99
										$y = 85.745Ln(x) - 1142.3$										R2 = 0.9624
											$y = 99.729Ln(x) - 1388.5$									R2 = 0.9876
												$y = 87.384Ln(x) - 1205.4$								R2 = 0.9659
													$y = 89.597Ln(x) - 1258.2$							R2 = 0.9877
														$y = 76.436Ln(x) - 1055.2$						R2 = 0.9997
															$y = 64.096Ln(x) - 864.97$					R2 = 0.9673
																$y = 17.312Ln(x) - 129.04$				R2 = 1
																	$y = 17.312Ln(x) - 129.04$			R2 = 1
																		$y = 17.312Ln(x) - 129.04$		R2 = 1
																			$y = 17.312Ln(x) - 129.04$	R2 = 1

Figura A

Datos de Tabla A

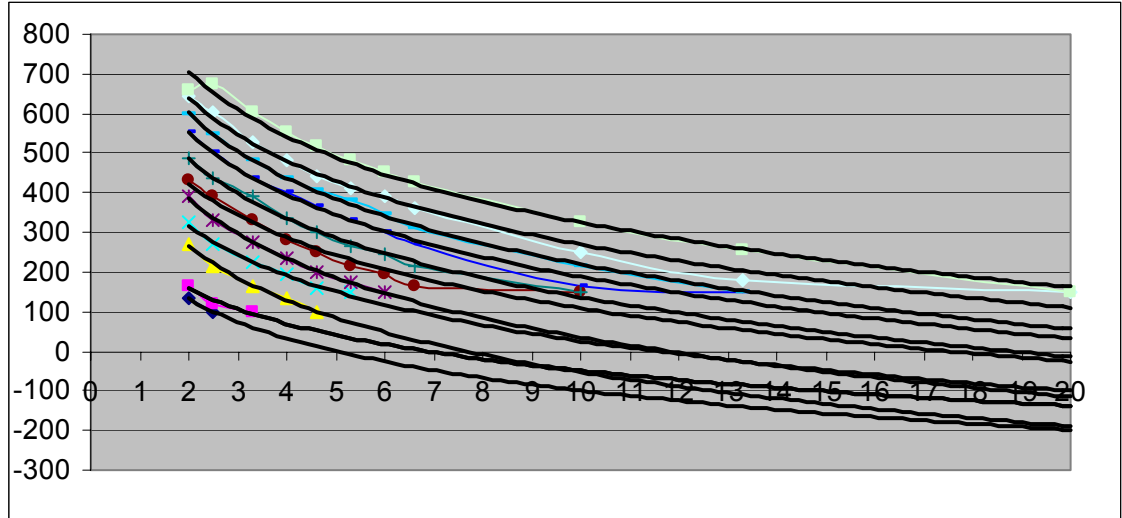


Figura B

Datos de Tabla B

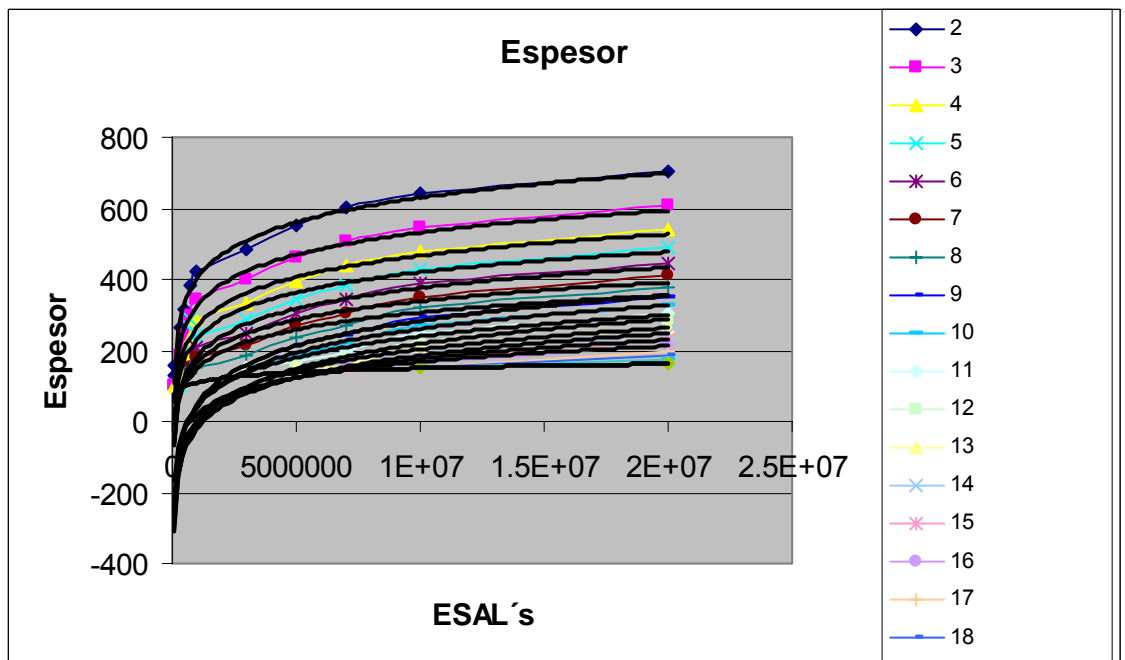


Figura C

Para poder obtener resultados confiables y que estuvieran de acuerdo a los nomogramas de Base de Material Granular, Base Estabilizada con Asfalto y Base Estabilizada con Cemento presentados en las figuras 3.6.1A, 3.6.1B, 3.6.1C respectivamente; para el caso del método ICPI, así como las figuras 3.6.2C y 3.6.2D, para valores de Sub-Base y Bases respectivamente; para el caso del método CCA; el análisis se ha realizado de forma similar para todos los casos, como ejemplo representativo tenemos que en la figura A de este anexo podemos ver los valores para el caso de la Base de Material Granular del método ICPI, donde inicialmente en la tabla A de este mismo anexo tenemos los valores directos tomados con un valor de CBR y un Esal's determinado, como por ejemplo con la figura 3.6.1A tenemos el valor de CBR de 4% y prolongamos una línea perpendicular hasta cortar el Esal's de 300000, obteniendo un valor de 132mm, y así sucesivamente para todos los demás puntos se llena la tabla A, podemos observar que en cada fila de la tabla A hay una formula, estas representan formulas de tendencia logarítmica calculadas en EXCEL según la figura B, con estas formulas se hace un nuevo calculo para cada celda de la tabla B, pero con números enteros como por ejemplo; 2,3,4,5...,20 y con estos nuevos valores completamos las filas correspondientes, posteriormente en la nueva tabla B la analizamos por columnas y obtenemos nuevamente formulas de tendencia logarítmica según la figura C, que son las utilizadas para calcular los valores de Sub-Bases y Bases según sea el caso, para la automatización en el programa de Diseño de Pavimentos con Adoquines de Concreto en ambiente Windows versión 1.0 (DPACwin 1.0).