



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

PROCESO Y EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Pedro Gustavo Gómez Figueroa

Asesorado por el Ing. José Francisco Monge Hidalgo

Guatemala, agosto de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCESO Y EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE
CARRETERAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PEDRO GUSTAVO GÓMEZ FIGUEROA

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ FRANCISCO MONGE HIDALGO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR	Ing. René Rolando Vargas Oliva
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROCESO Y EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 1 de abril de 2009.



Pedro Gustavo Gómez Figueroa

Guatemala, 12 de julio de 2010

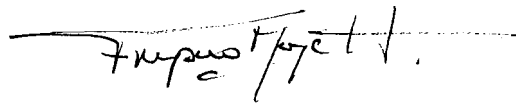
Ingeniero
Fernando Amílcar Boiton Velásquez
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero:

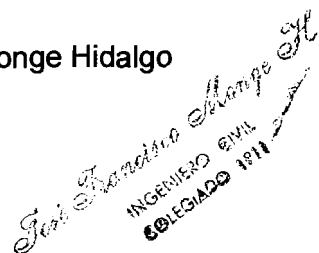
Por este medio me dirijo a usted para informarle que el trabajo de graduación "PROCESO Y EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS", elaborado por el alumno Pedro Gustavo Gómez Figueroa, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona; por lo cual lo someto a su consideración para su debida aprobación.

Sin otro particular me despido.

Atentamente,



Ingeniero Civil José Francisco Monge Hidalgo
Colegiado No. 1,911



José Francisco Monge H.
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO 1911



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
 8 de marzo de 2011

Ingeniero
 Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PROCESO Y EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Pedro Gustavo Gómez Figueroa, quien contó con la asesoría del Ing. José Francisco Monge Hidalgo.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

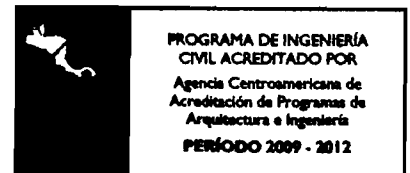
ID Y ENSEÑAD A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA
 DEPARTAMENTO
 DE
 TRANSPORTES
 USAC

Ing. Jorge Alejandro Arévalo Valdez
 Coordinador del Área de Topografía y Transportes

/bbdeb.







UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Francisco Monge Hidalgo y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Jorge Alejandro Arévalo Valdez al trabajo de graduación del estudiante Pedro Gustavo Gómez Figueroa, titulado PROCESO Y EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



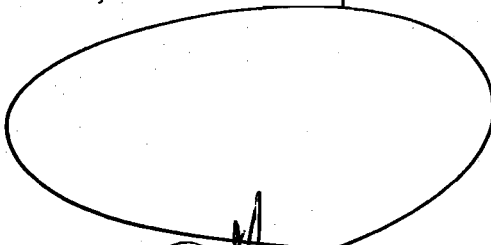
Guatemala, agosto de 2011.

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **PROCESO Y EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**, presentado por el estudiante universitario **Pedro Gustavo Gómez Figueroa**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, agosto de 2011

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Quien me da vida, esperanza y anhelos, para devolverle triunfos.
Mis padres	María Victoria Figueroa de Gómez (q.e.p.d.) y Pedro Gómez López (q.e.p.d.) como una ofrenda para ellos que fueron ríos de sabiduría que corren al cielo.
Mi esposa	María Elisa, designio de amor y pilar indispensable en la estructura de mi vida.
Mis hijos	María Victoria y Pedro José, granitos de arena que Dios me dio a condición de convertirlos en diamantes.
Mis hermanos	Carmen Aída, Alfredo, Adolfo (q.e.p.d.), Gloria, Raúl, Hugo (q.e.p.d.), Carlos, Violeta, Julio y Victoria, variedad de pensamientos que ayudaron a formar el mío.
Mis cuñadas y cuñados	Como estímulo a sus consejos de mucho valor.
Mis sobrinos	Inmenso retoño de la familia, que triunfa y seguirá triunfando.

Una persona

Que está viviendo el carnaval de la vida eterna,
Leonicia Kneyber (q.e.p.d.).

Mis amigos

Que me motivan a seguir adelante; en especial,
al grupo que integra B & T Consultores, S. A.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por indicarme el camino que debo seguir.
Ing. Adolfo Gómez Figuroa (q.e.p.d.)	Por mostrarme su entereza y constancia en los retos que le puso la vida.
Ing. Oscar Tánchez	Por su consejo y apoyo para lograr esta meta.
Ing. Francisco Monge	Por la asesoría brindada al presente trabajo.
Ing. Luis Hugo Solares (q.e.p.d.)	Por permitirme compartir de su amistad, su respeto y su experiencia.
Facultad de Ingeniería	Por hacerme portador de sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. PERSONAL REQUERIDO PARA LA REALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS	
1.1. Personal profesional de supervisión.....	1
1.1.1. Delegado residente.....	1
1.1.2. Ingeniero auxiliar.....	1
1.2. Personal profesional de contratista.....	2
1.2.1. Superintendente.....	2
1.2.2. Ingeniero auxiliar.....	2
1.2.3. Ingeniero de talleres.....	2
1.3. Personal técnico profesional y administrativo de supervisión.....	3
1.3.1. Calculista.....	3
1.3.2. Dibujante.....	3
1.3.3. Inspector.....	3
1.3.4. Laboratorista jefe.....	3
1.3.5. Topógrafo.....	4
1.3.6. Secretario Administrativo.....	4
1.4. Personal técnico profesional y administrativo del contratista.....	4
1.4.1. Jefe o encargado de maquinaria.....	4

1.4.2.	Jefe de talleres.....	5
1.5.	Personal de campo de supervisión.....	5
1.5.1.	Laboratorista de campo.....	5
1.5.2.	Apuntador de materiales.....	5
1.5.3.	Brigada de topografía.....	6
1.6.	Personal de campo del contratista.....	7
2.	ETAPAS QUE COMPONEN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CARRETERA	
2.1.	Definición de pavimento.....	9
2.2.	Etapas de construcción de una carretera.....	10
3.	TRABAJOS QUE COMPONEN EL MOVIMIENTO DE TIERRAS	
3.1.	Localización de la línea topográfica.....	11
3.2.	Movimiento de tierras.....	12
3.3.	Cortes.....	13
3.3.1.	Excavación no clasificada.....	14
3.3.2.	Excavación no clasificada de desperdicio.....	14
3.3.3.	Excavación no clasificada para préstamo.....	15
3.3.4.	Sub-excavación.....	15
3.3.5.	Remoción y prevención de derrumbes.....	16
3.3.6.	Cortes en roca.....	16
3.4.	Rellenos.....	18
3.5.	Acarreos.....	20
4.	TRABAJOS QUE COMPONEN LA CONSTRUCCIÓN DE DRENAJES	
4.1.	Drenajes.....	21
4.2.	Drenaje menor.....	24
4.3.	Drenaje mayor.....	25

4.4.	Alcantarillas de concreto.....	25
4.5.	Alcantarillas de lámina corrugada.....	27
5.	TRABAJOS QUE COMPONEN LAS SUB-BASES Y BASES	
5.1.	Capa de sub-base.....	30
5.2.	Capa de base.....	33
6.	TRABAJOS QUE COMPONEN LAS SUPERFICIES DE PAVIMENTOS	
6.1.	Tratamiento asfáltico superficial.....	37
6.1.1.	Agregados pétreos.....	37
6.1.2.	Material bituminoso.....	38
6.1.3.	Colocación de los materiales.....	40
6.1.3.1.	Distribución del agregado.....	40
6.1.3.2.	Compactación del agregado.....	41
6.1.3.3.	Remoción del exceso de agregado.....	42
6.1.4.	Tratamientos superficiales múltiples.....	43
6.1.5.	Maquinaria empleada.....	44
6.2.	Concreto asfáltico en caliente.....	44
6.2.1.	Limpieza de la superficie a cubrir.....	45
6.2.2.	Riego de liga.....	46
6.2.3.	Colocación de concreto asfáltico.....	48
6.2.3.1.	Producción y preparación del material pétreo.....	49
6.2.3.2.	Preparación del cemento asfáltico.....	50
6.2.3.3.	Tendido de la mezcla asfáltica.....	52
6.2.3.4.	Compactación.....	54
6.3.	Concreto hidráulico.....	55
6.3.1.	Limpieza de la superficie a cubrir.....	57
6.3.2.	Colocación del concreto hidráulico.....	58

6.3.2.1.	Producción y proporción del material pétreo.....	59
6.3.2.2.	Preparación del concreto hidráulico.....	59
6.3.2.3.	Colocación del concreto hidráulico.....	61
6.3.3.	Acabado, texturizado y ranurado del concreto.....	65
6.3.4.	Curado del concreto.....	67
6.3.5.	Construcción de juntas.....	68
6.3.5.1.	Tipos de juntas.....	69
6.3.5.2.	Formación de juntas.....	71
6.3.5.3.	Relleno y sellado de juntas.....	72
6.3.6.	Dispositivos de transferencia de cargas.....	73
6.3.6.1.	Barras de sujeción.....	74
6.3.6.2.	Dovelas o pasa juntas.....	74
6.3.7.	Mantenimiento y control de tránsito.....	75
7.	TRABAJOS QUE COMPONEN LAS ESTRUCTURAS DE PUENTES	
7.1.	Trazo y excavación.....	77
7.2.	Encofrado y armado.....	79
7.3.	Fundición y desencofrado.....	82
7.4.	Relleno estructural para puentes.....	88
8.	TRABAJOS QUE COMPONEN LA SEÑALIZACIÓN	
8.1.	Señalización vertical.....	91
8.1.1.	Código de colores.....	93
8.1.2.	Colocación.....	95
8.2.	Señalización horizontal.....	96
8.2.1.	Funciones.....	96
8.2.2.	Clasificación.....	97
8.2.3.	Materiales.....	98

8.2.4.	Colores.....	99
8.2.5.	Líneas longitudinales.....	101
8.2.6.	Marcas transversales.....	103
8.2.7.	Marcas incrustadas en el pavimento.....	103
8.2.8.	Reflectorización.....	104
8.3.	Monumentos de kilometraje.....	104
8.3.1.	Aplicación.....	104
8.3.2.	Fabricación.....	105
8.3.3.	Colocación.....	105
8.4.	Delineadores.....	106
8.4.1.	Aplicación de los delineadores.....	106
8.4.2.	Fabricación.....	106
8.4.3.	Colocación.....	107
8.5.	Indicadores del derecho de vía.....	107
8.5.1.	Aplicación.....	107
8.5.2.	Fabricación.....	108
8.5.3.	Colocación.....	108
8.6.	Defensas para carreteras y puentes.....	109
8.6.1.	Aplicación.....	109
8.6.2.	Fabricación.....	109
8.6.3.	Colocación.....	110
	8.6.3.1. Postes.....	110
	8.6.3.2. Rieles.....	110
9.	PRUEBAS USUALES DE LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS	
9.1.	Ensayo de compactación <i>Proctor</i> Modificado.....	113
9.1.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	115
9.2.	Relación de Soporte California (CBR).....	115

9.2.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	116
9.3.	Límites de Atterberg.....	118
9.3.1.	Determinación del límite líquido (LL).....	119
9.3.1.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	120
9.3.2.	Determinación del límite plástico (LP).....	120
9.3.2.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	121
9.3.3.	Índice de plasticidad (IP).....	122
9.4.	Granulometría.....	123
9.4.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	125
9.5.	Equivalente de arena.....	125
9.5.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	126
9.6.	Densidad del suelo <i>in situ</i>	127
9.6.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	130
9.7.	Prueba de revenimiento del concreto.....	131
9.7.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	133
9.8.	Preparación de cilindros de ensayo del concreto.....	134
9.8.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	135
9.9.	Prueba de resistencia a la compresión del concreto.....	136
9.9.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	137
9.10.	Método Marshall de diseño de mezclas.....	138
9.10.1.	Equipo necesario para el ensayo.....	139
10.	PROBLEMAS OCASIONALES EN EL DESARROLLO DE LOS TRABAJOS	
10.1.	Referencias de línea topográfica.....	141
10.2.	Derecho de vía.....	142
10.3.	Instalaciones de servicios existentes.....	143
10.4.	Cambios de línea.....	144
10.5.	Mantenimiento a caminos de acceso.....	144

10.6. Hundimientos.....	145
10.7. Mantenimiento de maquinaria.....	146
CONCLUSIONES.....	147
RECOMENDACIONES.....	149
BIBLIOGRAFÍA.....	151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

I.	Tipos de material bituminoso.....	39
II.	Requisitos para la emulsión asfáltica.....	47
III.	Cantidad de cemento asfáltico según gradación del agregado.....	51
IV.	Temperaturas para la colocación de la mezcla asfáltica en caliente....	54
V.	Radios para dobleces de barras de acero.....	80
VI.	Asentamientos para concretos vibrados.....	83
VII.	Límites de Atterberg.....	118
VIII.	Tamaño de tamices para muestras de contenido de humedad.....	129

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm^2	Área en centímetro cuadrado
m^2	Área en metro cuadrado
kg/m^3	Densidad en kilogramos/metro cúbico
lb/pie^3	Densidad en libras por pie cúbico
kN	Kilo Newton
mm	Longitud en milímetro
m	Longitud en metro
gr	Masa en gramo
kg	Masa en kilogramo
lb	Masa en libras
\geq	Mayor o igual que

>	Mayor que
<	Menor que
γ	Peso específico
psi	Presión en libras por pulgada cuadrada
MPa	Presión en mega Pascales
°C	Temperatura en grados Celsius
Newton metro	Unidad de torque
km/h	Velocidad en kilómetros por hora
Pa-s	Viscosidad
m³	Volumen en metro cúbico

GLOSARIO

AASHTO

Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte o por sus siglas en inglés AASHTO de *American Association of State Highway and Transportation Officials*, es un órgano que establece normas, que publica especificaciones, hace pruebas de protocolos y guías usadas en diseños de autopistas y construcción de ellas en todo los Estados Unidos.

Aletones

Son muros a similitud de alas abiertas que se construyen a los lados de los cabezales y que sirven para conducir la corriente de agua hacia la tubería, también se usa para proteger y sostener el suelo adyacente a los costados del cabezal.

ASTM

American Society for Testing Materials o ASTM *International* es un organismo de normalización de los Estados Unidos, mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias.

Balasto	Material clasificado que se coloca sobre la subrasante terminada de una carretera, con el objetivo de protegerla y de que sirva de superficie de rodadura.
Banco de préstamo	El lugar aprobado por el delegado residente para la extracción de materiales de préstamo para terracería.
Base	Capa formada por la combinación de piedra o grava triturada, combinadas con material de relleno, para constituir una base integrante de un pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes.
BM	Banco de marca de nivel fijo.
Botadero	Lugar aprobado por el delegado residente para depositar el material no clasificado de desperdicio.
Brecha	Abertura inicial en un terreno para construir un nuevo camino o carretera.

Cajas y cabezales	Estructuras de concreto, concreto ciclópeo, mampostería de piedra, y otros, colocadas en los extremos de las alcantarillas (entrada y salida), para encauzar el agua y protección de la carretera.
Contratista	La persona individual o jurídica con quien el estado ha celebrado contrato para la ejecución de una obra o servicio.
Cota <i>invert</i>	Frase (español-inglés) utilizada como modismo para indicar la cota de fundación de una alcantarilla tomada al centro de su eje longitudinal.
Curado	El mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto hidráulico a edades tempranas, de manera que éste pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla.
Derecho de vía	Área de terreno que el estado suministra para ser usada en la construcción de la carretera, sus estructuras, trabajos complementarios y futuras ampliaciones.

Dirección General de Caminos

Dependencia del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, que tiene a su cargo el planeamiento a su nivel, estudio, diseño, preparación de documentos de licitación, cotización, términos de referencia, construcción, supervisión y mantenimiento de las carreteras de la república.

Emulsión asfáltica

Mezcla de asfalto con emulsificantes que con el agua forman una emulsión estable que permite tender las carpetas asfálticas en frío, es decir a temperaturas menores a 100 °C.

Encofrado

Es el sistema de moldes temporales o permanentes que se utilizan para dar forma al concreto antes de fraguar.

Escantillón

Regla graduada de uso vertical auxiliada con un cordel horizontal con el que se determinan las deformaciones superficiales en las capas de pavimento.

Escarificar

Romper la superficie de una capa de suelo para que luego sea mezclada, homogenizada y nivelada de nuevo.

Estacones	Estacas con mayor longitud, utilizadas para indicar la altura a llenar en una capa de relleno.
Estimación	La evaluación periódica que de común acuerdo hace el delegado residente y el contratista del proyecto, con fines de pago y control del progreso de la obra.
FHWA	Por sus siglas en inglés <i>The Federal Highway Administration</i> , o sea Administración Federal de Carreteras.
Fraguado	Proceso de solidificación y pérdida de la plasticidad inicial en el concreto, durante el cual inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla.
Granulometría	Medición y gradación que se lleva a cabo de los materiales sedimentarios y de los suelos con el fin de analizar de sus propiedades mecánicas.
Imprimación	Aplicación de un asfalto líquido, por medio de riego a presión, sobre la superficie de la sub-base o sobre la base y hombros de una carretera, para protegerla e impermeabilizarla; favorece la adherencia de la capa inmediata superior.

Luz	Distancia horizontal entre los apoyos de un puente.
Material bituminoso	Sustancias de color negro, sólidas o viscosas, dúctiles, que se ablandan por el calor y comprenden aquellos cuyo origen son los crudos petrolíferos.
Micrómetro	Instrumento de gran precisión destinado a medir cantidades lineales o angulares muy pequeñas.
MUTCD	Por sus siglas en inglés <i>Manual on Uniform Traffic Control Devices</i> , utilizado como estándar americano para otros manuales de señalización.
PC	Principio de curva, utilizado en el diseño geométrico, planos y alineamiento topográfico de carreteras.
Perfil	Representación gráfica en plano vertical de las diferentes alturas que tiene un terreno a lo largo del eje longitudinal de una carretera.

Planos	Las plantas, perfiles, secciones transversales, dibujos suplementarios o de ejecución y detalle, incluyendo las modificaciones a los mismos que hayan sido debidamente aprobados por las autoridades competentes de la D.G.C., y muestren la ubicación, naturaleza, dimensiones y detalles del trabajo a ejecutarse.
POT	Punto obligado de tangente, utilizado en el diseño geométrico, planos y alineamiento topográfico de carreteras.
<i>Proctor</i>	Ensayo de compactación de suelos efectuado en laboratorio, con el objetivo de conseguir el punto donde se produce un máximo al cual corresponda la densidad seca máxima y la humedad óptima.
PT	Principio de tangente, utilizado en el diseño geométrico, planos y alineamiento topográfico de carreteras.
Rasante	El trazo vertical que determina el nivel superior, sobre la línea central, que se proyecta construir a lo largo de la carretera. Muestra la elevación y la pendiente del trazo proyectado.

Reflectorización	Capacidad de un dispositivo de reflejar la luz con intensidad en múltiples direcciones.
Revenimiento	Prueba de materiales efectuada a una mezcla concreto para medir su grado de consistencia.
Sección transversal	Representación gráfica en plano vertical de las diferentes alturas que tiene un terreno a lo largo de un eje perpendicular al eje longitudinal de una carretera.
Sub-base	Capa de la estructura de pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito provenientes de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar.
Sub-rasante	El área sobre la que se construyen las capas de sub-base, de base, de superficie y los hombros. Se representa gráficamente en los planos por medio de una línea que es el eje longitudinal central de la carretera.

Supervisora	Empresa individual o jurídica cuya función es la supervisión técnica y control administrativo de los trabajos del proyecto, a fin de que estos se construyan de la calidad y en el tiempo estipulado en el contrato; está representada por el delegado residente.
Terracería	Durante el proceso de construcción de una carretera, se le llama así al nivel de la superficie de sub-rasante.
Trompos	Estacas de regular altura utilizadas por la brigada de topografía para indicar trazos de línea, alturas u otros puntos de importancia durante la construcción de la carretera.
Vaciado	Comúnmente se le llama así a la sub-excavación o retiro de material inadecuado para la cimentación, sub-rasante u otras partes de la carretera.
Vialeta	Elemento reflector de plástico acrílico fijado al pavimento con un compuesto altamente adherente. Tiene dos caras reflectivas en forma de prisma, y se coloca sobre el mismo eje de las líneas longitudinales continuas o discontinuas de la señalización horizontal de una carretera.

RESUMEN

La construcción de una carretera está compuesta por diferentes fases, iniciando con el trazo de la línea topográfica de diseño para determinar los anchos y alturas correspondientes a los cortes o rellenos que se tendrán que hacer durante el movimiento de tierras.

Conforme el avance, se colocan las alcantarillas y sub-drenajes que servirán para evacuar las aguas pluvial y las provenientes de corrientes subterráneas que puedan afectar la cimentación de la carretera.

Terminada la sub-rasante, se construye la capa de sub-base que es una combinación suelos y gravas debidamente clasificados para soportar y transmitir las cargas provenientes del tránsito.

Según lo indique el diseño, se construirá la capa de base que puede ser de un material similar al de la sub-base o bien utilizar una base negra con baja proporción de cemento asfáltico. Conforme avanza la construcción de la base, se inicia la construcción de cunetas.

Como última capa, construimos la superficie de pavimento o capa de rodadura; si es de concreto asfáltico, será colocada con una finalizadora de asfalto y estará constituida por una mezcla de cemento asfáltico con agregados gruesos de baja graduación y agregados finos.

Finalizada la construcción, se coloca la señalización vertical, compuesta por señales de tránsito plasmadas en tableros de metal, montadas en postes metálicos a una altura dada; también se deberá colocar la señalización horizontal, compuesta por marcas y señales que se hacen sobre la superficie del pavimento tales como las líneas longitudinales centrales y laterales, pasos de cebra, símbolos, vialetas y otros.

OBJETIVOS

General

Proporcionar una base de información amplia que describa el proceso que se debe de seguir en los trabajos de construcción de una carretera, así como indicar las normas, especificaciones y ensayos que se deben de cumplir durante la misma.

Específicos

1. Poder identificar la variedad de equipo con que se cuenta en un proyecto para utilizarlo en el lugar correcto.
2. Aplicar y cumplir con las normas y especificaciones que sean necesarias en los trabajos de construcción de carreteras.
3. Los temas abordados sirvan para complementar la información recibida en los cursos magistrales del área de transportes de la Escuela de Ingeniería Civil.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales razones para elaborar este trabajo, es proporcionar un medio de información que oriente e indique cuáles son los pasos a seguir durante las etapas de construcción de una carretera, de tal forma, que sea de mucha ayuda para alguien que no tenga experiencia en el ramo o sirva como medio de consulta para alguien que ya la tenga.

Dentro de su contenido se describe el personal necesario para tener un buen control y desarrollo de las actividades, la forma en que se deben de realizar los trabajos dentro del proyecto, se indican las especificaciones y normas con que se debe cumplir para obtener resultados de calidad, los requisitos que deben cumplir los materiales que sean utilizados en la construcción, así como las pruebas de laboratorio de suelos que se aplican usualmente en el proceso de construcción.

Se describen ampliamente los pasos que se deben dar para construir cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento, partiendo desde la limpieza del terreno por donde pasará la carretera hasta los últimos detalles previos a su recepción como proyecto terminado.

1. PERSONAL REQUERIDO EN LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Dentro del proceso de construcción de una carretera se involucran dos entidades principales, una de ellas es la oficina supervisora, que representa a la Dirección General de Caminos; y la otra es la empresa constructora o contratista que se encargará de realizar los trabajos de construcción. Por tal razón en este capítulo se hará mención del personal de ambos sectores, y de los cuales en algunos casos pueden ser una o varias personas.

1.1. Personal profesional de supervisión

1.1.1. Delegado residente

Es el ingeniero civil colegiado activo que representa a la Dirección General de Caminos y que tiene a su cargo la supervisión de la obra, los asuntos técnicos y administrativos relacionados con la ejecución de los trabajos contratados. El ingeniero delegado residente debe de estar adscrito al Colegio de Ingenieros de Guatemala.

1.1.2. Ingeniero auxiliar

Es el ingeniero civil colegiado activo, quien desempeña las funciones que le asigne el delegado residente, y quien puede sustituirlo en su ausencia. El ingeniero auxiliar debe de estar adscrito al Colegio de Ingenieros de Guatemala.

1.2. Personal profesional del contratista

1.2.1. Superintendente

Es el jefe ejecutivo del contratista quien dirige la obra, teniendo plena autoridad para actuar como su representante autorizado con relación al trabajo, debiendo ser ingeniero civil colegiado activo y hablar el idioma español. El ingeniero superintendente debe de estar adscrito al Colegio de Ingenieros de Guatemala.

1.2.2. Ingeniero auxiliar

Es el ingeniero civil colegiado activo, que desempeña funciones asignadas por el superintendente y otras funciones inherentes al contratista. El ingeniero auxiliar debe de estar adscrito al Colegio de Ingenieros de Guatemala.

1.2.3. Ingeniero de talleres

Es el ingeniero mecánico o mecánico eléctrico que tiene a su cargo la Dirección del taller de reparaciones y su personal. No todos los contratistas cuentan con ingenieros de esta rama, aunque es recomendable que lo tengan para que los trabajos de reparación y mantenimiento de su maquinaria y equipo en general, sean supervisados por un profesional en la materia.

1.3. Personal técnico profesional y administrativo de supervisión

1.3.1. Calculista

Es la persona encargada de realizar los cálculos de los diseños de la geometría vertical y horizontal de la carretera en construcción, diseños de estructuras de drenaje y sus componentes, cálculo de movimiento de tierras, controles de renglones de trabajo, cálculo y cotejo de estimaciones de pago para el contratista, entre otros.

1.3.2. Dibujante

Es la persona encargada de realizar trabajos de dibujo de perfiles, secciones transversales, cálculo de libretas de topografía, cálculo de áreas para cálculo de movimiento de tierras, control de acarreos y otros renglones de trabajo.

1.3.3. Inspector

Es el representante autorizado del delegado residente, designado para inspeccionar la obra y los materiales destinados para la misma.

1.3.4. Laboratorista jefe

Es la persona calificada para desarrollar todos los trabajos y ensayos en el laboratorio de materiales y suelos, quien debe dominar también el manejo y uso de equipo para ensayos de materiales y suelos.

1.3.5. Topógrafo

Es la persona que tiene a su cargo la brigada de topografía, responsable a su vez de hacer todo tipo de levantamientos, mediciones, trazos, pre-localización y localización de líneas de trazo de la carretera y sus estructuras de drenaje. Debe de dominar el uso de equipo topográfico como nivel de mano, nivel de trípode, teodolitos, y en la actualidad, preferentemente debe saber usar estaciones totales.

1.3.6. Secretario administrativo

Es la persona que se encarga de la administración de la oficina supervisora, esta también dentro de sus funciones, la elaboración de todo tipo de documentos que se relacionen con los trabajos de supervisión y construcción de la carretera.

1.4. Personal técnico profesional y administrativo del contratista

De igual forma que la supervisora, debe de contar con calculista, dibujante, laboratorista jefe, topógrafo, Secretario Administrativo, y además con:

1.4.1. Jefe o encargado de maquinaria

Es la o las personas que debido a su experiencia en el trabajo de construcción, tienen a su cargo la dirección de los diferentes tipos de maquinaria pesada y al personal de campo tal como operadores, topógrafos y sus brigadas, laboratoristas de campo y ayudantes, se encargan del desarrollo de los trabajos de construcción en el campo.

1.4.2. Jefe de talleres

Es el mecánico en jefe, quien tiene a su cargo a otros mecánicos y ayudantes de taller que se encargan de las reparaciones y mantenimiento del equipo y la maquinaria utilizada en el proyecto.

1.5. Personal de campo de supervisión

1.5.1. Laboratoristas de campo

Son las personas que auxilian al inspector y al laboratorista jefe, en la supervisión de la ejecución de los trabajos, deben de tener conocimientos generales de las diferentes pruebas y ensayos que se realizan en chequeos de campo, para laboratorio de suelos.

Así como saber los diferentes tipos y calidades de materiales y suelos que se utilizan en la construcción de carreteras. De acuerdo a la experiencia del laboratorista de campo, así se le deberá designar su área de trabajo.

1.5.2. Apuntador de materiales

Son las personas encargadas de reportar y llevar los controles de acarreos y cantidades de materiales en el movimiento de tierras y en otros renglones de trabajo que ameriten acarreos o control de materiales en la ejecución de un trabajo; pueden ejecutar supervisión en trabajos leves.

1.5.3. Brigada de topografía

Es la encargada de realizar todo tipo de levantamientos topográficos, dentro de los cuales tenemos trazos de líneas de pre localización, localización y replanteo de línea de localización, levantamiento de tránsito de la línea de localización, nivelación de línea central, levantamiento de secciones transversales, levantamiento de perfiles para diseño de alcantarillas, trazo para construcción de drenajes menores, localización y trazo para cimentación de puentes y estructuras de drenaje mayor, trazo y localización de diferentes estructuras ordenadas por la supervisora, chequeo de rasante y recepción de tramos terminados de sub-rasante o afinamiento de sub-rasante, base y sub-base.

Una brigada de topografía generalmente está formada por un topógrafo, un nivelador, un porta mira, dos cadeneros, tres ayudantes, contando con un equipo básico de un teodolito completo, un nivel completo, un nivel de mano, un estadal de 4 m, una cinta de metal de 30 m o más, una cinta de tafetán de 30 m o más, dos plomadas o más, una punta de metal (para abrir agujeros para trompos), almádana, martillo, machetes, clavos de diferentes tamaños, sierra de mano, crayones y madera para fabricar trompos; también es recomendable que porten equipo de seguridad vial.

La brigada de topografía también actúa, para la elaboración de estimaciones, en el control y recepción de los diferentes trabajos ejecutados por el contratista para la elaboración de estimaciones como lo son la construcción de cunetas, bordillos, diferentes tipos de excavaciones y otros.

1.6. Personal de campo del contratista

De igual forma que la supervisora, el contratista debe de contar con laboratoristas de campo, apuntador de materiales, brigadas de topografía, y además con personal calificado para operar los diferentes tipos de maquinaria pesada que se utilizan, tal como tractores oruga de diferentes tamaños, excavadoras, retroexcavadoras, cargadores frontales, moto niveladoras, moto traíllas, camiones, camiones de volteo, camiones articulados, compresores, equipo de perforación, compactadores, colocadoras de concreto asfáltico, distribuidoras de asfalto, etc.

2. ETAPAS QUE COMPONEN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CARRETERA

2.1. Definición de pavimento

El pavimento es una estructura que está compuesta por diferentes capas de suelos y materiales pétreos desde su punto de fundación hasta la superficie en la que circula el tráfico. La superficie sobre la que se empieza a construir la estructura de pavimento se llama sub-rasante, la cual tiene que cumplir con varias especificaciones que van desde la plasticidad y calidad de los materiales (suelos), hasta el valor soporte superficial que determina si resiste o no las cargas que le estarán llegando con el paso del tráfico.

El pavimento puede estar formado por varias de las siguientes capas: sub-base y base, que suelen ser de origen natural de banco de materiales que cumplan con sus especificaciones, o de agregados triturados ya sea de origen de canto rodado o cantera combinadas con materiales cohesivos. Cuando se diseñan pavimentos flexibles se puede colocar tratamientos superficiales, capa de base negra, concreto asfáltico; y cuando se diseñan pavimentos rígidos se podrá colocar capa de base estabilizada con Cemento Pórtland, concreto hidráulico, entre otras.

El diseño de un pavimento se hace en función de la cantidad de tráfico que circula y que circulará dentro del período de diseño y basado en el total de ejes equivalentes de 80 kN (ESAL, por sus siglas en inglés significa *Equivalent Single Axle Load* que es la cantidad pronosticada de repeticiones del eje patrón de carga equivalente de 80 kN (18 000 libras), para el período de diseño analizado) que tendrá que soportar la estructura. Con base a lo anterior, se determinarán los diferentes espesores y la combinación de capas que conformarán la estructura del pavimento, así como también el tipo de superficie de rodadura que le será colocada.

2.2. Etapas de construcción de una carretera

Las etapas relevantes que componen el proceso de construcción de una carretera y que son indispensables para la funcionalidad de una estructura de pavimento son las siguientes:

- Movimiento de tierras;
- Construcción de drenaje menor y drenaje mayor;
- Construcción de sub-base y base;
- Construcción de la superficie de pavimento o rodadura;
- Construcción de estructuras de puentes;
- Colocación de las señales y marcas de tráfico.

3. TRABAJOS QUE COMPONEN EL MOVIMIENTO DE TIERRAS

3.1. Localización de la línea topográfica

La localización de la línea topográfica consiste en replantear la línea de la carretera, de acuerdo a los planos de diseño del proyecto; este trabajo se inicia a cargo de las cuadrillas de topografía de la supervisora o se hace de mutuo acuerdo con el contratista.

El personal de la supervisora colocará las referencias de los puntos de control horizontal y vertical, establecidos en los planos, consistentes en monumentos de concreto, y corresponderá al contratista hacer el replanteo en detalle a cada 20 m sobre la línea central. El personal de la supervisora también suministrará los datos a utilizarse en el establecimiento de controles de los principales elementos del proyecto.

Los planos, dentro de su información gráfica, deben indicar los puntos en donde se dejaron colocadas referencias físicas al momento de haberse realizado el estudio del diseño; dichas referencias (al igual que los planos) deberán contener los datos de las coordenadas utilizadas en el proyecto.

Después de irse replanteando la línea central, se procederá a hacer su nivelación y el levantamiento de secciones transversales a cada 20 m; dichas secciones deberán tener un ancho mínimo igual al del derecho de vía que determine el diseño, debiéndose ampliar en puntos donde se consideren cortes altos, rellenos grandes, retornos, áreas de parqueo y otros lugares en donde se incremente el ancho nominal de la sección típica.

La definición gráfica de las secciones transversales, unida al diseño horizontal y vertical del proyecto, servirá para determinar las cantidades de trabajo a realizar en el proceso de movimiento de tierras.

Para la ejecución de estos trabajos, la brigada de topografía deberá de utilizar estación total con sus respectivos prismas o teodolitos convencionales, niveles de trípode, niveles de mano, plomadas, brújula, estadal, cinta métrica de vinyl y de metal, radios de comunicación, libretas de campo, cuadernos y otros accesorios como machete, limas, piocha, punta de acero, almádana, pintura de aceite de varios colores, sierra manual, clavos de diferentes tipos, crayones o marcadores indelebles para rotular madera, trompos y estacas de madera.

3.2. Movimiento de tierras

Es la operación de cortar y remover cualquier clase de material independiente de su naturaleza o de sus características, dentro o fuera de los límites de construcción, para incorporarlo en la construcción de rellenos, terraplenes y cualquier otro elemento que se relacione con la construcción de la carretera, así como también el corte y movimiento del material sobrante o que no se va a utilizar en otros trabajos de la carretera, catalogándolo como material de desperdicio.

3.3. Cortes

Previo al inicio de los trabajos de terracería, se deben de ejecutar las operaciones de limpia chapeo y destronque; los límites del área del derecho de vía que deba ser limpiada, chapeada y destroncada son los indicados en las disposiciones especiales o en los planos.

En áreas donde se deba efectuar la excavación no clasificada, todos los troncos, raíces y otros materiales inconvenientes, deben ser removidos hasta una profundidad no menor de 0.60 m debajo de la superficie de la sub-rasante, y el área total debe ser limpiada de matorrales, troncos carcomidos raíces y otros materiales vegetales y orgánicos susceptibles de descomposición.

Las áreas que se deban cubrir con terraplenes, se deben desraizar a una profundidad no menor de 0.30 m o a 0.60 m en las áreas en donde existan troncos. Este trabajo se puede realizar chapeando y talando los árboles con gente para luego remover toda la capa vegetal con tractor de oruga o iniciando directamente la remoción con tractor de oruga. La forma en que se deben de medir para pago estos trabajos es calculando el número de hectáreas enmarcadas por los límites establecidos dentro del derecho de vía en un plano horizontal.

El material de corte es el material no clasificado que se excava dentro de los límites de construcción; para utilizarlo en cualquier elemento que esté relacionado a la construcción de una carretera y dependiendo de su tipo, calidad o cantidad, se puede catalogar de la siguiente forma:

3.3.1. Excavación no clasificada

Es la operación de cortar y remover cualquier clase de material independiente de su naturaleza o de sus características, dentro o fuera de los límites de construcción, para incorporarlo en la construcción de rellenos, terraplenes y cualquier elemento que implique la construcción de la carretera. Cuando se hayan complementado todos los rellenos y demás elementos, con el material proveniente del corte y exista material sobrante, éste tendrá que desperdiciarse cuando así haya sido contemplado en el diseño o porque el material es inadecuado.

3.3.2. Excavación no clasificada de desperdicio

Es el material resultante de la excavación que, de acuerdo con los planos, constituye sobrante o es material inadecuado para la construcción de la obra.

El material de desperdicio podrá derramarse sobre los taludes exteriores cuando se permita, siempre que no ocasione ningún daño a la propiedad privada, a la vida humana, a sembradíos, ni contaminar ninguna corriente de agua u obstruir la infiltración de la misma hacia el subsuelo, así como tampoco obstruir los canales de entrada y salida de las alcantarillas existentes o de las que se deban de colocar, ni cubrir las áreas donde se construirán las cimentaciones de las estructuras o de otra forma; podrá colocarse en botaderos determinados que luego, dependiendo del uso que se les vaya a dar, tendrán que ser re-vegetados.

3.3.3. Excavación no clasificada para préstamo

Es el material no clasificado, que proviene de excavaciones hechas en áreas ubicadas fuera de los límites de construcción (taludes adyacentes a la sección de corte de la carretera) o de bancos de préstamo previamente analizados y autorizados por el delegado residente.

Cuando el material no clasificado proveniente del corte sea insuficiente para complementar los rellenos y terraplenes de conformidad con los planos, tendrá que recurrirse a obtener y utilizar materiales de préstamo.

3.3.4. Sub-excavación

Es la operación de remover el material inadecuado que se encuentra debajo del nivel de la sub-rasante en las secciones de corte, o debajo del nivel del terreno natural en secciones de terraplén o relleno.

Son materiales inadecuados para la construcción de terraplenes y sub-rasantes, los siguientes:

- Los correspondientes a la capa vegetal.
- Los clasificados en el grupo A-8, AASHTO M 145, que son suelos altamente orgánicos, constituidos por material vegetal parcialmente carbonizados o fangosos; generalmente tienen una textura fibrosa, de color café oscuro o negro y olor a podredumbre; son altamente compresibles y tienen baja resistencia.

3.3.5. Remoción y prevención de derrumbes

Remoción de derrumbes es la operación de remover el derrumbe o deslizamiento del talud original que caiga sobre la carretera. La prevención de derrumbes es la previsión necesaria, ya sea indicada en los planos o establecida por el delegado residente, para evitar que tal derrumbe o deslizamiento pueda ocurrir.

3.3.6. Cortes en roca

Comprenderá la excavación correspondiente a todas las masas de roca, depósitos estratificados y la de todos aquellos materiales que presenten características de roca maciza, cementados tan sólidamente, que únicamente pueden ser excavados utilizando equipo especial o explosivos.

La excavación con explosivos es utilizada cuando el terreno a excavar consiste en roca tan dura que no resulta práctico el uso de maquinaria convencional, debido al desgaste excesivo al que se le sometería. Cuando se dinamita la roca para formar los taludes, se debe dejar una superficie razonablemente uniforme, removiendo de inmediato todas las rocas sueltas.

Todo material rocoso, incluyendo piedras grandes que se encuentren en el lecho del camino, debe ser excavado como sigue:

- Transversalmente, hasta los límites laterales del citado lecho mostrado en los planos; y 0.30 m debajo de la sub-rasante.
- El vaciado ocasionado por la excavación, se debe rellenar hasta el nivel de la sub-rasante, con material de igual calidad al de ésta, que sea aprobado por el delegado residente.

Cuando se autorice, en vez de efectuar la excavación anteriormente citada, se puede colocar sobre la roca una capa, al menos, de 0.30 m de espesor de material adecuado. En ningún caso se permitirán rocas aisladas mayores de 0.10 m, en dicha capa.

La ejecución de los trabajos descritos en los numerales 3.3.1., 3.3.2. y 3.3.3., por lo general son cantidades grandes y en cortes altos, por lo que se sugiere el inicio de tales, con una excavadora de oruga, ya que para este tipo de máquina es más fácil tener acceso a la parte alta de las zonas a cortar; además, por su versatilidad, con ella se puede cortar y cargar directamente a los camiones que transportarán el material, o cortar y apilar para que los camiones sean cargados con un cargador frontal.

Se puede comenzar también a hacer una brecha con una excavadora y luego ingresar un tractor de oruga acondicionado con diente o *Ripper*, el cual le servirá para aflojar el suelo natural para después sacarlo empujado con la cuchilla y apilarlo para que sea cargado a los camiones.

En secciones de corte, la sub-rasante debe ser escarificada hasta una profundidad de 0.30 m inmediatamente debajo del nivel de diseño de la sub-rasante; a continuación debe ser compactada al 95% de la densidad máxima determinada según el ensayo de *Proctor* del material. La compactación se comprobará en el campo, de preferencia mediante el método AASHTO T 191 (ASTM D 1556), con la debida autorización, se pueden utilizar otros métodos técnicos, incluyendo los no destructivos.

3.4. Rellenos

Se denomina relleno a la tierra que se coloca y compacta sobre la superficie de un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.

Generalmente les llamamos rellenos pero técnicamente se nombra como terraplenes. En las áreas donde sea necesario construir un terraplén, se deben de ejecutar previamente los trabajos correspondientes a limpia, chapeo y destronque; también se deben de retirar todo tipo de estructuras existentes o materiales inapropiados y dejar instalados los sub-drenajes y drenajes que fueran requeridos de acuerdo al diseño.

Cuando se construya un terraplén sobre una capa de balasto existente, se deberá escarificar dicha capa hasta una profundidad mínima de 0.15 m. Cuando se construya un terraplén sobre un pavimento existente, se deberá escarificar y homogenizar 0.20 m debajo de la capa de rodadura. La sub-rasante expuesta, nueva o existente en todo el ancho de la sección, deberá ser conformada y compactada de acuerdo a especificaciones.

Cuando se trabaje en laderas, la superficie se debe limpiar de toda vegetación y capa vegetal, debiendo de inmediato construirse terrazas o remover el terreno escarificándolo hasta una profundidad no menor de 0.15 m.

El terraplén debe ser construido en capas, principiando en la parte más baja con capas de anchos parciales (cuñas) y aumentando tales anchos conforme vaya aumentando la altura del terraplén; la profundidad total del escarificado y material que haya que agregarse, no debe exceder del espesor permisible de la capa.

Todos los terraplenes se deben construir hasta llegar a la sub-rasante de diseño y en capas aproximadamente paralelas a ella; para esto se deberá de contar con el auxilio de la brigada de topografía, que será la encargada de ir colocando estacones con una altura que determinará el espesor de la capa a llenar; los estacones se colocarán longitudinalmente a cada veinte metros acorde al estacionamiento, a ambos lados de la sección típica y al ancho que proyecte la inclinación del talud con la altura de la capa que se trabaja.

Luego de ser depositado el material para la nueva capa deberá ser esparcido con moto niveladora o tractor, ser debidamente humedecido y homogenizado para que alcance la humedad óptima y máxima compactación respecto al ensayo de *Proctor* efectuado para el material que se esté utilizando.

El espesor de cada capa se determinará según la capacidad del equipo que se empleará para la compactación del material utilizado. Las capas de un terraplén no deben de ser menores de 0.10 m ni mayores de 0.30 m; por lo general se trabajan capas de 0.20 m de espesor y para compactarlas se puede utilizar rodos vibro compactadores lisos o rodos vibro compactadores pata de cabra, los cuales se pasarán varias veces en sentido longitudinal de la capa para cubrir su ancho hasta obtener la máxima compactación requerida.

Los terraplenes se deben compactar como mínimo al 90% de la densidad máxima, determinada por el método AASHTO T 180 y los últimos 0.30 m se deben compactar como mínimo, al 95% de la densidad máxima determinada por el método indicado.

3.5. Acarreos

El acarreo es una forma de reconocer un pago (en $m^3.km$) al transporte de materiales no clasificados que provengan de un corte causado por la construcción de la tercería hasta la altura de sub-rasante de una carretera.

Esto se hará únicamente cuando la longitud de traslado exceda de los mil metros y se pagará como medida efectiva la diferencia entre la longitud total de acarreo y los mil metros iniciales. El cálculo del volumen de material transportado se hará por medio de secciones tomadas en su estado original o aplicando factores de contracción al volumen de material suelto transportado.

Como medio de transporte se podrán utilizar camiones de volteo para mayor efectividad, tratando de no sobrecargarlos, ya que en algunas ocasiones los caminos de acceso no están en buenas condiciones o sus pendientes resultan ser algo pronunciadas para ellos, ya cargados.

Para tener un acarreo efectivo, ya sea en trayecto largo o corto, hay que tomar en cuenta el tiempo que utilizan los vehículos en su ciclo de ida y venida, el tiempo y efectividad de la máquina que se utiliza para cargar los camiones, las condiciones del camino por el que se debe de realizar el acarreo, ver si dicho camino es ancho o angosto, o se realizan otros trabajos de construcción para determinar la fluidez del tráfico de los camiones; y si es acarreo de material de desperdicio, tomar en cuenta las condiciones en que se encuentra el botadero.

4. TRABAJOS QUE COMPONEN LA CONSTRUCCIÓN DE DRENAJES

4.1. Drenajes

Son las estructuras comúnmente llamadas alcantarillas, que tienen por objetivo principal permitir el paso del agua al librar un determinado obstáculo.

Cuando se realiza el diseño geométrico de una carretera, el mismo normalmente se interpone en el movimiento natural de escurrimiento de las aguas de la zona de emplazamiento; en la ladera de una montaña, se interpone en el camino de escurrimiento de las aguas que viajan por la montaña; cuando atraviesa un riachuelo, un río o cualquier otro canal, y aún en los lugares planos, la topografía del terreno obliga al movimiento del agua en alguna dirección. Una carretera, en la mayoría de los casos constituye un verdadero obstáculo al paso del agua. Por lo tanto, las alcantarillas son los conductos que se construyen por debajo de la sub-rasante de una carretera u otras obras viales (vía férrea), con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas.

Las alcantarillas pueden ser de tubos de concreto reforzado, tubos de material plástico o tubos de metal corrugado; estas últimas, por su forma pueden ser tubos de sección circular o elíptica, tubos abovedados (con arco y fondo metálico) o arcos metálicos (con cimentación de concreto); las alcantarillas de metal son fabricadas con planchas estructurales con corrugaciones en sentido perpendicular a su longitud.

Para orientar de la forma más adecuada el eje de las alcantarillas con el eje de la corriente de la cuenca que se quiere encausar, éstas se colocan de forma perpendicular al eje longitudinal de la carretera o con un ángulo de esviaje que se mide a la izquierda o la derecha a partir de la línea perpendicular que se forma con el eje de la carretera.

Para esto es necesario hacer un levantamiento topográfico de la trayectoria de la cuenca, pasando por el punto en donde se intersecta con el eje de la carretera y levantar un perfil por medio de la nivelación sobre esta misma trayectoria. Con la información anterior, se podrá definir la altura (cotas *invert*) y la pendiente a la que se debe colocar la alcantarilla por debajo de la sub-rasante. Una alcantarilla debe tener como mínimo 0.60 m de recubrimiento a la altura de la sub-rasante, pues con ésta la alcantarilla ya soportará cargas para los trabajos de construcción de la carretera previo a ser colocada la estructura del pavimento.

La longitud de la alcantarilla se determinará por medio de la proyección del diámetro de la alcantarilla sobre la línea de cimentación con su pendiente hacia los taludes de corte o relleno que hayan sido diseñados en ese lugar.

El ancho de la excavación estructural de una alcantarilla, se obtiene sumando el diámetro de la alcantarilla a colocar más un metro adicional; ésta indica que en el campo se trazará inicialmente su eje y hacia cada lado una distancia para un eje lateral igual a la suma de la mitad del diámetro de la alcantarilla a colocar más 0.50 m, cuyo objetivo es que exista espacio suficiente para maniobrar el equipo de compactación cuando se realice el trabajo de rellenar la zanja.

La altura de la excavación será desde la línea que determina la pendiente según sus cotas *invert* o de cimentación, hasta la altura que delimite con la cota de sub-rasante o, según el caso, con el terreno natural o de fundación para un terraplén adicional que se fuera a construir sobre ese lugar. Para realizar la excavación, si el diámetro de la alcantarilla no es muy grande y la cota de cimentación no es muy profunda, se podrá utilizar una retroexcavadora, pero si el diámetro y la altura de excavación es mayor, será recomendable que se utilice una excavadora ya que esta posee un brazo más largo y un cucharón más ancho y de mayor capacidad volumétrica por que este trabajo se podrá realizar en menos tiempo.

Si el punto en donde se colocara la alcantarilla está en zona de tránsito, se recomienda que primero se coloque la mitad de la longitud diseñada o una longitud adecuada a manera de no dejar interrumpido el tránsito del lugar.

Previo a la colocación de la alcantarilla sobre su eje de excavación, se hará una leve excavación adicional de aproximadamente cinco centímetros que será rellena con arena, formando lo que comúnmente llamamos cuna; esto se hace para que la estructura se acomode sobre el terreno y quede lo más asentada posible sobre el suelo.

A continuación, se comenzará a rellenar la zanja con material no clasificado por medio de capas sucesivas y de espesor adecuado al equipo que se utilice en la compactación, que podrá ser con planchas vibratoras o vibro apisonadores, la compactación se debe de llegar como mínimo al 90% de la densidad máxima del *Proctor* del material hasta una altura mínima de 60 cm sobre la alcantarilla.

El material de relleno sobre una alcantarilla que sea de una altura mayor de 60 cm se tomará como material no clasificado, y si el área de trabajo lo permite, se podrá utilizar equipo pesado de compactación.

De acuerdo al sentido de la corriente, en el punto de entrada y salida de la alcantarilla se construirán estructuras para la conducción de aguas, consistentes en cajas y cabezales que podrán hacerse de concreto ciclópeo, concreto de 17.5 MPa (2500 psi), mampostería de piedra, ladrillo o bloque, para lo cual los tipos y dimensiones vendrán indicados en los planos según la alineación y diámetro de la alcantarilla. En el punto de entrada según su necesidad, se podrá construir cajas o cabezales rectos o con aletones, mientras que en el punto de salida únicamente se podrá construir cabezales rectos o con aletones.

Los cabezales a ser construidos deben de quedar alineados en forma paralela al eje principal de la carretera y, en la cara superior, alineado de forma paralela con la pendiente del eje principal de la carretera. En algunos casos, a los cabezales de entrada o salida es necesario construirles un piso (gabacha) o disipadores de energía de la corriente, con el fin de evitar la erosión en puntos inmediatos a ellos, que puedan provocar su colapso.

4.2. Drenaje menor

Las alcantarillas para drenaje menor suelen construirse con un diámetro adecuado a la necesidad de su diseño, y generalmente van desde diámetros de 0.61 m (24") hasta diámetros de 1.83 m (72"). Actualmente no se recomienda la colocación de alcantarillas de 0.61 m (24") de diámetro, ya que por ser un poco reducida, dificulta su limpieza al quererle dar mantenimiento, recomendando que se construyan alcantarillas con un diámetro mínimo de 0.76 m (30").

4.3. Drenaje mayor

Ocasionalmente se encuentran cuencas, en las cuales ya no es recomendable colocar alcantarillas de drenaje menor, por lo que es necesario colocar alcantarillas de diámetros mayores que en oportunidades llegan a medir 3.65 m o 4.10 m. Estas alcantarillas son del tipo *Multi Plate*, ya que se construyen por medio de anillos formados por planchas de lámina corrugada y galvanizada, de mayor espesor para soportar cargas mayores de rellenos.

4.4. Alcantarillas de concreto

Cuando se construyen alcantarillas de concreto se deben de utilizar tubos de concreto reforzado que cumplan con los requisitos establecidos en AASHTO M 170M (ASTM C 76), en las disposiciones especiales, debe indicarse qué clase de tubo debe usarse.

La colocación de los tubos debe iniciarse en el extremo de aguas abajo, con los extremos de campana o ranura en la dirección aguas arriba. Cuando se usen tubos de campana, se debe excavar en la superficie preparada, el espacio para acomodar la campana y para permitir un contacto firme del cuerpo del tubo en toda la superficie de cimentación. Los tubos deben ser encajados de tal manera que, cuando se apoyen en la superficie de fundación, formen un fondo interior liso y uniforme. Las juntas de los tubos de concreto deben ser calafateadas y llenadas con mortero o lechada espesa de cemento hidráulico, o utilizando otros tipos de unión que sean aceptados.

Las juntas se deben mojar completamente antes de hacer la unión con mortero. Antes de colocar la siguiente sección, las mitades inferiores de las campanas o ranuras de cada una, deben ser llenadas con mortero de suficiente espesor para permitir que la superficie interior quede a un mismo nivel.

Después que la sección ha sido colocada, el resto de la junta debe ser llenada con mortero, usando suficiente mortero adicional para formar un anillo exterior alrededor de la junta. El interior de la junta debe ser limpiado y alisado.

Después del fraguado inicial, el mortero de los anillos exteriores en las juntas debe ser protegido del aire y del sol con una cubierta de tierra saturada de agua o un brin completamente mojado.

El tubo de la alcantarilla que se encuentre desalineado longitudinalmente y en sus alturas, debe ser quitado y vuelto a colocar correctamente, sin ningún pago adicional.

Al estar hecha la excavación de la zanja, los tubos deben de ser bajados con mucho cuidado ya que pueden sufrir daños en su estructura.

Para evitar esto, se recomienda que se construyan tableros inclinados con madera para que se puedan bajar con mayor facilidad atados con lazos y con suficiente personal para dominar el peso de cada tubo. Otra forma sencilla de colocar los tubos es bajándolos con lazos o cinchos atados al cucharón de una excavadora o al de un cargador frontal.

No se debe efectuar ningún relleno sino hasta que el mortero o lechada de las juntas haya endurecido lo suficiente para que no sea fácilmente dañado.

4.5. Alcantarillas de lámina corrugada

Cuando se construyen alcantarillas de metal se deben de utilizar planchas estructurales de acero galvanizado que deben de cumplir con los requisitos de AASHTO M 167M, o planchas estructurales de aleación de aluminio que deben cumplir con lo estipulado en AASHTO M 164M, con pernos de acero para cualquiera de los dos tipos de planchas que cumplan con lo estipulado en AASHTO M 164 (ASTM A 325).

Las alcantarillas circulares anidables deben ser fabricadas en secciones normales semicirculares provistas de pestañas salientes en los bordes, en donde tiene varios agujeros para los pernos. Al armar una alcantarilla de metal anidable, las uniones transversales de las secciones de la parte superior e inferior deben ser alternas.

Esto significa que, al colocar una plancha inferior, su correspondiente superior se debe de colocar a partir de la mitad de ésta, de manera que, para obtener los extremos terminados en un plano vertical, se debe de contar con medias secciones para el principio y el final de la alcantarilla.

Antes de colocar las alcantarillas de metal corrugado, se debe de comprobar que las zanjas hayan sido excavadas de acuerdo con lo indicado en planos o en las especificaciones, y los lechos o superficies de cimentación conformados y terminados como se indica en los planos. La colocación de las alcantarillas se debe principiar en el extremo de aguas abajo, cuidando de que las pestañas exteriores circunferenciales y las longitudinales de los costados se coloquen frente a la dirección aguas arriba.

Cuando se coloquen alcantarillas de mayor diámetro y se utilicen estructuras de planchas estructurales (*multi plate*) se debe de contar con una copia de las instrucciones de montaje antes de iniciar con el ensamblaje.

Las instrucciones deberán indicar la posición de cada plancha y el orden de montaje. Para asegurar las planchas se deberá de apretar los pernos a diferentes torques dependiendo del material de la lámina; se debe de aplicar un torque mínimo de 135 Nm (Newton metro) y un máximo de 400 Nm a los pernos de acero de las plancha de acero. Se debe de aplicar un torque mínimo de 120 Nm y un máximo de 155 Nm a los pernos de acero y a los de aluminio de las planchas de aluminio de 2.5 mm de espesor.

Las alcantarillas anidables de metal pueden ser armadas directamente dentro de la zanja en donde quedarán instaladas, aunque a veces por la estrechez de la zanja, resulta más cómodo armar cañones de longitudes regulares fuera de la zanja para luego colocarlos en su lugar suspendidos del cucharón de una excavadora o un cargador frontal. Se debe de tener cuidado con la longitud que se le dé al cañón, ya que al ser trasladada, la alcantarilla puede fallar debido a su propio peso, lo que provocará una deformación irreparable en su estructura y con ello su reemplazo total.

Para el armado de las alcantarillas compuestas por planchas estructurales se podrá colocar andamios y vigas de madera para sostener las planchas mientras se unen y aseguran con otras planchas para ir formando los anillos circulares. El traslado y colocación de cada plancha se podrá hacer también con la ayuda de una excavadora, ya que por la longitud y extensión de su brazo, se hace más fácil sostener y maniobrar las planchas cuando comienzan a separarse del suelo para formar las curvaturas hacia arriba.

5. TRABAJOS QUE COMPONEN LAS SUB-BASES Y BASES

Previo a la colocación de cualquier capa de sub-base, la sub-rasante debe de estar terminada. Cuando se llega al nivel de sub-rasante por medio de la construcción de un terraplén, los últimos 0.30 m se deben de compactar como mínimo, al 95% de la densidad máxima determinada para el material en uso.

Cuando el nivel de sub-rasante coincida o se aproxime al nivel de una carretera previamente construida, será necesario reacondicionar dicha superficie escafrificando a una profundidad de 0.20 m, eliminando las rocas mayores de 0.10 m y, si es necesario, agregar o cortar material para conformarlo hasta llegar a los niveles de la sub-rasante diseñada. La sub-rasante reacondicionada debe ser compactada con una tolerancia del contenido de humedad del 3 % de la humedad óptima y llegar a un 95% de compactación respecto de la densidad máxima.

Si se llega al nivel de sub-rasante por medio del corte de material no clasificado, se debe revisar la superficie y verificar que no hayan zonas que contengan materiales inapropiados y, si se diera el caso, éstos tendrán que ser removidos y sustituidos por materiales no clasificados o con material de base.

Es recomendable que las superficies de sub-rasante alcanzadas por medio de corte sean también escafrificadas y compactadas.

Al estar terminada la sub-rasante, además de los chequeos de compactación se le deberán practicar chequeos de deflexión por medio de la Viga Benkelman (AASHTO T 256).

5.1. Capa de sub-base

Es la capa de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar.

La sub-base puede ser sub-base común, sub-base granular, o sub-base de grava o piedra triturada, está formada por la combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural, clasificados o con trituración parcial para constituir una sub-base integrante de un pavimento, también puede ser una combinación de piedra o grava triturada, combinada con material de relleno.

También se pueden construir sub-bases de la recuperación del pavimento existente en combinación con material de aporte, y sub-base estabilizada compuesta de materiales pétreos y/o suelos mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización de suelos, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia.

La sub-base puede tener un espesor compactado variable por tramos, según lo indicado en los planos, lo establecido en las disposiciones especiales o lo ordenado por el delegado residente, de acuerdo con las condiciones y características de los suelos existentes en la sub-rasante, pero en ningún caso dicho espesor debe ser menor de 0.10 m ni mayor de 0.70 m.

A continuación se describirán los trabajos que se realizan en la colocación de una capa de sub-base granular o sub-base de grava o piedra triturada.

Al tener la sub-rasante terminada, se debe colocar en la línea central de localización trompos o estacones a cada 20 m con la altura que deberá tener la capa de sub-base de acuerdo al diseño, (la capa de sub-base no será menor a 0.20 m ni mayor a 0.30 m); también se deben de colocar estacones a lo ancho de la sección típica de diseño a manera de formar un prisma para que sea llenado con el material de sub-base.

El llenado se debe de hacer con camiones de volteo que irán depositando el material formando promontorios dentro del ancho de la pista.

Dichos promontorios serán esparcidos con una moto niveladora hasta llenar la altura marcada por los trompos y, cuando está llena la capa, se comienza a realizar el trabajo de mezclado y homogenizado con tal máquina trabajando primero media sección; la moto niveladora comienza a voltear el material de su lugar sacándolo hacia el otro lado de la sección hasta llegar casi al nivel de la sub-rasante; después procede a voltear nuevamente el material regresando a su lugar, haciendo dicha operación para que el material quede mezclado homogéneamente.

Durante este proceso de mezclado, se debe de ir chequeando el contenido de humedad del material de sub-base por medio de métodos rápidos de campo como lo es por medio de *Speedy*, éste aparato trabaja por medio de carburo el cual reacciona a la humedad contenida en la muestra de material analizado. Al terminar de mezclar la primera media sección se procederá a realizar la misma operación en la otra media sección del tramo que se trabaja.

Al estar terminada la sección completa, se procede a compactar la capa de material por medio de rodos vibro compactadores lisos hasta obtener el 100% de la densidad máxima determinada por el método AASHTO T180, teniendo una tolerancia en menos del 3% respecto al porcentaje de compactación especificado. Los ensayos de compactación se deben de realizar cada 400 m² de cada una de las capas que se compacten y no se deben de realizar a una distancia menor de 20 m en sentido longitudinal.

La superficie de la capa terminada se debe de verificar por medio del uso de dos reglas a las que se les atará un cordel a una determinada altura; dichas reglas se irán colocando verticalmente sobre cada dos trompos centro y orilla a manera que quede tenso el cordel que está atado a cada uno de ellos y, al estar tenso el cordel, se pasará un escantillón graduado en varios puntos a lo largo del cordel con lo que se determinará si la altura de la capa es constante, permitiéndose irregularidades en la superficie en más y en menos (no mayores) a 10 mm.

Si existiesen diferencias mayores a lo indicado en más, se deberán hacer los cortes con moto niveladora para llegar a las alturas de diseño; por lo contrario, si hubiese depresiones mayores a lo indicado, el trabajo se tendrá que reparar escarificando y mezclando mayor cantidad de material para llegar a las alturas de diseño.

Se deberá de hacer el chequeo de deflexiones por medio de la viga Benkelman (AASHTO T 256) o con la aplicación de otro método técnico reconocido y aceptado profesionalmente, se acepta una tolerancia para una capa de sub-base de 2 mm y para una capa de base de 2.5 mm.

Si surgieran deflexiones mayores o la existencia de baches en la capa de sub-base, se tendrán que reparar teniendo cuidado de las causas que originaron el daño, ya fuese por fallo en la sub-rasante o exceso de humedad en el material de sub-base. Para efectos de pago la capa de sub-base se da por recibida hasta que se encuentre cubierta con material de base.

5.2. Capa de base

La base puede ser: base granular, que es la capa formada por la combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural, clasificados o con trituración parcial; base de grava o piedra trituradas, formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno; capa de base de suelo cemento, formada por una mezcla de materiales de origen volcánico compuestos por pómez o arena de río, incluyendo gravas en estado natural mezclados con cemento hidráulico, capa de base negra que está constituida por materiales granulares pétreos recubiertos con Cemento Asfáltico, elaborada en planta, en caliente.

También se puede construir una capa de base por medio de la recuperación del pavimento existente en combinación con material de aporte, y base estabilizada, que es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas cuando sea requerido en las disposiciones especiales, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia.

Si la capa que será colocada sobre la sub-base es de base granular o base de grava o piedra triturada, el procedimiento de trabajo es igual al descrito anteriormente para la sub-base, teniendo en cuenta que, después de haber cumplido satisfactoriamente con todos los chequeos previos a su recepción, se debe de proteger la capa de base aplicándole el riego de imprimación, que es la aplicación de un asfalto líquido, por medio de riego a presión sobre la superficie de la base y los hombros de la carretera, con el fin de protegerla, impermeabilizarla y endurecer la superficie favoreciendo así la adherencia entre la superficie de la base y la capa inmediata superior.

Entre los asfaltos que se pueden utilizar para la aplicación de la imprimación están MC-30, MC-70, MC-250, que se deben de aplicar a temperaturas mayores a 30 °C, 50 °C y 75 °C respectivamente. La aplicación de la imprimación se debe hacer con camiones distribuidores de asfalto los cuales están acondicionados con sistemas bombas y barras con boquillas aspersoras para cubrir eficientemente la superficie que se imprima y con una cantidad constante por m².

Se podrá aplicar el riego de imprimación sólo si la temperatura ambiente a la sombra es mayor a los 10 °C; no se podrá aplicar el riego de imprimación cuando esté lloviendo o la superficie se encuentre con una humedad mayor del 60% de la óptima.

De acuerdo con especificaciones la superficie que se ha imprimado debe de permanecer 24 horas sin cubrirse para permitir la penetración uniforme del riego y su curado; luego debe ser cubierta con una capa de material secante que puede variar entre 0.003 a 0.006 m³ por m², para absorber los excesos de asfalto y evitar que la imprimación sea levantada con el paso de los vehículos que transiten por la vía.

La colocación del material secante preferentemente se debe hacer con distribuidor de agregados para que la aplicación sea uniforme, aunque por lo general la aplicación se hace lanzando el material con palas desde lo alto de un camión en movimiento, corrigiendo enseguida las áreas que no hayan sido cubiertas con suficiente material de secado.

En algunos diseños de estructura de pavimento se trabaja con capa de base negra, por lo que en estos casos será la capa de sub-base la que se tenga que imprimir, aplicar secante y riego de liga, previo a la colocación de la capa de base negra.

Cuando se trabaja con capa de base negra se debe de cumplir casi con los mismos requisitos que se exigen para trabajar una capa de rodadura con concreto asfáltico, ya que la base negra es muy similar a esta; la diferencia está en que el agregado pétreo de la base es un poco más grueso y la cantidad de cemento asfáltico que se le aplica es menor.

Para colocar la capa de base negra, se debe de limpiar la superficie imprimada de la sub-base ya que tendrá restos sueltos del material que se utilizó como secante de la imprimación. Esta limpieza se debe de comenzar pasando una escoba mecánica para que retire todo el material suelto que se encuentre sobre la superficie; luego se lava con agua a presión por medio del equipo de bombeo con que están equipados los camiones cisterna; y finalmente se limpia con aire comprimido para lo cual se necesita de un compresor de aire grande dotado de mangueras flexibles con sus respectivas boquillas para limpiar los restos de polvo o arena que hayan quedado sobre la superficie imprimada.

La base negra se coloca en caliente por medio de una máquina finalizadora de asfalto autopropulsada, que puede ser de neumáticos o de banda con oruga; al tener la superficie limpia, la brigada de topografía procederá a marcar longitudinalmente sobre las líneas central y laterales, una secuencia de puntos que servirán de guía para alinear la máquina finalizadora de asfalto durante su desplazamiento al ir colocando la mezcla asfáltica.

Para que el material de mezcla asfáltica tenga una mejor adherencia a la superficie imprimada, se le debe de aplicar a ésta un riego de liga, que es un asfalto diluido que se aplica en caliente por medio de una pistola rociadora que está conectada a un camión distribuidor de asfaltos; el líquido utilizado puede ser un cemento asfáltico o una emulsión asfáltica. Se tendrá que esperar un lapso de tiempo mientras se evapora o reaccionan las partículas del material que diluye el asfalto para poder colocar la capa de base negra.

Normalmente, cuando se coloca mezcla asfáltica, el proceso es continuo, por lo que la máquina finalizadora no se detiene, por lo que debe de ser alimentada constantemente por medio de camiones de volteo que le surten del material de base negra; estos camiones entran por el frente de la máquina pero de retroceso para poder descargar sobre la tolva de la finalizadora; con esto, dicha máquina irá colocando la capa semicompactada con un espesor un poco mayor al diseñado para que, al momento de ser compactada con rodos vibradores lisos previamente humedecidos, den al final el espesor de diseño.

6. TRABAJOS QUE COMPONEN LAS SUPERFICIES DE PAVIMENTOS

6.1. Tratamiento asfáltico superficial

Es una capa de revestimiento formada por riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados de tamaño uniforme esparcidos uniformemente que, mediante el proceso de compactación, son acomodados y orientados en su posición más densa. Esta capa recibe directamente la acción del tránsito proporcionando al pavimento las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad al rodaje.

6.1.1. Agregados pétreos

De acuerdo a las “Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes” de la Dirección General de Caminos, tratamientos superficiales pueden haber simples, dobles y triples, en los cuales sus agregados pétreos deben de cumplir con los requisitos de graduación según AASHTO M 43 dentro de la cual se toman los tipos de graduación N° 6 (1”), N° 7 (3/4”), N° 8 (1/2”), N° 9 (3/8”) y N° 10 (N° 4) que están basados en los porcentajes en masa que pasa el tamiz asignado de acuerdo a AASHTO T27 y T11.

Para tratamientos superficiales simples, se pueden usar las graduaciones N° 6, N° 7, N° 8 ó N° 9.

Para tratamientos superficiales dobles, se podrán utilizar las siguientes tres combinaciones:

- Espesor total de 12.5 mm (1/2"). Primer riego, graduación N° 8 y segundo riego, graduación N° 9.
- Espesor total de 15.9 mm (5/8"). Primer riego, graduación N° 7 y segundo riego, graduación N° 9.
- Espesor total de 19.0 mm (3/4"). Primer riego, graduación N° 6 y segundo riego, graduación N° 8.

Para tratamientos superficiales triples, se podrán utilizar las siguientes tres combinaciones:

- Espesor total de 12.5 mm (1/2"). Primer riego, graduación N° 8, segundo riego, graduación N° 9 y tercer riego, graduación N° 10.
- Espesor total de 15.9 mm (5/8"). Primer riego, graduación N° 7, segundo riego, graduación N° 8 y tercer riego, graduación N° 9.
- Espesor total de 19.0 mm (3/4"). Primer riego, graduación N° 6, segundo riego, graduación N° 8, y tercer riego, graduación N° 9.

6.1.2. Material bituminoso

El tipo, grado, especificación y temperatura de aplicación del material bituminoso a usar, será uno de los establecidos en la tabla siguiente, según lo indiquen las disposiciones especiales que se tomen.

Tabla I. **Tipos de material bituminoso**

Tipo y grado de material bituminoso	Especificación	Temperatura de aplicación en °C
<u>Cementos asfálticos</u>		
Graduación por viscosidad:	AASHTO M 226	
AC - 2.5		> 130
AC - 5		> 140
Graduación por penetración:	AASHTO M 20	
200 - 300		> 130
120 - 150		> 130
<u>Emulsiones asfálticas</u>		
Aniónicas	AASHTO M 140	
RS - 1		20 - 60
RS - 2		50 - 85
MS - 1		20 - 70
HFMS - 1		20 - 70
Catiónicas	AASHTO M 208	
CRS - 1		50 - 85
CRS - 2		50 - 85

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.404-3.

Para tratamientos superficiales simples, se deben usar únicamente los siguientes materiales bituminosos, según la graduación especificada:

- Graduación N° 6, cementos asfálticos o emulsiones asfálticas RS-1 y CRS-2
- Graduación N° 7, cementos asfálticos o emulsiones asfálticas RS-1, RS-2, CRS-1 y CRS-2
- Graduación N° 8, cementos asfálticos o emulsiones asfálticas RS-1, RS-2, CRS-1 y CRS-2
- Graduación N° 9, emulsiones asfálticas RS-1, CRS-1, MS-1 y HFMS-1

Para tratamientos superficiales dobles y triples se podrán utilizar los materiales bituminosos indicados en la tabla, excepto las emulsiones MS-1 y HFMS-1, conforme el tipo y grado que se indique en las disposiciones especiales.

6.1.3. Colocación de los materiales

Previo a la aplicación del primer riego de material bituminoso, la superficie imprimada deberá de ser barrida con escoba mecánica y limpiada con aire comprimido por medio de un compresor, para retirar todo material suelto y extraño; después la superficie debe de ser revisada visualmente para verificar que no presente grietas, descascaros, depresiones o cualquier defecto que pueda perjudicar la buena ejecución del trabajo procediéndose, en su defecto, a hacer las respectivas reparaciones. No debe aplicarse la primera capa de tratamiento superficial antes de que hayan pasado tres días de haber sido aplicada la imprimación a la capa de base.

Sobre el área a trabajar, se debe de marcar de forma longitudinal, puntos que servirán de guía para alinear el vehículo distribuidor que hará el riego del material bituminoso.

6.1.3.1. Distribución del agregado

Todo el agregado necesario para el esparcido planeado deberá estar a mano antes de empezar. Cuando se mueve el distribuidor hacia adelante para esparcir el asfalto, el esparcidor de agregado debe empezar inmediatamente detrás. Es esencial que el asfalto sea cubierto dentro de un minuto a lo sumo, ya que el aumento de viscosidad que se produce dentro de ese tiempo puede impedir una buena humedad y unión del agregado.

Es también importante que el agregado se esparza uniformemente en la proporción apropiada.

En una aplicación simple, normalmente el agregado no se pegará al asfalto en más del grosor de una partícula, así es que resulta inútil aplicarlos en una proporción mayor que el grosor de una capa simple.

Un control de alto grado se logra con esparcidoras mecánicas empujadas por tractor, o con esparcidoras automáticas. Una proporción uniforme de aplicación se obtendrá con un esparcidor correctamente ajustado, si se mantiene un taquímetro para asegurar una velocidad uniforme.

El exceso de agregado, si se ha dejado en algunas áreas, debe ser removido de inmediato con palas cuadradas. En áreas donde la aplicación es insuficiente, debe añadirse agregado adicional, lo más rápido posible.

6.1.3.2. Compactación del agregado

La compactación asienta el agregado en el asfalto y promueve la adhesión de las partículas que es necesaria para resistir el paso del tráfico.

El Instituto de Asfalto recomienda que en todos los tratamientos superficiales se use aplanadoras con ruedas neumáticas además de la rueda de acero. Aunque ambos tipos dan buenos resultados, el primero da una presión uniforme, a toda el área, mientras que la rueda de acero hará presión sólo en los lugares más altos.

Además, la presión de contacto de la aplanadora de neumáticos puede ser bajada para prevenir el tratamiento de las partículas suaves. En todo caso debería usarse aplanadoras automáticas para cada esparcidor de agregado. La compactación debería empezar inmediatamente después de la distribución del agregado pétreo, con una aplanadora neumática y continuar hasta que éste se asiente apropiadamente en el material asfáltico.

Tan pronto como el agregado tenga un asentamiento, o se haya endurecido, la compactación debe ser interrumpida o la junta entre asfalto y agregado podría romperse con la aplanadora. La compactación debería empezarse en la línea de afuera del tratamiento y proceder en dirección longitudinal, avanzando hacia el centro del trabajo.

6.1.3.3. Remoción del exceso de agregado

A pesar de las precauciones, siempre habrán partículas sueltas de agregado en la superficie del camino, después de completada la operación de compactación. Antes de que se cubra con asfalto la sección adyacente, se debe barrer el agregado suelto a lo largo de la junta, y si es necesario, el resto de la sección no cubierta.

El agregado que no se adhiere crea un problema, ya que los neumáticos de los vehículos rápidos, lanzarán las partículas sueltas contra los vehículos adyacentes, dañando generalmente lámparas, parabrisas y pintura. Éstas partículas deben ser removidas, por un barrido ligero con una barredora mecánica durante las primeras horas de la mañana, cuando el asentamiento final del asfalto ya ha ocurrido.

6.1.4. Tratamientos superficiales múltiples

Cuando se efectúen aplicaciones múltiples, es necesario que cada capa siguiente de agregado se fusione por completo con la carga previamente ubicada, de modo que la obra completa forme una sola masa homogénea, con una superficie lisa y compacta. El éxito de este tipo de obra, depende de la unión o fusión de las partículas y de la distribución homogénea del asfalto a través de la masa entera.

El agregado de tamaño más grande se ubica en el fondo, colocando encima las capas sucesivas, con agregado más fino. Una regla generalmente aceptada, es que la segunda aplicación del agregado debería ser cerca de la mitad del tamaño de la primera aplicación de agregado, y la tercera cerca de la mitad del grosor de la segunda.

La cantidad de cada medida de agregado, para un tratamiento múltiple, es la cantidad requerida para cubrir la superficie del grosor de una piedra. Esta cantidad de agregado, deberá ser determinada sin márgenes adicionales para esparcidos erróneos.

Los procedimientos de construcción para los tratamientos múltiples son, esencialmente, los mismos que para los tratamientos simples, exceptuando que el proceso se repite una o dos veces.

El procedimiento para un tratamiento doble consiste de los siguientes pasos:

- Aplicación de la primera capa de asfalto;
- Aplicación de la primera capa de agregado;
- Compactación de la primera capa de agregado;

- Aplicación de la segunda capa de asfalto;
- Aplicación de la segunda capa de agregado;
- Compactación de la segunda capa de agregado.

6.1.5. Maquinaria empleada

Como maquinaria tradicional más empleada está:

- Escoba mecánica para el barrido de la superficie a tratar.
- Camión distribuidor de asfalto, para hacer los riegos del material bituminoso.
- Colocadora de agregados pétreos para tratamientos superficiales o camiones de volteo con adaptación especial de gravilladora para repartir equitativamente los agregados pétreos.
- Rodillo compactador mixto (llantas neumáticas y rodillo liso metálico).

6.2. Concreto asfáltico en caliente

Es el producto utilizado en la construcción de capas de superficie para pavimentos flexibles, este producto, se obtiene por medio de la elaboración en planta, en caliente, de una mezcla de proporciones estrictamente controladas de materiales pétreos, polvo mineral, cemento asfáltico y aditivos, para obtener un producto de alta resistencia y duración, con características de calidad uniformes, que se puede tender y compactar de inmediato en la carretera, en una o en varias capas, de ser requerido, para proporcionar las características de resistencia y textura a las capas de soporte o de superficie, según se establezca en los planos y en las disposiciones especiales.

Según sea la distribución de capas dentro del diseño de pavimento que se esté construyendo, la última capa, previo a la aplicación de la capa de superficie de rodadura, deberá de ser imprimada (salvo, cuando se coloquen capas de base negra, en ese caso la capa imprimada será la previa a ésta).

Cuando el diseño de pavimento tenga como superficie de rodadura una capa de Concreto Asfáltico, el proceso de trabajo posterior a la imprimación será el siguiente:

- Limpieza de la superficie a cubrir;
- Riego de liga;
- Colocación concreto asfáltico.

6.2.1. Limpieza de la superficie a cubrir

Previo a la aplicación del riego de liga, la superficie imprimada deberá de ser barrida con escoba mecánica, lavada con agua a presión y limpiada con aire comprimido por medio de un compresor, para retirar todo material suelto y extraño; después la superficie debe de ser revisada visualmente para verificar que no presente grietas, descascaros, depresiones o cualquier defecto que pueda perjudicar la buena ejecución del trabajo procediéndose, en su defecto, a hacer las respectivas reparaciones.

Se debe de marcar por medio de puntos, las líneas guías que servirán de referencia para el desplazamiento de la máquina finalizadora de asfalto, determinando a la vez el ancho de la capa de concreto asfáltico que será colocada.

Para realizar esta operación se necesita:

- Escoba mecánica y escobones
- Camión cisterna para agua con equipo de bombeo, equipado con mangueras flexibles y boquillas reductoras para aumentar la velocidad de salida del agua.
- Compresor de aire equipado con mangueras flexibles y boquillas reductoras para aumentar la velocidad de salida del aire.
- Topografía, pintura, escobas y cuerdas para marcar líneas guías.

6.2.2. Riego de liga

La liga es una emulsión asfáltica diluida por medio de riego a presión, sobre una superficie bituminosa existente (que en nuestro caso será una superficie imprimada), la cual debe de ser cubierta con la capa de material asfáltico inmediato superior. Este riego tiene por objeto mejorar las condiciones de adherencia entre las dos superficies y prevenir deslizamientos entre sí.

La emulsión asfáltica diluida debe ser aplicada con uniformidad sobre la superficie a tratar, y la cantidad de aplicación debe ser seleccionada según las condiciones de textura de las superficies en contacto y el tipo de emulsión asfáltica que se esté usando. La cantidad debe estar comprendida entre 0.25 y 0.70 L/m² (0.07 y 0.18 gal/m²).

Tabla II. Requisitos para la emulsión asfáltica

Tipo y grado de emulsión asfáltica	Especificación AASHTO	Temperatura de aplicación en °C
Emulsiones Asfálticas		
- Aniónicas	AASHTO M 140	
• SS-1, SS-1h		20 - 70
- Catiónicas	AASHTO M 208	
• CSS-1, CSS-1h		20 – 70

Las emulsiones se deben diluir al 50% con agua. Para efectos de pago se considera únicamente la emulsión sin diluir.

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.408-1.

La distribución de la emulsión asfáltica se debe efectuar con un tanque distribuidor de asfalto a presión, equipado con un sistema de calentamiento. La unidad debe de ser autopropulsada o estar compuesta de un tanque distribuidor remolcado, siempre con llantas neumáticas y fuerza de propulsión suficiente para mantener una velocidad constante que permita el riego especificado.

Debe de estar equipado con tacómetro en unidad de operación separada, adaptada al tanque distribuidor, graduada en unidades de velocidad de por lo menos cinco metros por minuto.

La barra de riego debe de permitir ajustes de longitud con variaciones de cada 30 cm en más o en menos hasta una longitud de 8 m y ajuste vertical para variar la altura de todas las boquillas; la barra y boquillas deben tener válvulas que proporcionen un cierre positivo e inmediato al terminar la distribución, y deben permanecer limpias, sin atascarse.

La capacidad de la bomba del tanque distribuidor debe de ser no menor de 1000 litros (250 galones) por minuto y ser capaz de distribuir la emulsión en una corriente uniforme y constante a través de todas las boquillas, con presión suficiente para asegurar un riego parejo de acuerdo con la cantidad ordenada.

La emulsión asfáltica debe de ser distribuida uniformemente sobre la superficie, ya que para efectos de pago, sólo se reconocerán variaciones no mayores del 5 % de la cantidad ordenada para cada uno de los tramos.

6.2.3. Colocación de concreto asfáltico

Antes de iniciar la producción de la mezcla, el contratista debe de presentar con antelación, a su autoridad competente, toda la información referente al procedimiento, incluyendo maquinaria, equipo y materiales que utilizará para las operaciones de construcción del concreto asfáltico, principalmente en lo referente a la producción, acarreo, tendido y compactación de la mezcla asfáltica de acuerdo con las características de los materiales y los requisitos que establecen las disposiciones especiales.

El procedimiento de construcción debe determinar la localización de las plantas de producción de agregados y concreto asfáltico, el tipo y grado del material bituminoso a utilizar de conformidad con las disposiciones especiales, la forma de su almacenamiento y calentamiento, la producción y preparación del material pétreo en sus diferentes tamaños, (incluyendo el material de relleno usado para llenar vacíos y formar una curva granulométrica continua), las características de la planta de mezcla (ya sea fija o móvil).

También se deben presentar los resultados de los ensayos de laboratorio y la fórmula de trabajo, dentro de las tolerancias que se establecen en las especificaciones, así como los rangos de las temperaturas de mezcla y compactación acordes al tipo y grado del material bituminoso a usar; para obtener una mezcla que llene los requisitos de las especificaciones generales, disposiciones especiales y planos correspondientes.

La fórmula de trabajo deberá de incluir la graduación de la mezcla, las proporciones que se usarán de los agregados de diferente tamaño y material de relleno, el contenido de cemento asfáltico y aditivos antidesvestimiento (si se requiriera), el tiempo de mezclado establecido de conformidad con AASHTO T 195, el porcentaje de absorción de agua de los agregados y el porcentaje de absorción de cemento asfáltico de la mezcla, la relación entre estos dos últimos valores y los resultados de los ensayos de la mezcla según el método de diseño definido en las disposiciones especiales y conforme lo indicado en los requisitos para la mezcla.

Al hacerse las verificaciones y rectificaciones que se estimen convenientes, el delegado residente aprobará la fórmula de trabajo, ordenando la cantidad de cemento asfáltico que se debe usar.

6.2.3.1. Producción y preparación del material pétreo

El contratista debe efectuar el control continuo de laboratorio sobre la calidad y características del material producido, y efectuar las correcciones necesarias para obtener un agregado de conformidad con las especificaciones generales, disposiciones especiales y planos correspondientes.

Cada fracción del material pétreo producido puede apilarse y almacenarse en el área de la planta de trituración, o ser acarreado para apilarse en lugares estratégicamente elegidos ubicados en el área de la planta de mezclado, debiendo ajustarse a lo establecido en la sección de apilamiento y almacenamiento de agregados de las especificaciones generales.

El material inmediatamente antes de introducirlo en la planta mezcladora, debe ser secado y calentado; la temperatura máxima y variación del calentamiento debe ser tal, que no produzca daño en los materiales. La temperatura del material pétreo, puede ser mayor que la temperatura de aplicación del cemento asfáltico en un máximo de 15 °C, siempre que no se produzcan daños en este material.

La planta de asfalto debe de estar calibrada en cuanto a las dosificaciones en cada una de sus tolvas dentro de las cuales estará depositado, por separado, los materiales de acuerdo a las graduaciones especificadas y a la fórmula de trabajo.

6.2.3.2. Preparación del cemento asfáltico

El equipo de calentamiento del cemento asfáltico, para la inyección a la mezcla, debe tener la capacidad para calentarlo a la temperatura de mezcla correspondiente al grado especificado sin dañarlo, debiendo tener sistema circulante con serpentines, evitándose el contacto directo de las llamas del quemador con la superficie de los serpentines, tubería o ductos por donde circula el material bituminoso. No se debe calentar el cemento asfáltico a temperaturas mayores que las especificadas para el grado correspondiente, pero nunca mayores de 170 °C.

La cantidad de cemento asfáltico que debe aplicarse en la mezcla, debe ser indicada por orden escrita del delegado residente, de acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio y la fórmula de trabajo aprobada. La cantidad de cemento asfáltico de diseño es variable, según las características de los materiales. Esta cantidad, definida en la fórmula de trabajo, deberá estar comprendida entre los rangos indicados en la siguiente tabla, a menos que lo indiquen de otra forma las disposiciones especiales. La cantidad de aplicación debe mantenerse dentro de las tolerancias establecidas en la fórmula de trabajo y se debe comprobar por medio del ensayo AASHTO T 164.

Tabla III. **Cantidad de cemento asfáltico (ASTM D 3515) según gradación del agregado**

Graduación Designada y Tamaño Máximo Nominal					
A (50.8 mm)	B (38.1 mm)	C (25.4 mm)	D (19 mm)	E (12.5 mm)	F (9.5 mm)
2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"
2 – 7	3 – 8	3 - 9	4 – 10	4 - 11	5 – 12

La cantidad de cemento asfáltico se dá en términos del porcentaje de peso de la mezcla total.

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.401-13.

La temperatura a la que se debe aplicar el cemento asfáltico debe ser la que corresponda a una viscosidad cinemática del mismo entre 0.15 y 0.19 Pa·s (Pascales segundo), pero en ningún caso la temperatura de la mezcla a la salida de la planta deberá de exceder de 165 °C o de la temperatura especificada en el diseño aprobado de la mezcla.

6.2.3.3. Tendido de la mezcla asfáltica

Dependiendo del espesor requerido y presentado dentro del diseño de pavimento para un proyecto, la mezcla asfáltica se colocará por capas sucesivas, que irán desde una hasta las que sean necesarias para llegar al espesor especificado y de acorde a la capacidad del equipo que sea utilizado para la colocación de las mismas.

Durante el proceso de carga de la mezcla en los camiones se deberá de evitar la segregación de los agregados; la carga deberá ser distribuida uniformemente evitando la formación de un sólo cono de material que permita el desplazamiento del agregado grueso hacia el frente y la parte posterior de la palangana de volteo para lo cual, de preferencia, las operaciones de carga se deberán efectuar en tres partes moviendo el camión hacia adelante y hacia atrás.

Los camiones deberán de ser de volteo con palanganas metálicas limpias y lisas, cubiertos con lona u otro material que preserve la mezcla del polvo y la lluvia, disminuyendo también así la pérdida de temperatura durante el trayecto. Para la limpieza de las palanganas no se deberán usar derivados del petróleo que puedan contaminar la mezcla. La palangana debe de ser drenada antes de cargar la mezcla.

La mezcla no podrá salir del área de la planta de producción hacia el lugar de tendido sobre la pista sin previa autorización de la supervisora, ya que antes debe de cumplir con los requisitos de calidad estipulados en la fórmula de trabajo y en las especificaciones generales, dentro de los cuales se puede mencionar: la temperatura, proporciones de agregados mezclados y porcentaje del contenido de asfalto.

La mezcla transportada a la carretera, debe colocarse y tenderse con máquina pavimentadora autopropulsada, especial para este trabajo, que permita ajustar el espesor y el ancho, asegurando su esparcimiento uniforme en una sola operación, en un ancho no menor de 3 m.

La pavimentadora se colocará sobre la pista al inicio del área ya imprimada con la tolva hacia adelante para que vaya siendo cargada constantemente en movimiento mientras se desplaza, dejando colocada la capa uniforme de mezcla asfáltica.

Antes de colocar mezcla asfáltica sobre el área imprimada, se esparcirá sobre ésta el granceado; esto no es más, que una delgada capa de mezcla asfáltica aplicada de forma manual con palas, lanzada en forma de abanico a manera que vaya cubriendo la mayor área, lo que se hace para que la mezcla asfáltica comience a tener adherencia a la liga, y por ende con la capa imprimada. El granceado también ayuda a que, al momento en que entran los camiones cargados con mezcla para alimentar la tolva de la pavimentadora, no se les pegue la liga a los neumáticos y pueda ocasionar daños en la imprimación.

Al estar ubicada correctamente la colocadora de asfalto, los camiones cargados con mezcla ingresarán sobre la sección a pavimentar de retroceso hasta llegar a hacer contacto con la barra protectora de la tolva y, cuando el cheque de material le de la autorización al piloto del camión, comenzará a levantar suavemente la palangana para que la mezcla sea descargada dentro de la tolva de la pavimentadora. La tolva debe de tener abiertas sus compuertas, ya que mientras se va colocando el material, las compuertas se van cerrando paulatinamente para juntar el poco material que queda y alimentar el sistema del tornillo sin fin de la pavimentadora.

Antes de ser descargada la mezcla asfáltica en la pavimentadora, los laboratoristas en conjunto (supervisora y contratista), revisarán la calidad de la mezcla, especialmente la temperatura para ver si está dentro del margen permitido para su colocación.

La temperatura de colocación y tendido del concreto asfáltico, de acuerdo con la temperatura de la superficie de la carretera y el espesor de la capa a construir, no deberá ser menor que los valores que se indican en la tabla siguiente.

Tabla IV. **Temperaturas para colocación de mezcla de concreto asfáltico**

Espesor compactado de la capa ►	< 50 mm	50 – 75 mm	> 75 mm
Temperatura Superficie de la Carretera en °C	Temperatura mínima de colocación en °C		
4 – 7.9	No se permitirá	141	140
8 – 14.9	146	140	140
≥ 15	141	140	140

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.401-15.

6.2.3.4. Compactación

Para la compactación en el campo la mezcla nunca debe tener una temperatura menor de 140 °C. La compactación se debe completar antes que la temperatura de la capa alcance los 85°C. Las operaciones de texturizado deberán finalizarse antes que la temperatura de la superficie alcance los 65 °C.

La operación de las compactadoras se debe mantener lo más próximo al equipo de esparcimiento del concreto asfáltico para lograr su operación dentro de los rangos de temperatura indicados anteriormente.

El contratista debe suministrar por lo menos 3 compactadoras: la primera, consistente en un rodillo metálico liso, estático o vibratorio para la compactación inicial; una compactadora de neumáticos para efectuar la compactación intermedia; y, un rodillo metálico liso sin vibración para efectuar las operaciones finales de texturizado de la superficie. En algunos casos, según sea la velocidad en el avance de colocación, se podrá utilizar el mismo rodillo metálico para la primera y tercera fase de compactación.

Para evitar la adherencia del material bituminoso a los rodillos, a éstos les debe de funcionar correctamente el sistema que los mantiene mojados en toda el área de contacto, pero deben evitarse excesos de agua. Todo el equipo de compactación debe estar en buen estado de funcionamiento, sin fugas de aceites o combustibles, ya que de lo contrario será rechazado para su uso en el campo.

6.3. Concreto hidráulico

Es el producto hecho a base de cemento hidráulico, utilizado para la construcción de superficies rígidas de pavimento, las cuales se diseñan y construyen para resistir las cargas e intensidades de tránsito, pudiéndose dividir en pavimentos de concreto simple y pavimentos de concreto continuamente reforzados con barras de acero.

Las capas de concreto hidráulico se construyen sobre sub-base o base que ya fue preparada y aceptada previamente; generalmente se hacen sobre bases también rígidas, que pueden haber sido estabilizadas con cemento hidráulico.

Los materiales para pavimentos de concreto hidráulico, - a menos que lo indiquen de otra forma las disposiciones especiales -, deben llenar los requisitos de las “Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes” de la Dirección General de Caminos, y son las siguientes:

- Cementos hidráulicos. Estos cementos deben cumplir con los requisitos de la Sección 551.04 (a) con una clase de resistencia de 28MPa (4,000psi) o mayor.
- Agregado fino. Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, que llene los requisitos de la Sección 551.04 (b), con las limitaciones sobre cantidad de finos allí estipuladas, para concreto de pavimentos y para concreto sujeto a desgaste superficial. El agregado fino debe ser almacenado separadamente del agregado grueso, en pilas independientes para las diversas procedencias, debiéndose controlar sus características y condiciones por medio de ensayos de laboratorio, para hacer los ajustes en la dosificación, en el momento de la elaboración del concreto.
- Agregado grueso. Debe consistir en grava o piedra trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, que llene los requisitos establecidos en la Sección 551.04 (c), incluyendo los requisitos de desgaste o abrasión y la limitación de partículas planas y alargadas.

- Agua. Debe llenar los requisitos establecidos en la Sección 551.04 (d).
- Aditivos. El uso de aditivos para concreto debe ajustarse a lo prescrito en la Sección 551.05.
- Materiales para curado. Los materiales para curado deben ajustarse a lo estipulado en la Sección 551.08.

6.3.1. Limpieza de la superficie a cubrir

Previo a la aplicación de la capa de concreto, la superficie deberá ser barrida con escoba mecánica, y limpiada con aire comprimido por medio de un compresor, para retirar todo material suelto y extraño; después la superficie debe de ser revisada visualmente para verificar que no presente grietas, descascaros, depresiones o cualquier defecto que pueda perjudicar la buena ejecución del trabajo procediéndose, en su defecto, a realizar las respectivas reparaciones.

Se debe de marcar por medio de puntos, las líneas guías que servirán de referencia para el desplazamiento y colocación de las guías para los sensores de la máquina finalizadora de concreto hidráulico, determinando a la vez el ancho de la capa de concreto a colocar. Para realizar lo anterior se necesita:

- Escoba mecánica y escobones
- Compresor de aire equipado con mangueras flexibles y boquillas reductoras para aumentar la velocidad de salida del aire
- Topografía, pintura, escobas y cuerdas para marcar líneas guías

6.3.2. Colocación del concreto hidráulico

Previamente al inicio de los trabajos de construcción de las losas del pavimento de concreto, el contratista debe someter a la aprobación del delegado residente, el procedimiento, maquinaria, equipo y materiales que utilizará en las operaciones necesarias, y si en forma parcial o total usará concreto premezclado de fabricante comercial autorizado, de acuerdo con las características de los materiales, disposiciones especiales y diseño de la mezcla de concreto hidráulico.

El procedimiento debe determinar: la localización de las plantas de producción de los agregados y de mezcla de concreto; la producción, preparación, almacenamiento y suministro de cemento hidráulico, el aprovisionamiento de agua; las características de la planta de dosificación y producción de concreto, el uso de aditivos, el tipo de formaletas, los materiales para curado y para juntas el sistema de colocación y afinado; los resultados de los ensayos de laboratorio, el diseño de la mezcla de acuerdo a la Sección 551.11, y la fórmula de dosificación propuesto dentro de los requisitos que establecen las “Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes” de la Dirección General de Caminos.

La aprobación del procedimiento de construcción a utilizar no exime al contratista de su responsabilidad de construir un pavimento de concreto en forma tal, que se ajuste a las especificaciones mencionadas y a los planos correspondientes.

6.3.2.1. Producción y proporción del material pétreo

El contratista debe efectuar un control continuo de laboratorio, sobre la calidad y características del material producido, y efectuar las correcciones necesarias para obtener los agregados de conformidad con las especificaciones generales y disposiciones especiales.

Los agregados producidos pueden apilarse y almacenarse en el área de la planta de producción o ser transportados para apilarse y almacenarse en lugares estratégicamente localizados, debiendo en todo caso ajustarse a lo establecido en la sección de apilamiento y almacenamiento de agregados de las especificaciones generales

6.3.2.2. Preparación del concreto hidráulico

La dosificación y la medición de los componentes del concreto se deben hacer, de preferencia, en forma automática o semiautomática. Todas las plantas, automáticas o semiautomáticas, deberán contar con tolvas de pesaje que descarguen los materiales fácil y completamente, por la acción de la gravedad y sin que el material se adhiera a ellas.

Deben contar además, con dispositivos de seguridad para regular la apertura del mecanismo de carga cuando la báscula indique carga cero o cuando la compuerta esté cerrada y con dispositivos para que ésta se pueda abrir únicamente cuando el peso deseado se haya completado dentro de la tolva y el mecanismo de carga esté cerrado. Las tolvas y compuertas de pesaje deben ser herméticas contra filtraciones.

Tanto el mecanismo de pesado como los tableros indicadores deben ser instalados a manera de que faciliten la observación por el operador e indiquen el momento preciso en que la cantidad exacta de material está en la tolva de pesaje.

El dispositivo para la medición del agua añadida directamente debe tener la capacidad para suministrar, con la exactitud requerida, el volumen de agua especificado para cada carga de concreto; este dispositivo debe ser instalado en tal forma que las mediciones no sean afectadas por las variaciones de presión registradas en la línea de suministro de agua. Los tanques de medición deben estar equipados con válvulas u otros elementos adecuados para permitir su calibración en forma rápida.

En el caso de los aditivos, se recomienda utilizar dispensadores mecánicos de fácil calibración, con dispositivos ajustables para variar la dosificación; cuando se trate de aditivos agregados en forma líquida, éstos deben ser agitados convenientemente antes de su utilización.

Se debe producir y suministrar concreto en forma tal que permita una fundición continua del mismo, sin que ninguna porción de concreto fragüe antes que el concreto restante que se está colocando, adyacente al mismo. Los métodos de transporte, manejo y colocación del concreto deben minimizar la remanipulación del concreto y prevenir daños a la estructura que se está fundiendo.

6.3.2.3. Colocación del concreto hidráulico

El contratista debe suministrar el equipo adecuado al procedimiento de construcción previsto. El equipo propuesto debe ser inspeccionado, ensayado y aprobado previamente a su uso en trabajos dentro de la sección a pavimentar.

Para aplicar el procedimiento de formaleta deslizante, se debe de contar con pavimentadoras o terminadoras autopropulsadas, capaces de extender, consolidar, enrasar y acabar el concreto fresco colocado frente a ellas, en una sola pasada completa de la máquina, de modo que se requiera un mínimo de acabado manual, para proporcionar un pavimento denso y homogéneo.

Las pavimentadoras deben estar equipadas con:

- Controles electrónicos para la dirección y la rasante, preferiblemente a ambos lados de la máquina.
- Un tornillo sin fin en la parte inferior frontal, para distribuir el concreto a todo lo ancho de la franja a fundir o colocar.
- Vibradores y/o apisonadores internos de alta frecuencia de tipo cabeza vibratoria, para consolidar o compactar el concreto en todo el ancho y espesor de la losa que se está colocando, con controles adecuados para parar la vibración o apisonado al interrumpirse el movimiento de avance de la máquina.
- Barra o rodillo enrasador para controlar el espesor de la losa.
- Placa niveladora y formaletas deslizantes a ambos lados, para dar la sección final casi terminada.
- Alisadora o allanadora mecánica de movimiento oscilatorio en dirección longitudinal y desplazamiento en sentido transversal, para dar el acabado final.

- Dispositivo para colocar mecánicamente las barras de sujeción y los pasadores de las juntas longitudinales y transversales.

Todo el concreto para pavimentos debe ser colocado y terminado por pavimentadoras de concreto deslizante, salvo donde es impráctico o no es posible el empleo de este equipo, en cuyo caso se empleará el procedimiento de formaleta fija.

Las losas de concreto podrán ser construidas sobre la superficie de la subrasante, sub-base o base, según lo indiquen los planos de diseño del pavimento.

Cuando en el área de construcción de la losa de concreto, se producen baches o depresiones causadas por el movimiento de equipo y actividades propias de la construcción, éstas deben corregirse antes de colocar el concreto, llenándolas con material igual al de la superficie preparada y nunca con concreto, lechada, mortero o agregados para concreto, seguidamente se debe proceder a conformar y compactar el material, con compactadora mecánica de operación manual con su respectivo control de compactación. Todo el material excedente debe removerse, dejando la superficie limpia y nivelada de acuerdo a la sección típica de pavimentación.

El concreto mezclado en planta central o en una mezcladora estacionaria puede ser transportado en equipo apropiado, sin agitación y previamente aprobado por el delegado residente, siempre que la descarga del concreto se complete dentro de los 20 minutos contados desde la adición del cemento a la mezcladora. Los recipientes o depósitos deben ser sellados, de paredes internas lisas y equipados con compuertas que permitan el control de la descarga de concreto.

Además, deben estar provistos de cubiertas que protejan el concreto contra las inclemencias del tiempo y tener la capacidad para suministrar un concreto con el grado de uniformidad requerido en la Tabla 551-17 de las Especificaciones Generales.

El concreto proveniente de la planta mezcladora se descarga directamente frente a la pavimentadora, sobre superficie previamente humedecida de donde se esparce a lo ancho del equipo o franja de pavimento con el gusano o tornillo sin fin de la propia pavimentadora.

Tanto la manejabilidad o trabajabilidad como la consistencia del concreto recién mezclado se debe determinar en el campo y en el laboratorio por medio de ensayos de asentamiento (o revenimiento), efectuados de acuerdo con las Normas AASHTO T119, ASTM C1433 o COGUANOR NGO 41017h4. El asentamiento debe quedar comprendido dentro de los valores que se especifique en los planos y/o en las disposiciones especiales. Cuando en los planos y/o en las disposiciones especiales o se haya establecido valores para el asentamiento, el delegado residente debe fijarlos dentro de los límites siguientes: asentamiento máximo 75 mm (3 pulg), asentamiento mínimo 25 mm (1 pulg).

Los ensayos de asentamiento (AASHTO T119, ASTM C143 Y COGUANOR NGO 41017h4), y los de contenido de aire (ASHTO T152, ASTM C231 y COGUANOR NGO 4107h5), se deben efectuar en el momento en que se descargue el concreto en el proyecto o en el momento en que se coloque, según lo ordene el delegado residente, quien debe también, establecer la frecuencia de los ensayos de verificación para fines de control y aceptación.

El contratista debe hacer los arreglos necesarios con tiempo suficiente para evitar retrasos en la entrega y en la colocación del concreto. Un intervalo de más de 45 minutos entre la colocación de cualquiera 2 lotes o vertidas constituirá causa suficiente para detener las operaciones de pavimentación y el Contratista, a sus expensas, tendrá que construir una junta de construcción en la ubicación y del tipo que el delegado residente indique.

La pavimentadora debe ser capaz de realizar el enrasado y compactación del concreto, sin causar segregación, produciendo una acción compacta y homogénea con un acabado final sólo pendiente del afinamiento manual de pequeñas irregularidades, el que se hace con llanas metálicas de tamaño suficiente para alcanzar la parte media de la sección del pavimento.

Las pavimentadoras deben operarse lo más continuamente posible coordinando todas las operaciones de mezclado, colocación y esparcido, compactación y acabado del concreto de tal forma que se logre un avance uniforme con un mínimo de paradas y arranques.

Cuando sea necesario detener el movimiento de la pavimentadora, también deben detenerse automáticamente los elementos de vibración y/o apisonado. No se debe aplicar ninguna otra fuerza de tracción a la pavimentadora, mas que aquella que pueda controlarse desde la propia máquina.

Las dovelas y las barras de sujeción para juntas longitudinales y transversales, deben colocarse con el equipo de inserción de la pavimentadora, salvo que se coloquen manualmente sobre dispositivos de soporte (canastas) firmemente anclados a la base en los lugares donde se requieran juntas.

6.3.3. Acabado, texturizado y ranurado del concreto

Acabado: la ejecución del acabado final debe efectuarse antes del endurecimiento, pudiendo dejarse las aristas de las juntas, si la máquina esparcidora es del tipo de formaleta deslizante. Se puede utilizar una máquina de acabado mecánico equipada con llanas o flotadores oscilantes transversales o longitudinales. Debe ajustarse para adaptarse al perfil o sección transversal requeridos del pavimento. Este equipo debe operar sobre rieles de soporte o cabeceras adecuados y colocados en forma tal que el equipo de acabado pueda operar sin interrupción sobre la superficie, cuyo acabado se esté realizando.

Los rieles o cabeceras deben ser ajustados según sea necesario para corregir asentamientos o desviaciones imprevistas durante las operaciones de acabado. La máquina de acabado debe recorrer cada zona de la superficie para obtener el perfil y la sección transversal requerida. En todo momento debe mantener un ligero exceso de concreto delante del borde cortante de la llana o flotador. Este exceso se transporta durante todo el trayecto y, no debe ser trabajado dentro de la losa sino que se desecha.

Al terminar el alisado y al haber removido el exceso de agua, y estando el concreto aún en estado plástico, debe comprobarse la exactitud de la superficie de la losa por medio de un escantillón de 3 m de longitud, el cual debe colocarse en posiciones aleatorias sobre toda el área de la franja o carril, que no esté afectado por cambio de pendientes.

Las diferencias observadas por defecto (depresiones) o excesos (áreas altas) no deben ser mayores de 3 mm y toda irregularidad debe ser eliminada ya sea agregando concreto fresco, el que será compactado y terminado como se indica anteriormente o bien cortando los excesos por medio de pasadas con el borde de la llana mecánica o manual.

Texturizado y ranurado: inmediatamente detrás de la alisadora o llana mecánica de la pavimentadora, y una vez el concreto está próximo a perder el brillo se procede al texturizado y ranurado.

El texturizado fino o micro texturizado se logra pasando tiras o pedazos de lona o brin en el sentido longitudinal de la vía. Generalmente esta tela se coloca en brazos extensores en la parte trasera de la pavimentadora, o en la parte delantera del carro o marco texturizador o ranurador, motorizado y de dirección automática o manual.

El texturizado grueso, micro texturizado o ranurado se debe hacer por medio de un bastidor provisto de un peine o rastrillo de cerdas metálicas planas ligeramente flexibles espaciadas a no menos de 12 mm ni más de 25 mm. El ancho de las cerdas debe ser del orden de los 3.2 mm y se deben aplicar cuando el concreto está aún plástico de manera que las ranuras formadas tengan una profundidad mínima de aproximadamente 3.2 mm, pero nunca mayor de 6.4 mm.

Las aplicaciones deben ser continuas a lo ancho de la franja o carril del pavimento, produciendo un ranurado transversal homogéneo, procurando que las pasadas del peine sean lo más cercanas posibles sin que lleguen a producir traslapes.

6.3.4. Curado del concreto

Inmediatamente después del texturizado y ranurado y tan pronto sea posible sin causar daño a la superficie del concreto, se debe proceder al curado del concreto por alguno de los siguientes métodos:

- Carpetas o esteras de algodón, lona o brines empapados con agua.
- Aplicación de compuestos líquidos formadores de membrana de curado.
- Membranas impermeables.

Por el uso de pavimentadoras de formaleta deslizante y por practicidad del sistema de construcción, es recomendable utilizar el método de aplicación de compuestos líquidos formadores de membrana de curado.

En este método, el compuesto líquido para curado debe cumplir con lo prescrito en AASHTO M148 (ASTM C309) y tener una consistencia que permita regarlo a las temperaturas existentes durante la construcción para formar una película o membrana continua y uniforme.

Debe, además, estar libre de materiales en suspensión resultantes de las condiciones de almacenamiento o de temperatura, ser relativamente antitóxico y de tal naturaleza que no reaccione al contacto con el concreto. Si es del tipo transparente o translucido, debe contener una tintura temporal que asegure una cobertura uniforme; el color, generalmente blanco, debe permanecer visible cuando menos durante cuatro horas, al cabo de las cuales debe esfumarse dejando la superficie del concreto libre de cualquier cambio pronunciado de color, salvo algún ligero oscurecimiento y carente de toda decoloración objetable.

Cuando se empleen pavimentadoras de formaleta deslizante, como complemento del equipo mecánico de rociado del tren de pavimentación, deben utilizarse equipos de rociado manual en aquellos tramos irregulares donde no pueda usarse la pavimentadora y para los lados de las losas de pavimento expuestas al remover las formaletas. El compuesto de curado, no debe aplicarse durante tiempo lluvioso.

El compuesto de curado, se aplicará a presión en la proporción de un litro por 3.4 m² cuadrados de pavimento de concreto hidráulico, mediante distribuidores mecánicos. El compuesto de curado tendrá características tales, que la película debe endurecer dentro de los 30 minutos siguientes a la aplicación.

Todo equipo de distribución debe ser del tipo atomizador, equipado con agitador de tanque y una protección contra el viento. Se debe mezclar el compuesto con el pigmento antes de su uso. La mezcla debe agitarse continuamente durante la aplicación por medio de medios mecánicos efectivos.

Se emplearán medios aprobados, para asegurar el curado adecuado de las juntas cortadas con sierra durante por lo menos 72 horas y para evitar la penetración de material extraño en la junta antes de terminar el sellado. Si la película se dañara debido a cualquier causa dentro de las 72 horas del período de curado, el Contratista debe reparar las partes dañadas inmediatamente empleando compuesto adicional.

6.3.5. Construcción de juntas

Deben construirse juntas del tipo, dimensiones y localizaciones que se indican en los planos y disposiciones especiales.

Todas las juntas deben construirse con las caras perpendiculares a la superficie del pavimento y deben protegerse contra la penetración en las mismas, de materiales extraños perjudiciales, hasta el momento en que sean selladas.

Las juntas tienen por objeto principal, permitir la construcción del pavimento por losas separadas para evitar grietas de construcción, estableciendo al mismo tiempo una unión adecuada entre ellas, que asegure la continuidad de la superficie de rodadura y la buena conservación de pavimento, y cuando así se especifique, deben proveer además una adecuada transferencia de carga a las losas contiguas.

6.3.5.1. Tipos de juntas

Los tipos de juntas, su posición y detalles de construcción, incluyendo los rellenos, sellos y retenedores, deben ser los indicados en los planos. Los tipos de juntas más comunes en los pavimentos de concreto son las siguientes:

- Juntas transversales de contracción: estas juntas se construyen transversalmente a la línea central y espaciadas, para controlar el agrietamiento por esfuerzos causados por contracción del concreto o encogimiento y cambios de humedad o temperatura. Estas juntas están orientadas en ángulos rectos a la línea central y borde de los carriles o franjas del pavimento.
- Juntas transversales de construcción: estas son juntas planas y no se benefician del engrape del agregado. Controlan principalmente, el agrietamiento natural del pavimento. Su diseño y construcción apropiados son críticos para el desempeño general del pavimento.

Deben construirse al concluir la operación de pavimentación, al final del día, o cuando surge cualquier interrupción de la colocación (por ejemplo, en los accesos a puentes o cuando hay falta de suministro de concreto). Estas juntas, siempre que sea posible, deben instalarse en la localización de una junta planificada previamente.

Cuando la junta de construcción es colocada en una ubicación planificada o el pavimento no está adyacente a una losa de concreto existente, se requieren dovelas para proporcionar transferencia de carga.

- Juntas de expansión o aislamiento: se colocan en localizaciones que permitan el movimiento del pavimento, sin dañar las estructuras adyacentes (puentes, drenajes, etc.) o el pavimento en sí, en áreas de cambios de dirección del mismo. Estas juntas deben tener de 19 mm a 25 mm (3/4" a 1") de ancho. En las juntas de expansión, un material pre moldeado para relleno de junta, debe ocupar el vacío entre la sub-base o sub-rasante y el sellador de la junta. El relleno debe quedar como 25.4 mm (1") más abajo del nivel de la superficie y debe extenderse en la profundidad y ancho total de la losa.
- Juntas longitudinales de contracción: dividen los carriles de tráfico y controlan el agrietamiento, donde se colocan dos o más anchos de carriles al mismo tiempo.
- Juntas longitudinales de construcción: estas juntas unen carriles de pavimentos adyacentes, cuando estos fueron pavimentados en diferentes fechas.

- Juntas esviajadas: las juntas esviajadas son una variación de la alineación de las juntas transversales de contracción y construcción, inclinadas respecto al eje longitudinal del pavimento entre 80° y 100° (o una relación 1 a 6). Se busca que la inclinación sea tal que las llantas izquierdas de los vehículos crucen primero la junta que las derechas.

6.3.5.2. Formación de las juntas

Entre los diferentes métodos que hay para formar juntas, el de juntas aserradas en el concreto endurecido es el más recomendado.

Este es el método que debe ser utilizado preferentemente y consiste en producir ranuras en la superficie del pavimento, con una sierra para concreto aprobada. El ancho, profundidad, separación y alineamiento de las ranuras será la que se especifique en los planos para todas las juntas transversales y longitudinales de contracción.

El corte con sierra debe hacerse cuando el concreto haya endurecido lo suficiente para posibilitar dicho corte sin causar roturas o desportillamientos en los bordes y antes de que se produzcan grietas de contracción no controladas, pero en ningún caso deben transcurrir más de 24 horas después de la colocación del concreto. Generalmente se recomienda iniciar los cortes a partir del momento en que los equipos de corte no produzcan huellas en la superficie del concreto y ejecutar los mismos en forma continua, conforme se requieran, tanto de día como de noche y sin tener en cuenta condiciones climatológicas.

La junta ya cortada y la superficie adyacente del concreto deben limpiarse adecuadamente.

Cuando las juntas deban ser selladas, normalmente se hace posteriormente un ensanche de la ranura para formar la caja de sello o bien se realiza un corte de discos abrasivos de ancho suficiente para realizar los cortes más anchos de una sola pasada. Una vez hecho el aserrado debe reponerse la membrana de curado sobre y a los lados de la junta recién cortada.

Cuando aparezca alguna grieta de contracción cerca o en el lugar donde se tenga que hacer el corte, debe discontinuarse o suspenderse el mismo y reducir el tiempo de corte subsiguiente. Si existen condiciones extremas que hacen imposible evitar el agrietamiento irregular, deberá utilizarse el método de juntas formadas con inserción de tiras o el de juntas inducidas antes del fraguado inicial del concreto.

6.3.5.3. Relleno y sellado de juntas

Las juntas cualesquiera que sea su función principal y siempre que así se especifique en los planos, deben ser rellenas y/o selladas con materiales aprobados de los tipos indicados y en la forma señalada en los planos, siguiendo las recomendaciones de la norma ACI 504-R, las instrucciones de los fabricantes de los productos.

El relleno y sellado de las juntas debe efectuarse antes de abrir el pavimento al tráfico de vehículos, incluyendo los de la construcción. No se permitirá el paso del tráfico cuando el sellador de juntas aún esté pegajoso y los desechos producidos por el paso del tráfico puedan empotrarse en el sellador.

Los cortes de sierra adicionales en las ranuras de las juntas, para formar las canaletas o cajas para el sello, deben realizarse hasta 72 horas después de haber colocado el concreto.

Antes de aplicar el material de relleno o selladores, deben limpiarse y secarse todas las ranuras. La limpieza final debe hacerse con aire a presión. La presión de aire debe ser mayor de 0.63 MPa (90psi). El compresor de aire, debe estar equipado con un filtro que quite la humedad y el aceite del aire.

Para juntas de expansión o aislamiento generalmente se emplean rellenos pre-moldeados, sellos pre-moldeados, selladores de silicona vertidos en frío y selladores vertidos en caliente. Para juntas longitudinales y transversales de construcción y contracción, los más usados son los selladores vertidos en caliente o en frío.

6.3.6. Dispositivos de transferencia de cargas

Cuando en los planos o disposiciones especiales se especifique el empleo de barras de sujeción o de dovelas o pasa juntas, estos deben colocarse en las posiciones y alineaciones previstas, con el debido cuidado para obtener una adecuada transferencia de cargas.

6.3.6.1. Barras de sujeción

Se utilizan en las juntas longitudinales para ligar losas de carriles o franjas contiguas. Se deben utilizar barras de acero de refuerzo corrugadas, de acuerdo a la Sección 552.03(a) de las Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, colocadas a la mitad del espesor con el espaciamiento especificado en los planos.

Cuando la fundición o colado de los carriles se hace separadamente, las barras de sujeción se dejan empotradas en las losas de los carriles previamente construidos. Estas barras generalmente se doblan perpendicularmente al borde de la losa recién colada y se pueden enderezar para su posición final al proceder a la colocación del carril o franja de losa adyacente.

Cuando la fundición o colado de los carriles es junta, la colocación de las barras de sujeción se hace previa a la fundición de la losa por dispositivos o canastas fijadas a la sub-rasante, sub-base o base del pavimento o por inserción de las mismas por equipo mecánico aprobado previamente, generalmente acoplado a las pavimentadoras de formaleta deslizante. En este caso, la junta longitudinal se forma por aserrado de superficie del concreto inmediatamente después del corte de las juntas transversales de contracción.

6.3.6.2. Dovelas o pasajuntas

Se utilizan normalmente en juntas transversales de construcción, contracción y de expansión.

Las dovelas o pasa juntas de barras lisas de acero de refuerzo que llenen los requisitos de la Sección 552.03(g) se sostienen y ponen en posición sobre la sub-rasante, sub-base o base por medio de canastas o marcos fabricados de alambre o barras lisas, en los que las dovelas van soldadas o amarradas a la profundidad y alineación especificadas. También pueden colocarse mecánicamente por los dispositivos especiales incorporados en las pavimentadoras de formaleta deslizante.

Las dovelas requieren suficiente lubricación, para permitir el movimiento del concreto a lo largo de la superficie de la dovela. Una aplicación de lubricante basado en parafina, emulsión de asfalto, aceite para formaleta o grasa común, proveerá una excelente lubricación. La punta de cada dovela debe estar equipada con un casquete de expansión.

Las dovelas deben ser resistentes a la corrosión, según la norma AASHTO M254. El espesor del recubrimiento debe ser mayor que 5 mm, en algunos casos, se requiere un recubrimiento más grueso, para una protección extra para las dovelas, una cubierta de epóxido proporcionará una capa muy pareja y buena resistencia a la corrosión.

La posición y alineación correcta de las dovelas son esenciales para el buen funcionamiento de la junta y evitar restricciones al movimiento de las losas en sus extremos. Las tolerancias de las desviaciones de la posición de las dovelas deben ser las que señalan los planos y las disposiciones especiales, en todo caso no deben ser mayores de 6 mm por 300 mm de longitud de dovela o pasa junta, en las direcciones vertical, horizontal y combinada.

6.3.7. Mantenimiento y control de tránsito

El contratista debe de proteger el pavimento, evitando los daños que puedan causarle el tránsito y operaciones de construcción. Cualquier daño ocasionado al pavimento antes de su aceptación final, deberá ser reparado a costa del contratista. Éste debe organizar, dirigir y señalizar convenientemente el tránsito, para evitar accidentes y daños al trabajo efectuado.

El pavimento no debe ser abierto al tránsito de vehículos, incluyendo los de la construcción, hasta que los especímenes de ensayo moldeados y curados en condiciones de campo, de acuerdo con AASHTO T23, hayan alcanzado una resistencia a flexión de 3.8 MPa (550 psi), según AASHTO T97 (ASTM C78) o bien una resistencia de 24.5 MPa (3,500 psi) de acuerdo a AASHTO T22 (ASTM C39). En caso no se tenga disponibilidad de estos resultados no se debe abrir el tráfico antes de los 14 días después de la colocación del concreto.

7. TRABAJOS QUE COMPONEN LAS ESTRUCTURAS DE PUNTES

Un puente es una estructura de una o más luces, incluyendo sus soportes, que se construye para salvar un obstáculo, dando así continuidad a una vía. El obstáculo puede ser otra vía (ya sea carretera o férrea), una corriente de agua, una depresión del terreno, o un vacío cualquiera.

7.1. Trazo y excavación

La localización para el trazo de un puente, se debe de hacer con equipo de topografía; generalmente, el eje longitudinal del puente a construir, debe de coincidir con el eje longitudinal de la carretera donde se realizará el trabajo.

Los elementos a trazar son las plantas de las zapatas de cimentación de ambos estribos (las cuales se encuentran dimensionadas en los planos de diseño del puente) haciendo coincidir aparte del eje, los estacionamientos que en éste aparecen, con los estacionamientos indicados en los planos para los estribos del puente; a partir de estos puntos de referencia se trazarán los ejes de cada uno de los estribos los cuales se localizan en dirección perpendicular al de la carretera (en algunos casos se diseñan puentes con esviaje en los estribos); luego se continuará con el resto del trazo tomándose en cuenta las distancias y ángulos que se indiquen en planos.

Al estar trazada la planta de cimentación, se le deberá de agregar a ésta en todo su alrededor, una franja adicional de 50 cm de ancho. Esta zona demarcada encerrará el área de la excavación estructural para la cimentación del puente.

Con el auxilio de un BM y con referencia a cada esquina del área delimitada se colocará una estaca en la que se indique la profundidad de la excavación que se tenga que hacer hasta llegar a la cota de cimentación que se indique en los planos para cada uno de los estribos.

El volumen de la excavación estructural será el que se calcule basándose al área de la planta delimitada, según los planos y con las diferentes alturas que tenga el terreno natural antes de iniciar la excavación; para esto se deberá de tener información de la topografía inicial del terreno o basarse a la topografía especial mostrada en los planos de diseño del puente, aunque ésta última puede variar debido al período de tiempo transcurrido desde la fecha en que se diseño el puente hasta la fecha en que se esté realizando la obra.

Al llegar a la cota de cimentación, el terreno deberá de ser nivelado y, las paredes que lo rodean, afinarse lo más que sea posible a un plano vertical; cuando el fondo y las paredes de la excavación sean de material arenoso o poroso y que, en opinión del delegado residente no permita la fundición en seco del cimiento, dicho fondo y las paredes deben ser selladas con suficiente concreto clase 21 (3000 psi).

Si la excavación a realizar es profunda, se puede hacer con una excavadora que tenga un brazo bastante largo para permitir llegar al fondo de la cota requerida; si la excavación no es muy profunda, se podrá realizar el trabajo con una retro excavadora de brazo extensible para mayor efectividad.

7.2. Encofrado y armado

Cuando se termine de nivelar la superficie de fundación a la cota cimentación indicada, se procederá a colocar los tableros que darán forma al encofrado de las zapatas en los cimientos. El encofrado o formaleta podrá ser de metal, madera, plástico o cualquier otro material que sirva para mantener el concreto en la forma y dimensiones indicadas en los planos durante su estado plástico, debiendo ser lisas y herméticas al mortero, diseñadas y construidas sólidamente, con la rigidez suficiente para evitar distorsiones debidas a la presión del concreto y/o a otras cargas incidentales a la construcción, incluyendo la vibración del concreto. También deberán ser achaflanadas y biseladas como se indica en los planos.

Antes de colocar el concreto, las formaletas deben limpiarse de todo polvo, aserrín, viruta, óxido, mortero seco y demás materias extrañas. También se deben humedecer las superficies interiores de las formaletas, o revestirlas con una mano de aceite de alta penetración o de un sellador o agente desencofrante adecuado, y que al ser aplicados no dejen en la superficie de las formaletas una película que pueda ser absorbida por, o adherida, al concreto, o que lo manche o decolore.

Durante el tiempo en que se realizan los trabajos de excavación, el encargado de obra por parte del contratista podrá iniciar la preparación de las barras de acero de diferentes longitudes y formas de dobleces para que, al momento de tener preparada la base de fundación del puente, ya estén disponibles para iniciar el armado de la sub estructura del puente.

Las barras de refuerzo deben ser fabricadas de acuerdo con normas ACI 315, ACI 318 y el manual AC ISP-66. Las barras que requieran dobleces, deben ser dobladas en frío, a menos que se detalle en otra forma en los planos o disposiciones especiales. Los dobleces y cortes deben ser efectuados por obreros competentes utilizando las herramientas y los dispositivos adecuados para tal trabajo.

A menos que los planos lo muestren en otra forma, los dobleces deben de hacerse de acuerdo con los requisitos siguientes:

- Los estribos de barras número 3 o menor, del grado 300 o menor, y las barras de amarre ó sujeción del refuerzo, deben doblarse alrededor de un pasador de un radio no menor del diámetro del estribo o barra.
- Los dobleces para las otras barras, tendrán radios en el interior de la barra no menores de los indicados a continuación, salvo que se indique de otra forma en los planos y las disposiciones especiales. Además, el inicio del dobléz no debe estar más cerca de la superficie de concreto que la distancia del diámetro mínimo del dobléz.

Tabla V. **Radios para dobleces de barras de acero**

NÚMERO DE LA BARRA	RADIO MÍNIMO DEL DOBLEZ INTERIOR
3 al 8	6 diámetros de barra
9, 10, y 11	8 diámetros de barra
14 y 18	10 diámetros de barra

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.552-5.

- El diámetro interior de doblez para estribos y anillos no debe ser menor de 4 diámetros de barra para barras del No. 5 y menores. Para barras mayores del No. 5, el diámetro de doblez deberá concordar con la tabla anterior.

Las medidas de los ganchos estándar y demás detalles de dobleces y medidas de las barras de refuerzo no indicados en los planos deben estar de acuerdo con las normas ACI 315 y 315R y/o manual AC ISP-66.

Cuando se coloque en la obra, el acero de refuerzo debe estar libre de suciedad, óxido o escamas sueltas, pintura, grasa, aceite u otras materias extrañas. Además, el refuerzo debe estar libre de defectos como grietas o laminaciones. El óxido e irregularidades superficiales, no serán causa de rechazo, siempre que las dimensiones mínimas, área de la sección transversal y propiedades a tracción o tensión de una muestra cepillada a mano con cepillo de alambre, reúna los requisitos de tamaño de calidad especificados para dicho acero. Todo el mortero seco debe quitarse del acero. El acero de refuerzo debe estar colocado en el lugar indicado en los planos y aprobados por el delegado residente, antes de principiar a colocar el concreto.

Todo el acero de refuerzo debe colocarse exactamente en las posiciones mostradas en los planos y estar firmemente apoyado antes de la colocación del concreto; el recubrimiento libre mínimo debe ser de 50 mm a menos que los planos indiquen otro espesor.

Además, la posición del refuerzo dentro de las formaletas debe mantenerse por medio de tirantes, bloques, ataduras, silletas y otros soportes aprobados. No es permitido el uso de guijarros, pedazos de piedra o ladrillos quebrados, tuberías de metal o bloques de madera. Los bloques deben ser de mortero de cemento prefabricado, de calidad, forma y dimensiones aprobadas.

Las camas de las barras deben separarse por bloques de mortero de cemento u otros dispositivos igualmente adecuados, espaciados a no más de 1.20 m, transversal o longitudinalmente. Los soportes de las barras no deben usarse para soporte directo o indirecto de tráfico de carretillas o peatonal en la obra.

7.3. Fundición y desencofrado

En todas las estructuras de concreto reforzado se debe emplear Concreto Estructural Clase 24.5 (3,500 psi) como mínimo. El concreto puede ser producido en planta estacionaria, mezcladora o en camiones mezcladores propiedad del contratista, o comprado a una planta de producción de concreto ajeno al contratista. Cualquiera de las dos formas de adquirir el concreto mencionadas anteriormente, no exime al contratista de la responsabilidad de elaborar, presentar y colocar en la obra un producto de buena calidad que cumpla con las especificaciones, diseño de mezcla y resistencia determinadas para ese tipo de trabajo.

Se debe producir y suministrar concreto en forma tal que permita una fundición continúa del mismo, sin que ninguna porción de concreto fragüe antes que el concreto restante que se está colando, adyacente al mismo. Los métodos de transporte, manejo y colocación del concreto deben minimizar la manipulación del concreto y prevenir daños a la estructura que se está fundiendo o colando.

El concreto debe ser cargado, transportado, entregado y colocado dentro de un lapso de 1 ½ hora contándose a partir del momento en que se inició el mezclado.

No debe permitirse el re ablandamiento del concreto descargado en el sitio del proyecto, agregándole agua por otros medios, salvo cuando se trate de concreto transportado en mezcladoras o agitadoras de camión, que para alcanzar el asentamiento especificado, requiera agua adicional al ser descargado en el proyecto; en este caso, no se debe exceder la relación agua-cemento del diseño.

Tanto la manejabilidad o trabajabilidad como la consistencia del concreto recién mezclado se debe determinar en el campo y en el laboratorio por medio de ensayos de asentamiento (o revenimiento), efectuados de acuerdo con las Normas AASHTO T119, ASTM C1433 o COGUANOR NGO 41017h4. El asentamiento debe quedar comprendido dentro de los valores que se especifique en los planos y/o en las disposiciones especiales. Cuando no se haya establecido valores para el asentamiento, el delegado residente debe fijarlos dentro de los límites indicados en la siguiente tabla:

Tabla VI. Asentamientos recomendados para concretos vibrados

Tipo de estructura	Asentamiento máximo		Asentamiento mínimo	
	mm	pulg	mm	pulg
Muros de cimentación y cimientos de concreto reforzado	75	3	25	1
Estribos, pilas y otras subestructuras	75	3	25	1
Vigas, columnas, muros de concreto reforzado y secciones delgadas reforzadas	100	4	25	1
Tubos de concreto reforzado	75	3	25	1
Losas de pavimentos	75	3	25	1
Concreto masivo	50	2	25	1

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. Pág. 551-32

Los ensayos de asentamiento (AASHTO T119, ASTM C143 Y COGUANOR NGO 41017h4), y los de contenido de aire (ASHTO T152, ASTM C231 y COGUANOR NGO 4107h5), se deben efectuar en el momento en que se descargue el concreto en el proyecto o en el momento en que se coloque, según lo ordene el delegado residente, quien debe también, establecer la frecuencia de los ensayos de verificación para fines de control y aceptación.

Cuando la medida del asentamiento del contenido de aire este fuera de los límites especificados, se debe realizar de inmediato otro ensayo de comprobación en una porción diferente de la misma muestra; en caso de que esta segunda muestra también falle, se considerara que el concreto no cumple con los requisitos establecidos en las especificaciones.

El contratista debe proveer el equipo necesario adecuado y de la capacidad requerida, para permitir que la fundición o colado máximo previsto se complete monolíticamente y dentro del tiempo estipulado. El equipo propuesto debe ser inspeccionado y ensayado previamente.

Todo el equipo debe conservarse limpio y libre de costras de concreto o de mortero endurecido, lavándolo cuidadosamente con chorro de agua después de cada operación. Este equipo, consistente en bombas y tuberías, baldes, cucharones, tolvas, ductos de descarga, carretilla, canaletas, etc., debe permitir que el concreto sea colocado sin segregación y pérdida de agua. Siempre que sea posible, el concreto debe ser descargado verticalmente dentro de las formaletas, para reducir al mínimo la segregación.

Los vibradores internos -de inmersión, de superficie o de formaleta- deben ser del tipo y la capacidad adecuados para la compactación del concreto. En lugares estrechos donde no se pueda usar el vibrador, el vibrado puede ser complementado con apisonado manual. En secciones angostas y muy reforzadas, se puede usar vibradores de formaleta.

Cuando se hagan fundiciones de columnas o pilas con tramos altos, se deberá dejar en la formaleta, una ventana lateral para tener acceso a depositar el concreto a una altura que no produzca segregación y para que también se pueda introducir el equipo de vibración y hacer un buen trabajo de vibrado. Al aproximarse el nivel del concreto a la altura de la ventana, esta será cerrada, sellada y reforzada para evitar fugas del concreto, y se continuará con el trabajo hasta llegar a la altura programada.

El concreto para columnas debe colocarse en una operación continua, a menos que en los planos y/o en las disposiciones especiales se indique de otra forma. Se debe esperar a que el concreto asiente y endurezca por lo menos 24 horas antes de colocar los cabezales o apoyar sobre ellas las vigas o losas. Tampoco se debe colocar el concreto de la superestructura antes que las formaletas de las columnas hayan sido removidas, ni antes que el concreto de la subestructura haya alcanzado la resistencia requerida.

En el caso de pilas o estribos con cabezales de concreto, las vigas de acero o concreto prefabricado no deben ser colocadas sobre los cabezales antes de que estos tengan, cuando menos tres días y la masa de la superestructura no debe descansar sobre los cabezales hasta que el concreto de los mismos haya alcanzado, como mínimo, el 80% de la resistencia requerida a los 28 días.

El concreto para las vigas principales debe ser colocado en una sola operación, depositándolo uniformemente, en capas horizontales a todo el largo de la viga. En el caso de vigas simplemente apoyadas, el concreto deberá ser depositado de preferencia, al centro de la luz y de allí se distribuirá a los extremos.

Antes de colocar el concreto para las losas o tableros se debe tener disponibles reglas de enrazar o escantillón manual o enrasadoras mecánicas y las herramienta de acabado aprobadas por el delegado residente, para nivelar y dar el acabado a la superficie de la losa, tal como se muestra en los planos.

El concreto, tanto para las losas de puentes como para las vigas secundarias que las unen a las vigas principales de una superestructura y los rebordes o aceras contiguas, se debe colocar en una sola operación, a menos que en los planos y/o en las disposiciones especiales se especifique otra forma. Cuando la colocación del concreto no se vaya a ejecutar en una sola operación, se deben proveer los anclajes especiales para corte que sean necesarios, para asegurar la unión monolítica entre la viga principal y la losa.

El concreto debe colocarse preferentemente en franjas del espesor total de la losa o como se indique en los planos. El ancho de las franjas debe ser tal que el concreto de una de ellas no alcance su fraguado inicial antes que se efectúe la fundición de la siguiente. Al efectuar el trabajo, el concreto puede ser transportado sobre las losas ya fundidas, en carretillas o vagonetas, siempre que se usen tabloncillos para distribuir la carga sobre las vigas.

El concreto para los barandales de puentes se debe colocar después de que se hayan removido los puntales y demás obra falsa y formaletas en toda la luz.

En la construcción de soleras y cabezales o coronamientos fundidos en el lugar, se deben tomar precauciones para la colocación, alineamiento y remoción del formateado, y se debe tener cuidado especial para no dañar o manchar durante el proceso de fundición y acabado del concreto, los postes prefabricados u otros componentes prefabricados utilizados.

El tiempo de remoción de las formaletas y de la obra falsa, está condicionado al tipo y localización de estructura, al curado, al clima y a otros factores que puedan afectar el endurecimiento del concreto. Normalmente la remoción de formaletas y obra falsa debe ser planificada con anticipación.

En general, las formaletas de trabajos ornamentales, barandales, parapetos y bordillos; las superficies verticales que requieran un acabado especial inmediato, las formaletas laterales de vigas y las demás cuya remoción no afecte el soporte temporal de la estructura o el curado de la misma, se pueden remover entre las 12 y 48 horas después de haber colocado el concreto, dependiendo de las condiciones del clima.

Las muestras para los ensayos de resistencia deberán tomarse de acuerdo a AASHTO T141, ASTM C1 72 o COGUANOR NGO 41057.

Normalmente, se debe hacer un muestreo del concreto al ser recibido en la obra, de la descarga de las mezcladoras o agitadores de camión, de la descarga de las mezcladoras en el sitio de la obra o de la descarga de las tuberías del equipo de bombeo, según el caso. Los cilindros y/o viguetas para los ensayos de aceptación deben moldearse y curarse bajo condiciones de humedad y temperatura en el laboratorio de acuerdo con AASHTO T23, ASTM C31 o COGUANOR NGO 41061.

Los cilindros deben ensayarse de acuerdo a AASHTO T22, ASTM C39 o COGUANOR NGO 4107h y las viguetas conforme a AASHTO T97 o ASTM C78. Los cilindros para tracción indirecta deberán ensayarse de acuerdo a AASHTO T198 o ASTM C496.

Un resultado de ensayo o un ensayo de resistencia será el promedio de por lo menos dos especímenes obtenidos de la misma muestra de concreto y ensayados a la edad especificada. Se deberá realizar ensayos a los 7 ó a 28 días, o a la edad establecida en las disposiciones especiales.

7.4. Relleno estructural para puentes

Este trabajo consiste en la colocación en capas, humedecimiento o secamiento, conformación y compactación de los materiales adecuados provenientes de la misma excavación, de los cortes o de bancos de préstamo, para rellenos a lo largo de estructuras de concreto; dentro de estos rellenos se puede realizar, la construcción de capas filtrantes por detrás de los estribos y muros de contención, en los lugares y con las dimensiones que los planos señalen.

El relleno debe ser construido en capas sucesivas horizontales y de tal espesor que permita la compactación especificada. Los espesores de las capas a ser compactadas, deben de ser determinados de conformidad con la capacidad de la maquinaria o equipo que se vaya a utilizar.

En áreas limitadas o adyacentes a estructuras, tales como estribos, alas u otros, la compactación se puede hacer por medio de compactadoras mecánicas o con compactadoras de mano apropiadas. Se debe tener especial cuidado a efecto de evitar cualquier acción de cuña contra la estructura.

Los taludes alrededor de estribos y alas, deben ser construidos como se indique en los planos.

Los rellenos en los accesos de puentes, se deben construir hasta la altura de la sub-rasante y en una longitud de diez metros, medidos en la parte superior del relleno y a partir de cada estribo.

En los rellenos para estructuras, cada capa se debe compactar como mínimo al 90% de la densidad máxima, determinada según el método AASHTO T180; y los últimos 0.30 m superiores deben compactarse como mínimo al 95% de la densidad máxima determinada por el método citado.

8. TRABAJOS QUE COMPONEN LA SEÑALIZACIÓN

Este tipo de trabajos abarca lo referente a lo que es señalización vertical, señalización horizontal, monumentos de kilometraje y otro tipo de complementos como postes delineadores, indicadores del derecho de vía y defensas para carreteras y puentes.

Para la elaboración de las señales, marcas y complementos, las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos determinan las especificaciones y calidad de los materiales con que se deben de cumplir. Además de este tipo de información y todo lo referente a diseño de tableros, dimensiones, contenido, colores y tipos de señales (que generalmente se indica en los planos), nos debemos de regir por el Manual Centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito, elaborado por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA.

8.1. Señalización vertical

Las señales verticales son dispositivos de control de tránsito instaladas a nivel del camino o sobre él, destinados a transmitir un mensaje a los conductores y peatones, mediante palabras o símbolos, sobre la reglamentación de tránsito vigente, o para advertir sobre la existencia de algún peligro en la vía y su entorno, o para guiar e informar sobre rutas, nombres y ubicaciones de poblaciones, lugares de interés y servicios.

Las señales verticales deberán usarse solamente donde se justifiquen según un análisis de necesidades y estudios de campo. Las señales son esenciales donde rigen regulaciones especiales, tanto en lugares específicos como durante períodos específicos, o donde los peligros no sean evidentes para los usuarios. Las señales también suministran información sobre rutas, direcciones, destinos, puntos de interés y otras informaciones que se consideren necesarias.

Algunas veces resulta difícil determinar si se debe instalar una señal o no, así como la elección de la señal más apropiada.

En tales casos, la instalación y escogencia de dicha señal dependerá exclusivamente del juicio y experiencia del ingeniero responsable.

Desde el punto de vista funcional, las señales verticales se clasifican en:

- Señales restrictivas: son las que indican al conductor sobre la prioridad de paso, la existencia de ciertas limitaciones, prohibiciones y restricciones en el uso de la vía, según las leyes y reglamentos en materia de tránsito de cada país. La violación de la regulación establecida en el mensaje de estas señales constituye una contravención, que es sancionada conforme con lo establecido en la ley o Reglamento de Tránsito.
- Señales preventivas: son las que indican al conductor de las condiciones prevalecientes en una calle o carretera y su entorno, para advertir al conductor la existencia de un potencial peligro y su naturaleza. Las señales de prevención exigen precaución de parte del conductor ya sea para disminuir la velocidad o para que efectúe otras maniobras que redundan en su beneficio y en el de los otros conductores y peatones.

Las advertencias adecuadas de peligro son de gran ayuda para el conductor y muy valiosas en la prevención de accidentes y como medio de facilitar el tránsito.

Las señales de prevención, por regla general, deberán colocarse en sitios que aseguren su mayor eficiencia, tanto de día como de noche, teniendo en cuenta las condiciones particulares de la carretera, calle o camino.

- Señales informativas: son las que guían o informan al conductor sobre nombres y ubicación de poblaciones, kilometrajes, distancias, servicios, puntos de interés, y cualquier otra información geográfica, recreacional y cultural pertinente para facilitar las tareas de navegación y orientación de los usuarios.

8.1.1. Código de colores

Los siguientes códigos de colores establecen significados generales para nueve colores de doce posibles, que han sido identificados como apropiados para uso en la transmisión de información de control de tránsito. Valores centrales y límites de tolerancia para cada color están disponibles a través de la FHWA en Estados Unidos y en el Anexo D (Ver Tomo II) del Manual Centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito. Los tres colores a los que no se asignó ningún significado se han reservado en el MUTCD para futuras aplicaciones. Los significados descritos en esta sección son de naturaleza general. Asignaciones más específicas de cada color se definen en las partes individuales del manual mencionado, de acuerdo al tipo de dispositivo.

- Amarillo: prevención general (color de fondo de las señales preventivas).
- Anaranjado: prevención de situaciones temporales, como trabajos de construcción, mantenimiento, reparaciones, atención de incidentes y emergencias (color de fondo de señales de prevención temporal).
- Blanco: regulación e información (color de fondo para las señales de reglamentación y de información en vías convencionales. Se usa en la leyenda de la señal “ALTO” y en las leyendas de las señales con color de fondo rojo, negro, verde, azul y café).
- Negro: regulación, prevención e información (color fondo de señales de regulación nocturna. Se usa en los símbolos, ribetes y figuras de todo tipo de señales, en particular de las señales con color de fondo blanco, amarillo y anaranjado).
- Rojo: alto, prohibición o maniobra crítica (color fondo en la señal “ALTO” y otras reglamentaciones que se refieren a maniobras críticas. También se usa en las orlas, símbolos, letras y la barra o franja diagonal en algunas señales de reglamentación).
- Azul: guía de servicio al automovilista y al turista (color fondo de esas señales informativas).
- Verde: indica movimientos permitidos y guía de navegación y direcciones en vías rápidas, autopista y ciclo vías (color de fondo de ese tipo de señales informativas).

- Café: guía a sitios recreativos, parques nacionales y otros de interés cultural, administrados por entes públicos o sin fines de lucro (color de fondo de esas señales informativas).
- Amarillo limón (fluorescente): se autoriza su uso opcional en situaciones del amarillo, únicamente para prevenir sobre la presencia de cruces de peatones, de bicicletas y en zonas escolares, con el fin de mejorar la visibilidad de la señal en horas de baja luminosidad solar.
- Morado: sin asignar.
- Celeste: sin asignar.
- Coralino: sin asignar.

8.1.2. Colocación

La fabricación de los tableros, incluyendo el corte, perforación y taladrado de agujeros, se tiene que completar antes de la preparación final de la superficie y de la aplicación de las láminas o pliegos reflectivos excepto cuando se requiera la fabricación de letras cortadas a troquel o aserradas sobre señales procesadas y montadas. Los tableros de metal se tienen que cortar del tamaño y forma correctos y tienen que estar libres de pandeo, abolladuras, arrugas y defectos que resulten de la fabricación. La superficie de todos los tableros de señales tiene que ser plana.

La cimentación para las señales se tienen que construir de acuerdo con los detalles y dimensiones indicados en los planos o como sea aprobado por el delegado residente. La excavación, asiento relleno y compactación tiene que ser llevada a cabo de acuerdo con los requisitos correspondientes para las excavaciones. Los materiales excavados que no se utilizaron en la construcción de la cimentación tienen que ser retirados y eliminados en forma aceptable para el delegado residente.

Los postes de las señales de tráfico deben enterrarse por lo menos 0.50 m, para lo cual se debe hacer una excavación por lo menos de 0.30 x 0.30 x 0.50 m; y el espacio entre las paredes de la excavación y pie del poste se debe llenar con concreto simple clase 14 (2000), bien compactado para que el poste quede bien anclado en el terreno y no pueda ser removido fácilmente. La distancia y la altura de la señal sobre el pavimento debe ser la indicada en el reglamento de señales aprobado por la Dirección General de Caminos.

8.2. Señalización horizontal

8.2.1. Funciones

La demarcación está constituida por las líneas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordes y estructuras de las vías de circulación o adyacencia a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos.

Las marcas en el pavimento desempeñan funciones definidas e importantes en un adecuado esquema de control de tránsito. En algunos casos, son usadas como complemento de las órdenes de advertencias de otros dispositivos, tales como señales verticales y semáforos. En otros, transmiten instrucciones que no pueden ser presentadas mediante el uso de ningún otro dispositivo, siendo un modo muy efectivo de hacerlas claramente comprensibles.

Como sucede con otros dispositivos de control de tránsito, la demarcación en el pavimento debe ser uniforme en diseño, localización y aplicación, de manera que se simplifique la labor del usuario para reconocerla y entenderla instantáneamente.

Cada marca en el pavimento debe ser usada sólo para transmitir el mensaje prescrito en el Manual. Las marcas que no tengan aplicabilidad y puedan causar confusión a los usuarios deben ser removidas. De igual modo, si una marca indica alguna condición especial de la vía o alguna restricción, debería eliminarse cuando esta condición deje de existir.

8.2.2. Clasificación

Por su uso la demarcación del pavimento se clasifica como sigue:

- Líneas de centro
- Líneas de carril
- Líneas de barrera
- Líneas de borde de pavimento
- Transiciones en el ancho del pavimento
- Líneas de canalización
- Aproximaciones a obstáculos

- Marcas de giros
- Líneas de parada
- Pasos para peatones
- Aproximaciones a pasos a nivel con vías férreas
- Zonas de estacionamiento
- Palabras y símbolos sobre pavimento
- Macas para regular el uso de la vía
- Otros dispositivos y marcas auxiliares

8.2.3. Materiales

El método más común de demarcar pavimentos, bordes de calles o carreteras y objetos, es mediante la pintura. Sin embargo, otros materiales tales como termoplásticos, concreto coloreado, incrustaciones planas fabricadas en metal, cerámica, plástico entre otros, o elementos metálicos, se utilizan también en las demarcaciones.

El equipo que se usa, en general, es capaz de trazar una línea, líneas dobles o triples (continuas o segmentadas) sobre una carretera, en diferentes colores, operando a una velocidad de 10 km/h. existen pequeños demarcadores auto-propulsados que pueden trazar una línea triple, pero su velocidad de operación es solamente de 3 km/h. La principal ventaja de estas pequeñas máquinas es que pueden ser transportadas fácilmente en un camión liviano.

La visibilidad nocturna de las marcas en el pavimento se aumenta, mediante el uso de pequeñas incrustaciones de vidrio (esferas pequeñas o perlas), dentro del material de demarcación del pavimento, para así producir una superficie que refleje la luz.

Las esferas de vidrio incrustadas en la superficie de la carretera reflejan una gran parte de la luz incidente de los faros de los automóviles directamente hacia los ojos del conductor en su posición normal, haciendo que las marcas parezcan luminosas de noche.

Aunque el costo inicial de tales demarcaciones reflectantes es mayor que el de la pintura ordinaria de tránsito, muchos departamentos de carreteras han reportado que el aumento de la vida útil de las demarcaciones especialmente en sitios densamente transitados, compensa bien la diferencia de su costo.

Los materiales termoplásticos serán de color permanente, tal como el especificado para las demarcaciones de pavimento, y serán incrustados de tal manera que sus superficies queden emparejadas a la superficie del pavimento.

8.2.4. Colores

Las marcas en el pavimento serán generalmente blancas y en algunas ocasiones amarillas.

Amarillo: el color amarillo define la separación de corrientes de tránsito de sentido opuesto en caminos de doble sentido con calzadas de varios carriles, líneas de barrera y franjas amarillas de estacionamiento prohibido. Este color se utiliza también en las islas divisorias y en las marcas para prevenir el bloqueo de una intersección.

Blanco: el color blanco define la separación de corrientes de tránsito en el mismo sentido y la demarcación de bordes de calzada, pasos peatonales y espacios de estacionamiento. Además, se utiliza para los símbolos en el pavimento que indican los sitios de estacionamiento reservado para los vehículos que transportan personas discapacitadas, mujeres embarazadas o personas de la tercera edad. El color blanco se utiliza también en las palabras y en las flechas direccionales, así como en los distanciadores, las marcas de carril exclusivo y reversible y en algunas islas canalizadoras. Cuando se emplean botones brillantes para marcas en el pavimento, deben dar la impresión de que equivalen a pintura blanca.

Negro: el uso del color negro no se establece como un color estándar para demarcaciones de pavimento. Sin embargo se puede usar como medio de obtener contraste sobre un pavimento de color claro, pues se utiliza para delinear las marcas de color claro sobre un pavimento de concreto. El color negro se puede utilizar también para borrar demarcaciones, aunque es preferible borrar con máquina, ya que si la pintura negra se desgasta vuelve a notarse la demarcación original.

Rojo: el color rojo se utiliza exclusivamente para prohibir el estacionamiento durante las 24 horas, todos los días de la semana (prohibición absoluta), en sitios críticos (por ejemplo, frente de un hidrante) y sin excepción alguna.

Azul: el color azul se utilizará para demarcar zonas de estacionamiento exclusivas para personas con algunas restricciones físicas, tales como en espacios reservados para personas con una discapacidad permanente, mujeres embarazadas o personas de la tercera edad.

Verde: el color verde se utilizará para demarcar zonas de estacionamiento permitido, sujeto a un límite de tiempo, a cierto horario o a ciertas condiciones especiales, tal como espacios reservados para motocicletas o bicicletas.

8.2.5. Líneas longitudinales

Se deben tener en cuenta los siguientes conceptos básicos:

- Las líneas longitudinales de traza discontinua tienen carácter permisivo, es decir pueden ser cruzadas siempre que ello se efectuó dentro de las condiciones normales de seguridad.
- Las líneas longitudinales de trazo continuo tienen carácter restrictivo, no deben ser cruzadas, ni se puede circular sobre ellas.

De acuerdo con lo enunciado, los tipos de línea son los siguientes:

- ✓ La línea blanca de trazo discontinuo se emplea como línea de carril en calzadas de varios carriles y como línea central en carreteras de dos carriles en el mismo sentido donde se permite el adelantamiento.
- ✓ La línea blanca de trazo continuo se utiliza para demarcar el borde de un flujo de circulación donde se permite circular a ambos lados de la línea en el mismo sentido, en cuyo caso tiene la función de desalentar el cambio de carril. Además, se usa para demarcar el borde derecho de la calzada y frecuentemente para demarcar las líneas de carril de las entradas a intersecciones y los carriles de giro hacia la izquierda o hacia la derecha.

- ✓ La línea doble blanca de trazo continuo demarca el borde de un flujo de circulación donde se permite circular a ambos lados de la línea en el mismo sentido. Es frecuentemente usada como una línea de canalización para advertir la presencia de una obstrucción que puede ser pasada por ambos lados.
- ✓ La línea amarilla de trazo continuo se utiliza para demarcar el borde izquierdo de la calzada, en una carretera dividida, en aproximación a una obstrucción y para definir isletas de tránsito.
- ✓ La línea amarilla de trazo discontinuo es utilizada como línea de centro en carreteras de dos carriles en sentido contrario donde es permitido adelantar.
- ✓ La isla doble formada por dos líneas amarillas de trazo continuo, demarca la separación de flujos de circulación con sentidos opuestos en carreteras con calzadas de múltiples carriles, donde no es permitido adelantar.
- ✓ La línea doble formada por dos líneas amarillas de trazos discontinuos, demarca el borde de un carril cuyo sentido de circulación es variable. Se utiliza para indicar carriles reversibles.
- ✓ La línea doble constituida por una línea amarilla de trazo continuo y una de trazo discontinuo demarca el borde de un flujo de circulación donde se permite circular a ambos lados de la línea en sentido opuesto, y donde adelantar es permitido para el tránsito adyacente a la línea de trazo discontinuo y es prohibido para el tránsito adyacente a la línea de trazo continuo. Este tipo de marca también se utiliza en carriles exclusivos para giro a la izquierda.

- ✓ La línea punteada demarca la prolongación de otra línea a través de una intersección o de una zona de intercambio. Su color debe ser el mismo que el de la línea que prolonga.

8.2.6. Marcas transversales

Las líneas transversales incluyen marcas en el espaldón, palabras y símbolos, líneas de parada, líneas para sendas peatonales, marcas para reducir la velocidad, marcas para espacio de parqueos y otras. Las mismas deben ser blancas, excepto en los siguientes casos:

- Marcas en islas que separan flujos en sentido opuesto, las cuales son de color amarillo.
- Marcas en intersecciones, las cuales son de color amarillo.
- Marcas que indiquen al tránsito que viaja contra vía, las cuales son de color rojo.

Las líneas transversales que, por su colocación tienen un ángulo de visual pequeño vistas desde un vehículo que se aproxima, deben usarse con un ancho ampliado, de modo que sean igualmente visibles que las longitudinales.

8.2.7. Marcas incrustadas en el pavimento

Este tipo de marcas pueden ser usadas para guiar al tránsito hacia el carril adecuado complementando otras marcas, o en algunos casos, como un sustituto de otros tipos de marcas. El color de las mismas debe regirse por el color de las marcas a las cuales ellas complementan o sustituyen.

Las marcas reflectivas tipo capta luz (ojo de gato o vialeta) son las adecuadas, principalmente en lugares donde las condiciones adversas del clima dificultan la visibilidad. Las no reflectivas no deberían usarse solas como un sustituto de otro tipo de marcas, deberían usarse con otras reflectivas.

El espaciamiento entre estas marcas deberá estar relacionado con la razón segmento a separación de las líneas discontinuas que complementa o sustituye. El mismo se define mediante un valor “N” igual a la suma de la longitud de un segmento más la de una brecha, en una línea segmentada.

8.2.8. ReflectORIZACIÓN

Todas las marcas en el pavimento deben ser claramente visibles durante la noche; la reflectorización no es normalmente esencial donde existe una buena iluminación vial, pero aún sobre calles de ciudad que están bien iluminadas es deseable que las demarcaciones sean reflectantes.

8.3. Monumentos de kilometraje

8.3.1. Aplicación

En las vías principales de la red vial tradicionalmente se han utilizado postes o mojones de concreto con el fin de identificar las carreteras según su número de ruta y kilometraje, como es el modelo descrito en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos; pero ahora también existe la opción recomendada en el Manual Centroamericano que es el uso de paneles metálicos de 0.30 m de ancho por 1.20 m de altura.

El costo de fabricación o construcción de los marcadores metálicos es más bajo; además su mantenimiento, confección y colocación es más fácil y de menor costo que el de los mojones de concreto tradicionales.

A continuación se hará referencia a los monumentos de kilometraje de diseño tradicional.

8.3.2. Fabricación

Los monumentos de kilometraje deben ser fundidos y el concreto debe ser clase 14 (2000), salvo que se indique de otra manera en los planos. El acero de refuerzo, los materiales del concreto, su preparación y colocación deben estar de acuerdo con las “Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes” de la Dirección General de Caminos.

Si no se indica de otra manera en los planos, los monumentos deben tener 1.25 m de largo, sección triangular, de triángulo equilátero de 0.15 m por lado mínimo y de acuerdo con los detalles indicados en los planos.

8.3.3. Colocación

Si los planos no lo indican de otra manera, los monumentos de kilometraje se deben colocar a un mínimo de 1.50 m del extremo de la capa de rodadura. Los monumentos deben estar enterrados 0.50 m dentro del suelo, para lo cual se debe hacer una excavación de 0.30 x 0.30 x 0.50 m y el espacio entre el monumento y la excavación se debe llenar y compactar con material adecuado, que garantice que los monumentos queden bien anclados al suelo.

8.4. Delineadores

8.4.1. Aplicación de los delineadores

Son postes de concreto reforzado prefundido, que se deben colocar a lo largo de la carretera, en series, y en ambos lados, cuando sean necesarios, para indicar el alineamiento de la vía.

Los delineadores tienen la función de ser una guía para los conductores de vehículos con respecto a cualquier cambio en la alineación del camino. Es conveniente utilizar color rojo sobre la parte de atrás de cualquier delineador en los casos en que puedan ser vistos por un conductor que circule en la dirección equivocada.

8.4.2. Fabricación

Los delineadores deben ser prefundidos y el concreto debe ser clase 14 (2000), salvo que se indique de otra manera en los planos. El acero de refuerzo, los materiales del concreto, su preparación y colocación deben de estar de acuerdo con las “Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes” de la Dirección General de Caminos.

Si no se indica de otra manera en los planos, los delineadores deben tener 1 m de largo, sección circular de 0.10 m de diámetro y deben de estar de acuerdo con los detalles indicados en los planos.

8.4.3. Colocación

Si los planos no lo indican de otra manera, los delineadores se deben colocar en el extremo exterior del hombro, deben tener una separación en tangentes de 60 m a 160 m y en las curvas horizontales, de acuerdo a la formula: $E = 24 / \sqrt{G}$, donde: E = espaciamiento centro a centro de los delineadores en metros. G = grado de la curva (ángulo central subtendido por un arco de 20 m).

El espaciamiento del primer delineador al acercarse a una curva es 2E, el segundo 3E, y el tercero 6E, pero esta última distancia no deberá exceder 90 m.

Deben estar enterrados 0.50 m dentro del suelo, para lo cual se debe hacer una excavación de 0.30 m de diámetro y 0.50 m de profundidad. El espacio entre el delineador y la excavación se debe llenar y compactar con material adecuado que garantice su firmeza.

8.5. Indicadores del derecho de vía

8.5.1. Aplicación

Los indicadores del derecho de vía son los monumentos que se deben colocar a lo largo de la carretera y en ambos lados, para definir el lindero del Derecho de Vía propiedad del estado y los terrenos adyacentes, propiedad de particulares.

8.5.2. Fabricación

Los indicadores deben ser prefabricados de concreto simple clase 14 (2,000). Los materiales del concreto, su preparación y colocación deben de estar de acuerdo con las “Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes” de la Dirección General de Caminos.

Si no se indica otra cosa en los planos, los indicadores deben tener forma prismática de base cuadrada. La base debe tener 0.15 m por lado y la altura del prisma debe ser como mínimo 0.50 m. La base del monumento expuesta a la vista, debe tener un punto de metal en el cruzamiento de sus diagonales, indicador del punto linderero del Derecho de Vía.

8.5.3. Colocación

Los indicadores se deben colocar a la distancia que se indica en los planos y en tal forma que marquen claramente la línea del linderero del Derecho de Vía. La excavación se debe hacer de por lo menos 0.30 x 0.30 x 0.50 m y después se debe colocar el indicador, llenando los espacios entre las paredes de la excavación y monumento con material adecuado y bien compactado para que el monumento quede firme y no pueda ser removido fácilmente.

Debido a que en la mayoría de proyectos de carreteras no se resuelve por anticipado el problema del Derecho de Vía, durante su construcción únicamente se va negociando con los propietarios para se otorguen permisos de pasar por sus propiedades o ceden únicamente áreas para el ancho de la carretera que se utilizará físicamente; por esta razón, es rara la vez que los monumentos indicadores del Derecho de Vía son colocados.

8.6. Defensas para carreteras y puentes

8.6.1. Aplicación

Aunque las “Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes” de la Dirección General de Caminos, señalan que las defensas pueden ser estructuras de madera, concreto reforzado pre-fundido, concreto pre-esforzado o de metal, formadas por postes (miembros verticales) y rieles (miembros horizontales), colocados a los lados de la carretera y/o puentes para prevenir accidentes y disminuir la gravedad como consecuencia de los mismos; los materiales más utilizados tanto para postes como para rieles, es el metal.

8.6.2. Fabricación

Los postes y rieles deben ser fabricados de planchas de acero de acuerdo con las Especificaciones. El metal debe ajustarse a los requisitos de la norma AASHTO M180.

Los postes de metal deben tener la sección indicada en los planos. Los rieles de metal deben ser vigas de forma W de 0.30 m de alto y 0.75 m de profundidad de sección mínima.

El espesor del metal debe ser por lo menos de 2.67 mm (calibre 12), cuando la profundidad de la sección de la viga sea de 75 mm, y de por lo menos 3.43 mm (calibre 10), cuando la profundidad de la sección sea mayor de 75 mm. Los espesores de las planchas pueden ser calibres equivalentes iguales o mayores en su espesor.

Los rieles deben ser fabricados con la sección transversal apropiada y estar preparados para armarse cuando se reciban en el campo. Los postes y rieles deben ser de sección uniforme y serán rechazados los torcidos o deformados.

Las defensas se suministrarán con todos los accesorios tales como: pernos, tuercas, roldanas, empaques, terminales, etc., necesarios para una instalación completa. Los postes y rieles de metal y todos los accesorios metálicos deben ser galvanizados.

8.6.3. Colocación

8.6.3.1. Postes

Los postes deben tener una separación centro a centro no mayor de 3.50 m. Deben estar enterrados 1.10 m y empotrados en concreto un mínimo de 0.50 m en la parte superior.

La longitud exterior será variable, de acuerdo con las dimensiones del riel. No se debe disminuir el alto de los postes, a menos que el delegado residente lo autorice y el extremo cortado quede empotrado en el concreto.

8.6.3.2. Rieles

La superficie exterior orientada hacia el pavimento, debe estar a un mínimo de 0.90 m del exterior de la capa de rodadura. La distancia de la superficie del suelo hacia la parte inferior de la viga, no debe ser mayor de 0.45 m.

Los rieles se deben instalar después de completada la construcción del pavimento adyacente. No se debe modificar los diámetros especificados para los agujeros o ranuras hechos para la introducción del riel.

Se deben doblar en el taller todas las defensas curvas con un radio de 45 m o menos. Se deben instalar los elementos del riel en una línea continua con los traslapes en la dirección del flujo del tráfico. Se deben utilizar pernos que se extiendan por lo menos 6 mm pero no más de 25 mm más allá de las tuercas, debiendo apretar bien todos los pernos.

Los empalmes de los rieles, se deben hacer de tal manera que no presenten salientes en dirección contraria al tránsito y que a la vez, proporcionen al riel la suficiente continuidad y rigidez estructural. El riel debe empalmarse con margen suficiente para expansión.

9. PRUEBAS USUALES DE LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS

En este capítulo se hará mención de algunas de las pruebas que se hacen en el campo y dentro del laboratorio de materiales y suelos durante el proceso de construcción de una carretera, se dará una breve descripción de cada una de las pruebas, se indicarán las normas con las que debe de cumplir y un listado de los enseres necesarios para poder ejecutar la prueba en mención.

9.1. Ensayo de compactación *Proctor* Modificado

Para medir el grado de compactación de un material o un relleno se debe establecer la densidad seca del material. En la obtención de la densidad seca se debe tener en cuenta los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende del contenido de humedad durante el mismo. Para obtener una buena compactación será necesario controlar debidamente la cantidad de agua, debido a que si ésta es muy poca, no existirá lubricación y no se podrá disminuir la fricción existente entre las partículas; en caso de que el agua sea en exceso, las partículas podrán ser separadas por el agua.

La situación anterior, demuestra que es necesario determinar la cantidad de agua en la cual se obtenga una excelente lubricación que permita la mayor densidad posible llamada “densidad máxima o peso unitario seco máximo”, y a la cantidad de agua necesaria para obtener dicha densidad recibe el nombre de “humedad óptima”.

Se puede decir que la densidad seca de un suelo, producida por la compactación, depende del porcentaje de humedad que contenga y de la intensidad de la fuerza de compactación que se le aplique. La compactación de un suelo se mide y se verifica por la densidad seca del suelo, esto es, el peso de las partículas sólidas por unidad de volumen, las unidades de la densidad son: $\text{kg}\cdot\text{m}^3$ o lb/pie^3 . De la comparación de la densidad seca actual, con la densidad seca máxima resulta el porcentaje de compactación.

Los métodos dinámicos para compactación de suelos, son aquellos en los que la energía de compactación se aplica por medio de golpes de pisón (mazo o martillo) dinámicamente (*Proctor*). Debido a que en la actualidad se utiliza el ensayo de *Proctor* Modificado con mayores beneficios del estándar para la compactación, se describen los cuatro procedimientos alternativos para este ensayo:

- Método A: molde de 10.16 cm (4 plg) con material que pasa el tamiz No. 4. Compactar en 5 capas con 25 golpes cada una.
- Método B: molde de 15.24 cm (6 plg) con material que pasa el tamiz No. 4. Compactar en 5 capas con 56 golpes cada una.
- Método C: molde de 10.16 cm (4 plg) con material que pasa el tamiz 1.95 cm ($\frac{3}{4}$ plg). Compactar en 5 capas con 25 golpes cada una.
- Método D: molde de 15.24 cm (6 plg) con material que pasa el tamiz 1.95 cm ($\frac{3}{4}$ plg). Compactar en 5 capas con 56 golpes cada una.

El ensayo para el método *Proctor* debe de cumplir con lo estipulado en:

- AASHTO T180-01: *Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54 kg (10 lb) Rammer and 457 mm (18 plg)*.
- ASTM D1557-07: *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 pie-lbf/pie³ (2,700 kN-m/m³))*.

9.1.1. Equipo necesario para el ensayo

- Cilindro *Proctor* de compactación de 10.16 ó 15.24 cm (4 ó 6 plg), dependiendo del método descrito anteriormente.
- Martillo de compactación de 4.54 Kg (10 lb) de peso y 45.72 cm (18 plg) de caída.
- Tamiz de 5.08 cm (2 plg), tamiz No. 4 de 19 mm ($\frac{3}{4}$ plg).
- Balanza de 20 kg de capacidad y aproximación de 1 gr o una de 35 lb de capacidad y aproximación de 0.01 lb.
- Balanza de 3 escalas de 0.01 gr de aproximación.
- Horno capaz de mantener una temperatura de 110 °C con aproximación de 5 °C.
- Tarros metálicos para determinación de humedad.
- Espátula, cucharón para mezclar, rodillo, regla de acero de 30 cm (12 plg).
- Extractor de muestra (opcional).

9.2. Relación de Soporte California (CBR)

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte (CBR, *California Bearing Ratio*) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de compactación variables. El ensayo se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California en 1929 como una forma de clasificación y evaluación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-base o material de base en construcción de carretas.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un porcentaje de la relación de soporte.

El porcentaje CBR (o simplemente CBR), está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, una probeta con una muestra estándar de material triturado. La expresión que define al CBR es la siguiente:

$$\% \text{ CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo} \times 100) / (\text{carga unitaria patrón})$$

De la ecuación se observa que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de porcentaje se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero, por ejemplo: 30, 40, 98, etc.

El ensayo de CBR debe de cumplir con lo estipulado en:

- AASHTO T193-99: *Standard Method of Test for The California Bearing Ratio.*
- ASTM D1883-07: *Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory—Compacted Soils.*

9.2.1. Equipo necesario para el ensayo

- Prensa para ensayo con capacidad de por lo menos 4,541.33 kg (10,000 lb), equipada con cabezal o base movable que avance a razón de 1.3 mm/min (0.05 plg/min), para forzar el pistón de penetración dentro del espécimen. La maquina deberá estar equipada con indicadores de carga, legibles cada 4.54 kg (10 lb) o menos, un dispositivo indicador de carga con lecturas de curso no menor que 50 mm (2 plg).

- Pistón de penetración metálico, de 4.88 cm (1.92 plg) de diámetro (19.35 cm² (3 plg²) de área) y no menos de 10.16 cm (4 plg) de longitud.
- Micrómetro de reloj, con sensibilidad legible 0.0254 mm (0.001 plg) para medir penetración.
- 3 moldes cilíndricos metálicos de diámetro interno de 152.4 ± 0.7 mm (6 ± 0.03 plg) y con una altura de 177.8 ± 0.1 mm (7 ± 0.004 plg), provistos de collar de extensión de 50.8 mm de altura (2 plg) y una plancha de base perforada de 9.5 mm de espesor (3/8 plg). Las perforaciones de la plancha no deberán exceder un diámetro de 1.60 mm (1/16 plg).
- 3 discos separadores de 150.8 mm de diámetro (5 15/16 plg) y 61.4 mm de espesor (2.146 plg).
- Aparato para medir la expansión, compuesto por una placa metálica provista de un vástago ajustable de metal con perforación de diámetro menor o igual a 1.6 mm y un trípode metálico para sujetar para ajustar el micrómetro de reloj de 0.254 mm (0.01 plg) para medir el hinchamiento.
- Sobrecargas, una metálica anular y varias metálicas ranuradas de 2.27 kg de peso cada una (5 lb), 149.2 mm de diámetro externo (5 5/8 plg) y 54 mm de diámetro interno (2 1/8 plg).
- Martillo de compactación de 4.54 kg (10 lb) de peso con guía para 45.72 cm (18 plg) de caída.
- 2 tamices para el cribado del material según sus características N°. 4 y 19 mm (¾ plg).
- Balanza con capacidad de 100 kg y balanza para humedad de 1 kg.
- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en 110 ± 5 °C.
- Bandeja para mezcla, regla metálica, tanque de inmersión, papel filtro, cucharones, balanzas, tarros para medición de humedades y cronómetro.

9.3. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla por ejemplo, al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con los que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. Atterberg dividió y consideró tres límites o estados de consistencia: el límite de contracción, que es la frontera convencional entre el estado sólido y semisólido, el límite plástico que es la frontera entre los estados semisólido plástico; y el límite líquido que se define como la frontera entre estado plástico y semilíquido. También se denomina al límite líquido como la frontera entre el estado plástico y líquido.

Tabla VII. **Límites de Atterberg**

Sólido	Semisólido	Plástico	Semilíquido	Líquido
	L C	L P	L L	

Fuente: Juan Carlos Hernández Canales. Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición. p.47.

9.3.1. Determinación del límite líquido (LL)

El límite líquido está definido, como el contenido de humedad en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico para pasar al estado líquido o semilíquido, en donde el suelo toma las propiedades y apariencias de una suspensión. Puesto que no existe una separación muy clara entre los estados de consistencia semilíquido, plástico y semisólido, se ha ideado el procedimiento estándar para la determinación de este límite; el cual se denomina “método mecánico” el que ideó Arthur Casagrande y también denominado “Copa de Casagrande”.

El dispositivo consiste en una copa esférica con un radio interior de 54 mm, espesor de dos mm y peso de 200.20 gr incluyendo el tacón, los cuales giran en torno a un eje fijo unido a la base. Casagrande, determinó que el límite líquido es una medida de resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad y que cada golpe necesario para cerrar el surco, corresponde a un esfuerzo cortante cercano a 1 g/cm^2 . El límite líquido puede utilizarse para estimar asentamiento en problemas de consolidación y en conjunto con el límite plástico algunas veces pueden predecir la máxima densidad en estudios de compactación.

El ensayo para determinar el límite líquido debe de cumplir con lo estipulado en:

- AASHTO T089-02: *Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils.*
- ASTM D423-66 (1982): *Method of Test Liquid Limit of Soils.*

9.3.1.1. Equipo necesario para el ensayo

- Copa de Casagrande (ASTM D4318), copa esférica con un radio interior de 54 mm, espesor de 2 mm y peso de 200.20 gr incluyendo el tacón los cuales giran en torno a un eje fijo unido a la base.
- Ranurador, combinación de acanalador y calibre; con borde contrario al acanalador de 1 cm².
- Tamiz No. 40.
- Cazuela de porcelana y apisonador.
- Recipientes para muestra de contenido de humedad.
- Balanza con precisión de 0.01 gr.
- Espátula con hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.
- Probeta con una capacidad de 25 cm³.
- Horno capaz de mantener temperatura constante de 105 °C.

9.3.2. Determinación del límite plástico (LP)

El límite plástico está definido como el contenido de humedad, en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico; en el estado semisólido el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aun disminuye de volumen al estar sujeto a secado y en el estado plástico el suelo se comporta plásticamente. Arbitrariamente, también se define como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro se rompe o se agrieta, cuando se enrolla a un diámetro aproximado de tres milímetros (1/8 plg), al rodarse con la palma de la mano sobre una superficie lisa.

Esta prueba es muy subjetiva (dependiente del operador) que el ensayo del límite líquido pues la definición del agrietamiento del cilindro de suelo así como el diámetro de tres milímetros están sujetos a la interpretación del operador. El diámetro del cilindro de suelo puede establecerse por comparación con un alambre común o de soldadura del mismo diámetro. Con la práctica, se encuentra que los valores del límite plástico pueden reproducirse sobre el mismo suelo por parte de diferentes laboratorios dentro de un rango del uno al tres por ciento.

El ensayo para determinar el límite plástico debe de cumplir con lo estipulado en:

- AASHTO T090-00: *Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity index of Soils.*
- ASTM D424-54 (1982): *Standard Method of Test for Plastic Limit.*

9.3.2.1. Equipo necesario para el ensayo

- Plato de evaporación de porcelana, con un diámetro de aproximadamente 120mm.
- Espátula con una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.
- Placa de vidrio esmerilado de 20 x 20 cm, aproximadamente.
- Cazuela para secado.
- Recipientes para muestras de contenido de humedad.
- Balanza con precisión de 0.01 gr.
- Probeta con una capacidad de 25 cm³.
- Horno capaz de mantener temperatura constante de 105 °C.
- Patrón de comparación, alambre o plástico de 3 mm.
- Tamiz No. 40 ASTM.

9.3.3. Índice de plasticidad (IP)

Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP). El cual representa la variación de humedad que puede tener un suelo que se conserva en estado plástico. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la calidad y tipo de arcilla presente en la muestra, sin embargo el índice de plasticidad depende generalmente, de la cantidad de arcilla en el suelo.

$$IP = LL - LP$$

Atterberg clasificó el IP en diferentes secciones, que varía de cero hasta 17, en los cuales los suelos se componen de acuerdo a la magnitud del índice de plasticidad, es decir, que se muestra un indicativo para razonar como trabaja el suelo en el terreno.

Si **IP = 0**, Si no es posible determinar uno de los dos límites (LL o LP), o si la diferencia es negativa (IP), el suelo se clasifica como No Plástico (NP).

Si **IP < 7**, El suelo tiene una baja plasticidad.

Si **7 < IP < 17** El suelo es medianamente plástico.

Si **IP > 17** Suelo altamente plástico.

9.4. Granulometría

La variedad en el tamaño de las partículas del suelo, casi es ilimitada; por definición, los granos de mayor tamaño son los que se pueden mover con gran facilidad, mientras que los más finos son tan pequeños que no se puede apreciar con un microscopio corriente. Las partículas producidas por la meteorización mecánica rara vez son de diámetro inferior a 0.001 mm y generalmente, son mucho mayores. Para clasificar por tamaño de partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el del tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de las partículas, el tamizado se hace cada vez más difícil teniéndose entonces que recurrir al procedimiento de sedimentación.

La información obtenida del análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo, aún cuando los ensayos de permeabilidad se utilizan más comúnmente. El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada. Obviamente para obtener un resultado satisfactorio la muestra debe ser estadísticamente representativa de la masa del suelo.

Para lograr ésto se obtiene la cantidad de material que pasa a través de un tamiz con una malla dada pero que es retenido en un siguiente tamiz, cuya malla tiene diámetros ligeramente menores a la del anterior. Es evidente que el material retenido de esta forma en cualquier tamiz consiste en partículas de muchos tamaños, los cuales son menores al tamaño de la malla anterior a la que paso.

Los bastidores de los tamices son de bronce centrifugado o de acero inoxidable con bordes laminados, fondos extendidos para que se adapten a todos los armazones, recipientes o fondos separadores del mismo diámetro. Esto permite que se puedan apilar. Los tamices de bronce son más económicos; los tamices de acero inoxidable son de más larga duración, con una malla resistente al pandeo.

El número de tamiz, los micrones, la apertura nominal en milímetros y pulgadas están escritos en una placa de metal permanentemente pegada en cada tamiz. Todos los tamices cumplen con la norma ASTM E11; AASHTO M92.

Todos los sistemas de clasificación utilizan el tamiz No. 200 como punto divisorio; las clasificaciones se basan generalmente, en términos de cantidad retenida o la cantidad que pasa a través del tamiz No. 200. Ocasionalmente es deseable conocer la escala aproximada de partículas de suelo menores que el tamiz No. 200. Para este caso, el método del hidrómetro es el más utilizado.

El ensayo para el análisis granulométrico (método mecánico), debe de cumplir con lo estipulado en:

- AASHTO T087-86: *Standard Method of Test for Dry Preparation of Disturbed Soil and Soil-Aggregate Samples for Test.*
- ASTM D421-98: *Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.*
- AASHTO T088-00: *Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils.*
- ASTM D422-02: *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.*

9.4.1. Equipo necesario para el ensayo

- Juego de tamices (1 ½", ¾", No. 4, No. 10, No. 40, No. 200 y fondo); de arriba hacia abajo en ese orden.
- Maquina tamizadora.
- Balanza de 20 Kg de capacidad y aproximación de 1 gr o una de 35 lb de capacidad y aproximación de 0.01 lb.
- Martillo, formón, cepillo.

9.5. Equivalente de arena

Este ensayo se efectúa con el fin de conocer el porcentaje relativo de finos-plásticos que contienen los suelos y los agregados pétreos, es un método rápido que se puede hacer tanto en el campo como en el laboratorio. Se lleva a cabo, principalmente, cuando se trata de materiales que se usarán para base, sub-base o sea en bancos de préstamo.

El ensayo para equivalente de arena, debe de cumplir con lo estipulado en:

- AASHTO T176-02: *Standard Method of Test for Plastic Fines in Graded Aggregates and Soils by Use of the Sand Equivalent Test.*
- ASTM D2419-95: *Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fie Aggregate.*

9.5.1. Equipo necesario para el ensayo

- Probeta de 43.18 cm (17 plg) de alto, graduada hasta los 38 cm (15 plg) y con divisiones hasta 0.254 cm (1/10 plg), diámetro de 3.18 cm (1 ¼ plg).
- Pie, consistente en una varilla de acero, delgada, de 45.72 cm (18 plg) de largo, que tiene en su parte superior un contrapeso que brinda al conjunto un peso total de 1 kg y en la parte inferior un pequeño cono que se sienta sobre el material depositado en el fondo de la probeta; tiene también una pequeña roldana movable a lo largo de la varilla, esta roldana tiene un diámetro exterior igual al diámetro interior de la probeta.
- Un tarro metálico de 88 cm³ (3 onzas) de capacidad.
- Un tapón de hule para cerrar la probeta, cuando esta tiene la solución y el material listos para la prueba y así efectuar el movimiento horizontal de los ciclos.
- Un embudo de boca ancha de 10.16 cm (4 plg), para colocar el material dentro de la probeta.
- Solución básica de Stock (Cloruro de calcio mezclado con formaldehído y glicerina).
- Un frasco de un galón, el cual se tapa con un tapón que lleva un pequeño tubo para el aire y un pequeño sifón de vidrio al que se le adapta una manguera de hule de 6.4 mm (¼ plg) de diámetro interno, al extremo libre de la manguera se le acopla un tubo pequeño llamado “cánula”, por el que desagua la solución de Stock proveniente del galón, a la probeta, la cánula lleva en su extremo libre unos agujeros pequeños que sirven para que la solución salga en forma de regadera y ayude a levantar más rápidamente los granos finos. Este frasco se coloca 92 cm (3 pies) arriba de la mesa de trabajo.
- Un cronometro o reloj exacto que marque segundos.

9.6. Densidad del suelo *in situ*

Este ensayo se utiliza con el fin de conocer y controlar la compactación de terraplenes y capas de base, también se usa para determinar densidad *in situ* y porcentajes de contracción o hinchamiento de materiales. Los pesos unitarios pueden expresarse en las siguientes unidades: g/cm³, kg/m³, lb/pie³.

Deben distinguirse dos tipos de pesos unitarios:

- Peso unitario húmedo o densidad húmeda (PUH): es el peso del material húmedo, *in situ*, por unidad de volumen.
- Peso unitario seco o densidad seca (PUS): es el peso del material seco (seca en horno a 105 °C o 110 °C) por unidad de volumen, en el sitio. Este es el que se trata de determinar en el presente ensayo y el que se compara con el valor máximo obtenido en la prueba de compactación (*Proctor*) para obtener el porcentaje de compactación final.

Una vez definidos los criterios de compactación (en la forma de especificaciones técnicas) para las obras en terreno, es necesario utilizar un método para determinar la densidad o peso unitario que el suelo alcanza luego de la compactación. Existen varios métodos para determinar el grado de compactación en el terreno; el método del cono de arena, el método de balón de densidad y el método nuclear. Básicamente, tanto el método del cono de arena como el método del balón de densidad utilizan los mismos principios. O sea, se obtiene el peso del suelo húmedo de una pequeña excavación de forma irregular (un agujero) hecho sobre la superficie del suelo.

Si es posible determinar el volumen de dicho agujero, la densidad húmeda del suelo se calcula simplemente como:

$$\gamma_{\text{hum}} = \text{Peso del suelo húmedo} / \text{Volumen del agujero}$$

Y se obtiene el contenido de humedad w del material excavado, el peso unitario seco o peso específico seco del material es:

$$\gamma_{\text{seco}} = \gamma_{\text{hum}} / (1 + w)$$

Los métodos de cono de arena y balón permiten encontrar el volumen del agujero. Pero haremos mención del método del cono de arena y el cual representa una forma indirecta de obtener el volumen del agujero. La arena utilizada (a menudo arena de Ottawa) es generalmente, material que pasa el tamiz No. 20 (0.085 mm) y esta se encuentra retenida por el tamiz No. 30 (0.060 mm). Aunque el material menor que el tamiz No. 30 y mayor que el tamiz No. 50 (0.03 mm) pueden también utilizarse.

Además de lo anterior, la arena que se utiliza deberá ser limpia, seca, uniforme, no cementada, durable y que fluya libremente. Deberá tener un Coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60} / D_{10}$) menor que dos y no contener partículas que queden retenidas en el tamiz No. 10 (2 mm).

El aparato de cono de arena más comúnmente usado utiliza un recipiente plástico o de vidrio de 3,785 cm³ (1 gal) con suficiente material para llenar un hueco (y respectivo cono) no mayor de 3,800 cm³, dependiendo de cuan cuidadosamente se haya llenado el recipiente antes de ser usado.

Es posible además conseguir recipientes de 7,500 cm³ (2 gal) y 1,900 cm³ (0.5 gal), aunque no son ampliamente utilizados.

Como una guía, la ASTM sugiere los siguientes criterios para seleccionar el volumen del agujero y tamaño de la muestra para contenido de humedad, con el fin de obtener resultados razonables en el ensayo.

Tabla VIII. **Tamaño de tamices para muestras de contenido de humedad**

Tamaño máximo en el suelo según tamiz	Volumen del hueco para el ensayo (cm ³)	Tamaño de la muestra para contenido de humedad (g)
No. 4 (7.74 mm)	700	100
12.5 mm (½ plg)	1,400	250
25.0 mm (1 plg)	2,100	500
50.0 mm (2 plg)	2,800	1,000

Fuente: Joseph E. Bowles. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. p.92.

Con los avances obtenidos en la rama de Mecánica de Suelos, es posible determinar la humedad de la muestra de forma instantánea, mediante un dispositivo denominado por las normas ASTM D4944 y AASHTO T-217 como *SPEEDY™ (moisture testers)* o prueba de humedad rápida.

Este aparato consiste principalmente en una cámara cilíndrica con un manómetro de reloj en la parte inferior, dicho manómetro indica la presión en la cámara ejercida por el suelo, combinando con una medida exacta de cinco gramos carburo de calcio. La reacción entre la humedad del suelo y el carburo de calcio, crea cierta presión en la cama; debido al movimiento vertical que se crea para combinar dichos componentes y siendo mezclados mediante una bola de acero de un centímetro de diámetro.

La presión que lee el manómetro representa una presión para un cierto porcentaje de humedad el cual es leído en las tablas que este equipo lleva consigo.

El ensayo para determinar la densidad del suelo *in situ*, debe de cumplir con lo estipulado en:

- AASHTO T191-02: *Standard Method of Test for Density of Soil in-Place by the Sand-Cone Method.*
- ASTM D1556-00: *Standard Test Method of Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method.*

9.6.1. Equipo necesario para el ensayo

- Cono de metal con válvula, llamado “picnómetro”, cuando está en su frasco.
- 2 frascos grandes de plástico o vidrio adaptables al cono de metal (uno de repuesto).
- Tamiz No. 4 (4.75 mm)
- Bandeja de metal con un agujero circular al centro.
- Arena calibrada de Ottawa.
- Balanza de 35 lb de capacidad y sensible a 0.01 lb, o puede usarse una de 11 kg con aproximación a 1 gr.
- Equipo para determinación de humedad *SPEEDY™*, que consiste en una cámara de presión, balanza, carburo de calcio, medidor para proporcionar la cantidad adecuada de carburo de calcio, esferas de acero de 1 cm de diámetro y equipo de limpieza.
- Martillo, cuchara, cincel o broca con extensión, cuando el material lo permite.

9.7. Prueba de revenimiento del concreto

Una de las características del concreto fresco antes de fraguar es la trabajabilidad, que se considera como el índice que expresa su aptitud para la aplicación, y su calidad y homogeneidad después del fraguado. La facilidad de aplicación se define principalmente por la consistencia, que varía por la cantidad de agua que contiene el concreto. Esta consistencia se mide por la prueba de revenimiento y se realiza con la mezcla tentativa para definir la adecuada formulación del concreto que satisfaga los requisitos establecidos o para ver si un concreto mezclado satisface los requisitos establecidos.

La prueba se realiza para control de calidad en las plantas de concreto fresco y como inspección de entrada del concreto premezclado en las obras de construcción. El concreto que tiene un revenimiento extraordinariamente alto no solo es poco resistente a la compresión sino también muestra una segregación muy grande de materiales, además de una serie de desventajas, como el aumento de sangrado, la reducción de impermeabilidad por la formación de una membrana acuosa en la superficie inferior de los agregados y el incremento de la contracción por secado.

La descripción del ensayo dice así: Tome dos o más muestras representativas, a intervalos espaciados de manera regular, de la mitad de la descarga de la mezcladora; no tome muestras del comienzo o el final de la descarga. Obtenga muestras dentro de los primeros 15 minutos. Importante: los ensayos de revenimiento deben hacerse dentro de los 5 minutos después del muestreo. Combine las muestras en una carretilla o en un recipiente adecuado y vuelva a mezclar antes de llevar a cabo el ensayo, humedezca el cono de revenimiento con agua y colóquelo en una superficie plana, nivelada, lisa, húmeda, no absorbente y firme.

- Póngase de pie sobre las dos pestañas del cono para sostenerlo firmemente durante los primeros cuatro pasos. Llene el molde del cono $1/3$ del volumen (67 mm de altura) con el concreto y golpee éste con 25 golpes utilizando una barra de acero de 16 mm de diámetro por 60 cm de largo. Distribuya uniformemente los golpes sobre la sección de cada capa. Para la capa del fondo, se requerirá inclinar la barra ligeramente y distribuir aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro externo, y después progresivamente continuar con golpes verticales especialmente hacia el centro.
- Llene el cono $2/3$ parte de su volumen (la mitad de su altura) y de nuevo golpee 25 veces con la barra penetrando, pero no atravesando, la primera capa. Distribuya los golpes de la manera descrita en el primer paso.
- Llene el cono hasta el tope y golpee 25 veces con la barra penetrando pero no atravesando la segunda capa. Distribuya los golpes de manera uniforme.
- Remueva el exceso del concreto o mortero del tope del cono con una barra de acero de forma tal que el cono este perfectamente lleno y nivelado. Limpie el exceso de la base del molde del cono.
- Inmediatamente después de completar el cuarto paso, proceda con la operación de elevación del molde, ésto deberá realizarse en 5 a 2 segundos con un levantamiento continuo sin movimiento lateral. La operación entera desde el comienzo del relleno hasta el levantamiento del molde debe llevarse a cabo sin interrupciones y deberá completarse en un tiempo de aproximadamente 2.5 minutos.

- Coloque la barra de acero horizontalmente sobre el molde invertido para que la barra se extienda sobre el concreto con revenimiento. Inmediatamente después mida la distancia de la parte inferior de la barra de acero al centro original desplazado de la parte superior de la muestra de concreto. Esta distancia, redondeada a los 6 mm más cercanos, es el revenimiento del concreto.

Si existe una caída lateral o una inclinación del concreto hacia un lado, descarte el ensayo y repítalo con otra muestra.

El ensayo para la prueba de revenimiento del concreto, debe de cumplir con lo estipulado en:

- ASTM C-143: Método de Ensayo Estándar para el concreto de Cemento Pórtland.
- ASTM C-172: Método de Ensayo Estándar para el muestreo de concreto recién mezclado.

9.7.1. Equipo necesario para el ensayo

- Cono de Revenimiento, un cono de acero de 30 cm de altura, 10 cm de diámetro interior en la punta superior y de 20 cm de diámetro interior en la punta inferior con sujetadores (pestañas) y asas en los lugares apropiados.
- Barra para compactar, barra redonda de acero de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo, con punta semiesférica (punta de bala).
- Placa impermeable, una placa cuadrada de acero de 30 cm de lado con un espesor de 10 mm o similar.
- Regla o escala para medir el revenimiento con divisiones mínimas de 0.5 cm.

9.8. Preparación de cilindros de ensayo del concreto

Normalmente, se mide la resistencia a la compresión para garantizar que el concreto (hormigón) despachado a determinado proyecto cumple con los requerimientos especificados y con el control de calidad. Para la realización del ensayo a compresión del concreto, se moldean especímenes cilíndricos de ensayo de 100 mm X 200 mm (4" X 8") o de 150 mm X 300 mm (6" X 12"), luego se almacenan en campo hasta que el concreto endurezca, de acuerdo con los requerimientos del ASTM C31.

La mayoría de las especificaciones requiere que técnicos certificados por el ACI (*Field Testing Certification Grade I*), o un programa equivalente preparen los especímenes en campo.

Cuando se elaboren cilindros para la aceptación del concreto, el técnico que se encuentra en campo debe ensayar otras propiedades del concreto fresco como temperatura, asentamiento (revenimiento), densidad (peso unitario), y contenido de aire. Esta información debe existir, acompañando al grupo de cilindros, hechos para un vaciado (colado) o colocación particular. Un resultado de un ensayo de resistencia es siempre el promedio de al menos dos especímenes ensayados a la misma edad. Un juego de 2 a 6 cilindros puede realizarse a partir de la misma muestra de concreto, como mínimo cada 115 m³ de concreto colocado.

Los resultados de los cilindros curados normalmente se usan para:

- Ensayo de aceptación para una resistencia especificada.
- Verificar las proporciones de mezcla para una resistencia especificada.
- Ejercer control de calidad del productor de concreto.

Es muy importante que los cilindros sean preparados y curados siguiendo los procedimientos normalizados. Cualquier desviación de dichos procedimientos resultará en una menor resistencia medida. Los resultados de resistencia bajos debidos a procedimientos que no concuerdan con las normas causan una preocupación injustificada, costos y demoras al proyecto.

Los resultados de resistencia de los cilindros curados en campo se emplean para:

- Determinar el tiempo en el cual la estructura se puede poner en servicio.
- Evaluar la suficiencia del curado y la protección del concreto en la estructura.
- Programar la remoción de formaletas (cimbras) y apuntalamientos.

La preparación de cilindros de concreto para ensayo, debe de cumplir con lo estipulado en:

- ASTM C31: Prácticas Normalizadas para elaborar y curar especímenes de concreto en campo.

9.8.1. Equipo necesario para el ensayo

- Moldes para formar los especímenes. Los de plástico son los más comunes.
- Varilla apisonadora con punta redondeada de 15 mm (5/8") de diámetro para cilindros de 150 mm X 300 mm (6" X 12") ó 10 mm (3/8") de diámetro para cilindros de 100 mm X 200 mm (4" X 8"), o un vibrador.
- Mazo de caucho de 0.6 +/- 0.2 kg (1.25 +/- 0.50 lb).
- Pala, llana de madera, espátula y cuchara.
- Carretilla u otro contenedor apropiado.

- Tanque de agua o cuarto de curado con suficiente provisión para mantener el ambiente de curado necesario durante el período inicial.
- Equipo de seguridad apropiado para el manejo de la mezcla de concreto en estado plástico.

9.9. Prueba de resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura.

La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) o en mega pascales (MPa) para unidades SI.

Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 2,500 psi (17 MPa) para concreto residencial hasta 4,000 psi (28 MPa) y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 10,000 psi (170 MPa) y más.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, f'_c , del proyecto.

Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de formaletas o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura.

Los cilindros para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de 150 x 300 mm (6 x 12 pulgadas) o 100 x 200 mm (4 x 8 pulgadas), cuando así se especifique. El diámetro del cilindro utilizado debe ser como mínimo tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso que se emplee en el concreto.

El ensayo para la prueba de resistencia a la compresión del concreto, debe de cumplir con lo estipulado en:

- ASTM C31: Practica Estándar para Elaborar y Curar Probetas de Ensayo de Concreto en Campo.
- ASTM C39: Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Concreto.
- ASTM C617: Cabeceo de Cilindros de Concreto con Mortero de Azufre.
- ASTM C1231: Cabeceo con almohadillas de Neopreno.

9.9.1. Equipo necesario para el ensayo

- Una máquina (prensa hidráulica) de ensayos de compresión.
- Mortero de azufre para nivelar cilindros o almohadillas de neopreno.

9.10. Método Marshall de diseño de mezclas

El concepto de Método Marshall de diseño de mezclas de pavimentación fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del estado de Mississippi, el ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos, para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados, para desarrollar un método simple.

El Cuerpo de Ingenieros decidió adoptar el Método Marshall, desarrollarlo y adaptarlo, para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito y de estudios de correlación, en laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del ensayo Marshall y posteriormente criterios de diseño de mezclas. El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto, para una combinación específica de agregados.

El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El Método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contiene agregados con tamaños máximo de 25.0 mm (1plg) o menos. El método puede ser usado, para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El Método Marshall usa muestras normalizadas de prueba (probetas) de 64 mm (2.5 plg) de espesor por 102 mm (4 plg) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferente contenido de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico, para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son:

- Análisis de la relación de vacíos – humedad
- Prueba de estabilidad – flujo de las muestras compactadas

El ensayo para desarrollar el Método Marshall de diseño de mezclas, debe de cumplir con lo estipulado en:

- AASHTO T245-97: *Standard Method of Test for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus.*
- ASTM D6927-05: *Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures.*

9.10.1. Equipo necesario para el ensayo

- Prensa de estabilidad Marshall, provista de un anillo con capacidad de 27 kN (6,000 lb).
- Cabeza de rotura de estabilidad Marshall, de 101.7 mm (4 plg) de diámetro. Peso total de 9 kg (20 lb).
- Molde de compactación Marshall, de 101.7 mm (4 plg) de diámetro y peso de 3.6 kg (8 lb).
- Martillo de compactación Marshall, de 4.54 kg (10 lb) con una altura de caída de 457 mm (18 plg). Tiene un peso total de 7.7 kg (17 lb).

- Pedestal de compactación, con dimensiones de 203 mm x 203mm (8 x 8 plg) de lado y 457 mm (18 plg) de altura. Con un peso total de 38 kg (85 lb).
- Placa superior del pedestal de compactación, con dimensiones de 305 x 305 mm (12 x 12 plg) de lado y 25.4 mm (1 plg) de espesor.
- Baño de circulación de agua, tipo magnético, con capacidad de calentar hasta 12 probetas Marshall de 101.6 mm (4 plg). Con termómetro de control. Con un peso total de 21.4 kg (47 lb).
- Picnómetro de vacíos, con capacidad de 2,000 gr y un peso total de 6.8 kg (15 lb).
- Extractor de la centrifuga de asfalto, velocidad variable entre 0 – 3,600 rpm, con freno de parada automático. Peso total de 32 kg (70 lb).

10. PROBLEMAS OCASIONALES EN EL DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

A continuación se hará comentario de ciertos tropiezos o problemas que suelen darse durante la etapa de construcción de una carretera, no son problemas graves, pero si no los solucionamos de alguna manera pueden perjudicar y prolongar la ejecución del proyecto.

10.1. Referencias de línea topográfica

La información de las referencias topográficas para la localización del eje de una carretera deben de aparecer anotadas en los planos aproximadamente cada 500 m en PC, PT o POT; sin embargo, por lo general al localizar estos puntos en el campo, y tratar de definir una tangente determinada, nos produce como resultado una dirección o azimut diferente al anotado en los planos y al seguir trazando la línea del eje y sus curvas estaremos trazando la carretera por un lugar erróneo.

Lo recomendable es que se revise el procedimiento con las referencias que producen el error, y si éste continúa, irnos más adelante para localizar otras referencias, si éstas están correctas, venimos trazando la línea hacia atrás hasta encontrar la línea que se tiene trazada correctamente con anterioridad.

Si aún no se logra eliminar el error, determinar una nueva línea que se enlace con las dos que se han trazado correctamente, y calcular los nuevos deltas, así como las nuevas curvas que se originan, con sus respectivos elementos de curva.

Otro problema que se pueda dar, es que las referencias ya no existan debido a robo, derrumbes o limpieza en el lugar, por lo que tendremos que ir más adelante en busca de referencias y regresar con la línea hasta encontrar lo que llevamos trazado hasta el momento.

10.2. Derecho de Vía

El Derecho de Vía es un problema general en todos los proyectos de carretas. De acuerdo a las “Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes” de la Dirección General de Caminos, el derecho de vía tiene que estar adquirido antes de iniciar la construcción de una carretera, pero la realidad es que en su mayoría éste no ha sido adquirido aún por el estado.

Para tratar de solucionar esto, se deberá de ir trazando el ancho de derecho de vía que corresponde, o como alternativa, el ancho mínimo que se requiere para pasar holgadamente con la construcción de la carretera. Al tener definidos estos anchos, el supervisor tendrá que entrar en pláticas con los propietarios para obtener el permiso de paso con los trabajos de la carretera.

Eventualmente, el propietario no se opone a que se utilice área de su terreno para la construcción de la carretera sin ningún compromiso por parte del estado, en ocasiones, el propietario dará un permiso temporal a sabiendas de llegar a un arreglo posterior con el estado; y en otros casos, el propietario se opondrá completamente al paso de la carretera mientras que no se llegue a un acuerdo satisfactorio con el estado.

Para realizar las pláticas y arreglos en los que el propietario requiera de una compensación por parte del estado por el uso de su tierra, se deberá de solicitar la intervención de la Unidad de Derecho de Vía de la Dirección General de Caminos para que ellos realicen todo tipo de negociación de forma legal.

10.3. Instalaciones de servicios existentes

Este problema se da con mayor frecuencia cuando se pasa con la construcción de una carretera por inmediaciones de zonas urbanas, ya que en estos lugares se encontrarán instalaciones de drenajes, instalaciones de agua entubada, instalaciones de líneas de comunicación y líneas de transmisión eléctrica.

En el caso de las instalaciones de tipo sanitario, es de mucha ayuda contar las Oficinas de Planificación de la Municipalidad a cuya jurisdicción pertenezca el lugar por el que se está pasando; en otros casos, son los alcaldes auxiliares o los integrantes del comité de vecinos del lugar los que nos pueden brindar la información necesaria para poder salvar o cambiar de lugar estas instalaciones, ya que en algunos casos están construidos a alturas muy superficiales y por lo tanto podrán dañarse al momento de aplicar cargas de compactación o simplemente con el paso de la maquinaria pesada.

Para las instalaciones de cableado ya sea de comunicación o de servicio eléctrico, habrá que ponerse en contacto con la empresa correspondiente, ya que de acuerdo a su ubicación, el servicio de energía eléctrica puede ser prestado por la Empresa Eléctrica de Guatemala, DEORSA, DEOCSA o por la municipalidad del lugar.

Se debe de tomar muy en cuenta que el cambio o movimiento de cualquier tipo de instalación existente representa tiempo de ejecución y costo para el proyecto.

10.4. Cambios de línea

Los cambios de línea suelen darse cuando al ir replanteando la línea mostrada en planos, se tope con un obstáculo de derecho de vía, algún accidente geográfico o poblado que haya que salvar, nacimientos de agua, inestabilidad del suelo o cualquier otro tipo de obstáculo. Un cambio de línea también se puede dar al querer mejorar el trazo de la carretera o cambiar el trazo para obtener una economía significativa en el proyecto.

Algunos cambios de línea tienen que ser bien estudiados y comparar las distintas opciones que puedan existir para obtener una solución segura, económica y que cumpla con las especificaciones que exige el proyecto. Los cambios de línea deben de ser analizados y definidos tanto en campo como en gabinete.

10.5. Mantenimiento a caminos de acceso

Durante el proceso de construcción de una carretera es necesario tener de forma accesible la brecha de la carretera para cierto tipo de vehículos, así como los caminos de acceso que conduzcan a ella, esto con el fin, de dar asistencia y mantenimiento a la maquinaria que se encuentre trabajando en esos lugares.

Se debe de dar mantenimiento a los caminos de acceso que conducen a frentes aislados de trabajo como puentes o bóvedas, para poder abastecer de materiales cuando sea necesario y así evitar pérdidas o retrasos en los programas de trabajo.

Otros accesos que no se deben de descuidar son los que conducen a los puntos que se utilizan como botaderos de material de desperdicio, ya que el difícil tránsito por ellos retrasaría el flujo de camiones para mantener el ciclo deseado para su rendimiento.

10.6. Hundimientos

Debido a la estratigrafía variante dentro del territorio guatemalteco, existen varios puntos sobre carreteras en los que ocurren hundimientos que afectan parte o la sección completa de las mismas. En otras ocasiones, los hundimientos surgen momentos después de haber realizado trabajos de movimiento de tierras. Ocurra como ocurra, es recomendable que a estos hundimientos se les haga un estudio geológico para tratar de determinar las causas de su origen y su posible solución.

Algunas veces se pueden reparar los hundimientos por medio de la ejecución de un vaciado para rellenar de nuevo de forma controlada con materiales seleccionados y un sistema de drenaje que evite la acumulación de posibles corrientes subterráneas de agua; sin embargo, con el pasar del tiempo la zona vuelve a fallar manifestando grietas sobre el pavimento y un asentamiento posterior. Este proceso de reparación, podría repetirse muchas veces sin lograr estabilizar la zona, por lo que se podría pensar en realizar un cambio de línea o construir una estructura que logre salvar la zona de falla.

Estas opciones de solución son las más deseables, pero generalmente son las que significan mayor costo y difícil toma de decisión por parte del estado.

10.7. Mantenimiento de maquinaria

En ciertas oportunidades se ejecutan trabajos de suma importancia que debido a su sistema constructivo y de producción, no es recomendable que se interrumpa su ejecución de forma imprevista; por lo tanto, es necesario que el contratista tenga su maquinaria en buenas condiciones de funcionamiento. Para esto debe de darles el mantenimiento preventivo necesario y, cuando lo amerite, el correspondiente mantenimiento correctivo. Con esto siempre se tendrá equipo disponible en cualquier momento que se necesite, evitando así, pérdidas económicas y retrasos en la ejecución de los trabajos.

Además de la disponibilidad de equipo en buenas condiciones, el contratista debe de contar siempre con un equipo de mecánicos para cubrir cualquier emergencia que se presente.

CONCLUSIONES

1. Al aplicar el proceso que lleva la construcción de una carretera en las fases de movimiento de tierras, construcción de bases, construcción de sub-bases y la colocación de superficies de rodadura, se debe optimizar el uso del equipo y maquinaria con que se cuenta en el proyecto.
2. Es condición ineludible que, el personal profesional de origen extranjero o que haya sido titulado en el extranjero -que participe en una licitación pública-, debe de estar integrado al Colegio de Ingenieros de Guatemala y cumplir con la Ley de Colegiación Obligatoria para ejercer como tal en Guatemala.
3. Se debe de prestar mucha atención y cumplir con las especificaciones estipuladas para la construcción de las capas inferior e intermedia de la estructura del pavimento, ya que de no ser así, éstas pueden fallar por consolidación al trabajar con las cargas de tráfico que se apliquen y repercutir en la superficie de rodadura del mismo.
4. Cuando, como parte del proceso de construcción de una carretera se necesite realizar cambios a los diseños normados en los planos de diseño geométrico, estructuras o pavimentos, se debe de informar con antelación a la Dirección General de Caminos, o en su defecto, a la entidad rectora del proyecto, para que se informe y apruebe los cambios que se propongan.

5. Al ejecutar el renglón de señalización no se debe de escatimar en cuanto a la cantidad de señales que se deban colocar y cumplir con lo que sea necesario, ya que la señalización contribuye a mantener una carretera segura y confiable para el usuario.

6. Debe de dársele especial importancia a las pruebas y ensayos que realiza el personal del laboratorio de materiales y suelos, ya que sus óptimos resultados sirven para mantener el control de calidad de los trabajos que se realizan dentro de la construcción de una carretera.

RECOMENDACIONES

1. Se deben de corroborar exhaustivamente las cantidades y renglones de trabajo presentados en las bases de licitación para la construcción de una carretera, con el fin de tener seguridad en los montos que se presentarán al concursar en una licitación pública, ello evitará potenciales pérdidas cuando sean ejecutados los trabajos.
2. Mantener buena comunicación entre el personal del contratista y del supervisor, a fin de evitar la repetición de chequeos de campo en los trabajos que se vayan efectuando.
3. Se debe solicitar al contratista que presente los certificados de calidad respectivos cuando se utilicen aceros, láminas de acero de calibre definido, asfaltos y otro tipo de materiales en los que se requiera respaldar su calidad antes de ser utilizados en los trabajos del proyecto.
4. Debe dársele el mantenimiento preventivo a la maquinaria utilizada en el proyecto, lo que ayuda a evitar fallas que retrasen la ejecución de los trabajos.
5. Hacer un inventario y llevar un historial que respalde la colocación de las señales de tránsito y de las defensas de metal evitará posteriores inconvenientes a la hora de hacerse presente la comisión receptora del proyecto, considerando sobretodo que, en algunos casos, estos trabajos han sido dañados o sustraídos del lugar en que fueron instalados.

6. Mantener documentada la ejecución de todos los trabajos efectuados por medio de reportes y libretas de campo levantadas para el cotejo de cantidades que fueron pagadas en la estimación mensual.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Fifth Edition. Washington, DC: AASHTO. 2004. 896 p.
2. American Society for Testing and Materials. Road and Paving Materials. Washington, DC: ASTM International. 1984. 864 p.
3. The Armco International Corporation. Manual de Drenaje y Productos de Construcción. Chicago, Illinois: R. R. Donnelley & Sons. 1958. 542 p.
4. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes. Guatemala: Ingenieros Consultores de Centro América. 2001. 388 p.
5. Guatemala. Ley de Contrataciones del Estado, Decreto Número 57-92; Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado, Acuerdo Gubernativo Número 1056-92. Guatemala: Ayala Jiménez Sucesores. 2010. 116 p.
6. HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición. Trabajo de graduación de Ing., Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2008. 500 p.

7. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. Manual Centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito. Guatemala: IngeTrans Consultores, Ingeniería del Transporte. 2000. 434 p.