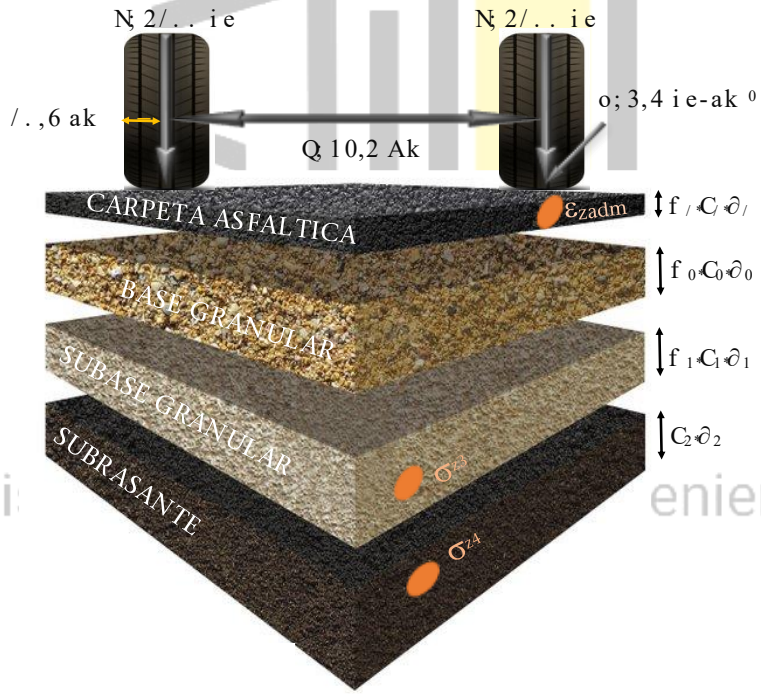
MANTENIMIENTO Y ADECUACIÓN VÍA CARBONERA- VÍA TEJAR ARRIBA DEL MUNICIPIO DE NUEVO COLON, DEPARTAMENTO BOYACÁ

INFORME DISEÑO DE PAVIMENTO

PROYECTO ELABORADO PARA:

ALCALDIA DE NUEVO COLÓN



LISTA DE CONTROL DE CAMBIOS

PROYECTO:	MANTENIMIENTO Y ADECUACIÓN VÍA CARBONERA- VÍA TEJAR ARRIBA DEL MUNICIPIO DE NUEVO COLON, DEPARTAMENTO BOYACÁ
LOCALIZACIÓN:	SECTOR TEJAR ARRIBA
No INTERNO:	INF-PAV-0036-25
ÁREA:	PAVIMENTOS

REVISIONES

ESTADO	NOMBRE	FECHA	FIRMA
ELABORÓ	ING. ESP. HOLMAN DANIEL PARRA B.	26/12/2025	
REVISÓ			

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. ASPECTOS GENERALES 8
1.1 Alcances 8
1.2 Objetivos 8
1.3 Ubicación 8
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 10
1.5 Información existente 10
1.5.1 Clima 10
1.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO 11
1.6.1 Tránsito 12
1.1 Condiciones atmosféricas 13
1.2 Características de la subrasante 13
1.7 Propuesta de Mejoramiento de subrasante 13
1.8 Método AASHTO para diseño de pavimentos rígidos: 14
1.8.1 VARIABLES DE DISEÑO: 14
1.8.2 Transferencia de cargas 14
1.8.3 Características del concreto 15
1.8.4 Resistencia de la subrasante. 16
1.8.5 Espesor de la losa de concreto: 18
1.8.6 Deflexiones en pavimentos rígidos por acción del transito 23
1.8.7 RIOSTRAS 26
1.8.8 MODULACIÓN DE LAS PLACAS 26
2. CARACTERISTICAS DE LAS FORMALETAS 27
2.1.1 Materiales 27
2.1.2 Resistencia y Rigidez 27

INGEOTECK Diseño Construcción e Ingeniería

2.1.3 Ajustabilidad 27
2.1.4 Acabado Superficial 27
2.1.5 Sistema de Anclaje y Soporte 28
2.1.6 Transporte y Almacenaje 28
2.1.7 Seguridad 28
2.1.8 Costo-Eficiencia 28
3. ENSAYOS DE CONTROL A LOS MATERIALES GRANULARES 29
3.1.1 Afirmado 29
3.1.2 SUB BASE GRANULAR 30
3.1.3 Requisitos de calidad para los agregados 31
3.1.4 Equipo 32
3.1.5 Ejecución de los trabajos: 33
3.1.6 Compactación 34
3.1.7 Construcción de la subbase granular sobre un afirmado existente 35
3.1.8 Control de los agregados 35
4. Proceso de fabricación de la mezcla de concreta resistencia 21 Mpa 36
4.1.1 Control de los Materiales 36
4.1.2 Cemento 37
4.1.3 Agua 37
4.1.4 Agregados: 38
4.1.5 Agregado fino 38
4.1.6 Agregado grueso: 40
4.1.7 Control de la Mezcla 43
4.1.8 Proporciones: 43
4.1.9 Mezclado: 43
4.1.10 Control de la Colocación y Compactación 43
4.1.11 Colocación: 43
4.1.12 Compactación: 43

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

4.1.13 Control de la Curado 43
4.1.14 Método de Curado: 43
4.1.15 Duración del Curado: 44
4.1.16 Control de Calidad y Ensayos 44
4.1.17 Ensayos de Control: 44
4.1.18 Documentación y Registro: 44
5. CONCLUSIONES 45

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Localización general. 9
Ilustración 5 localización apiques. 11
Ilustración 9. Función de dovelas en losas de concreto 15
Ilustración 10. Módulo de reacción efectico de la subrasante (k). 18
Ilustración 11 Ecuación Aashto 93 19
Ilustración 12 Estructura en pavimento rígido recomendado. 20
Ilustración 13. Estructura de pavimento rígido recomendado. 25

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Proyección Del Transito 12
Tabla 2: características de la subrasante módulo resiliente 13
Tabla 5 Valores iniciales y de diseño 17
Tabla 6. Espesores de la estructura rígida metodología AASHTO 20
Tabla 7 Esfuerzos de tensión en la losa de concreto. 24
Tabla 8 Deflexiones en la losa de concreto. 24
Tabla 9: Tabla 311 — 1. Requisitos de los agregados para afirmados 29
Tabla 10: Tabla 311 — 2. Franjas granulométricas del material de afirmado 30
Tabla 11: Tabla 320-1 Uso típico de las diferentes clases de subbase granular 30
Tabla 12: Tabla 320 — 2. Requisitos de los agregados para subbase granulares 31
Tabla 13: Tabla 320 — 3. Franjas granulométricas del material de subbase granular 32
Tabla 14: Tabla 320 — 4. Verificaciones periódicas de la calidad del material de subbase granular 36
Tabla 15: Tabla 500.1 requisitos para el agua de mezcla 37
Tabla 16: Tabla 500.2 Límites químicos opcionales para el agua de mezclado 38
Tabla 17: Tabla 630-1. Requisitos del agregado fino para concreto estructural 39
Tabla 18: Tabla 630-2 Granulometría del agregado fino para concreto estructural. 40
Tabla 19: Tabla 500-1 Granulometrías para el agregado grueso en losas de concreto hidráulico 41
Tabla 20: Tabla 500 — 2. Requisitos del agregado grueso para losas de concreto hidráulico 42
Tabla 21 Alternativa estructura de pavimento rígido 45

INGEOTECK Diseño Construcción e Ingeniería

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Alcances

El presente informe contiene los análisis y diseño de los estudios básicos necesarios que permitan proyectar la estructura de pavimento del proyecto en mención, con base en los resultados del estudio geotécnico, condiciones climáticas y ambientales, variables de resistencia de los suelos de la subrasante, las solicitaciones y las características de los materiales definidos para cada una de las capas, y que sea capaz de soportar el tránsito con un buen nivel de confianza para el periodo de diseño, en las condiciones ambientales dadas y un aceptable nivel de servicio, sin importantes fallas estructurales de acuerdo a la importancia de la vía en estudio.

1.2 Objetivos

- Presentar las consideraciones de tránsito y capacidad de soporte adoptadas para el diseño de la estructura de pavimento, a partir de los resultados de los estudios de suelos y tránsito.
- Realizar las recomendaciones técnicas necesarias para garantizar las mejores condiciones constructivas.

1.3 Ubicación

El municipio de Nuevo Colón se localiza en la región central del departamento de Boyacá, en la provincia de Márquez, a una distancia aproximada de 40 km de la ciudad de Tunja, capital departamental. Su territorio se encuentra inmerso en el altiplano cundiboyacense, caracterizándose por una topografía predominantemente ondulada con sectores de relieve montañoso suave. Nuevo Colón limita al norte con el municipio de Tibaná, al sur con Jenésano, al oriente con Ramiriquí y al occidente con Boyacá (municipio). El municipio cuenta con una ubicación estratégica dentro del corredor vial que conecta a Tunja con los municipios de la provincia de Márquez, lo que facilita la movilidad regional y el intercambio económico. Su altitud promedio y condiciones climáticas templadas favorecen el desarrollo de actividades agrícolas, constituyéndose estas como uno de los principales soportes de su economía local.

Ilustración 1 Localización general.



Fuente: Google.com

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

2.1.1 Localización especifica del proyecto.



Fuente: Elaboración Propia.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en implementar una estructura de pavimento realizado con base en los resultados del estudio geotécnico, en los resultados de las condiciones climáticas, las condiciones de resistencia de los suelos de la subrasante, las solicitaciones de tránsito y las características de los materiales definidos para cada una de las capas, y que sea capaz de soportar el tránsito con un buen nivel de confianza para el periodo de diseño, en las condiciones ambientales dadas y un aceptable nivel de servicio, sin importantes fallas estructurales.

1.5 Información existente

De conformidad con las características de la zona objeto de estudio, encontramos:

1.5.1 Clima

El clima del municipio de Nuevo Colón se caracteriza por presentar condiciones templado-frías, con temperaturas medias anuales relativamente estables y una marcada influencia de la precipitación sobre el comportamiento hidrológico y mecánico de los suelos. La temperatura media anual se encuentra aproximadamente entre 13 y 15 °C, lo cual genera bajos niveles de

evaporación y favorece la conservación de humedad en las capas superficiales y profundas del suelo a lo largo del año.

Desde el punto de vista pluviométrico, el régimen de lluvias es uno de los factores climáticos más relevantes para el análisis y modelación de estructuras de pavimento. La precipitación media anual se estima en un rango aproximado entre 900 y 1300 mm/año, dependiendo del periodo de registro y la fuente de información climatológica considerada. Este rango evidencia una oferta hídrica significativa, con alta frecuencia de eventos de lluvia a lo largo del año.

El comportamiento de la precipitación presenta un régimen bimodal, caracterizado por dos periodos lluviosos bien definidos. El primer periodo de mayor precipitación se concentra generalmente entre los meses de marzo y mayo, mientras que el segundo se presenta entre octubre y noviembre. Durante estos intervalos, los acumulados mensuales pueden superar los 150–160 mm, incrementando de manera notable el contenido de humedad del suelo y la probabilidad de saturación de las capas inferiores.

Por otro lado, se identifican periodos relativamente menos lluviosos durante los meses de diciembre a febrero y entre julio y agosto, aunque incluso en estos meses se registran precipitaciones moderadas, lo que indica la ausencia de una estación seca estricta. Adicionalmente, el número de días con precipitación es elevado, pudiendo superar los 200 días al año, lo cual refuerza la condición de humedad persistente del entorno.

1.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

El análisis de geotecnia se basó en trabajos de campo de forma directa, mediante apiques que permitieran determinar e identificar los materiales de sub rasante y avaluar sus las características y propiedades geomecánicas de los materiales presentes en el subsuelo para el presente estudio geotécnico. Dichos apiques se ubicaron a lo largo del corredor vial, para identificar las familias de suelos presentes y definir su perfil estratigráfico longitudinal. En total se ejecutaron 8 apiques a cielo abierto.

Ilustración 2 localización apiques.



1.6.1 Tránsito

De la proyección del estudio de tránsito para la vía en estudio, se determinaron los siguientes valores para el periodo de diseño, expresados en ejes equivalentes a 8,2 toneladas que circularán por el carril de diseño (ee 8.2 ton cd/pd).

Tabla 1 Proyección Del Transito

TRÁNSITO $N_{80\ kN}$ pd/cd
10 años - 2035
0.35×10^6

Diseño Construcción e Ingeniería

Fuente: el estudio

N* 80 Kn DISEÑO = 350000 ejes equivalentes.

Este valor equivale al número de ejes comerciales durante 10 años en que se estima la vida de prestación de servicio de pavimentos rígidos y de igual manera, corresponde al valor determinado dentro del componente de estudio de tránsito.

1.1 Condiciones atmosféricas

La temperatura y la precipitación, son variables que influyen de manera significativa en la durabilidad de los materiales que conforman las capas del pavimento y se definieron de acuerdo a la información disponible en el IDEAM.

Temperatura media ponderada anual (TMPA ºC) TMPA = 13 y 15 ºC

Precipitación media anual (mm) P(mm) = 1,100 mm

El diseño del pavimento rígido se realiza mediante el **MÉTODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

1.2 Características de la subrasante

Reconociendo la precipitación y temperatura media para el proyecto, se define como criterio de diseño, el CBR en condición natural, siguiendo los lineamientos del Manual para pavimentos de medios y altos volúmenes vehiculares.

El valor adoptado para el CBR de diseño del proyecto es de 5.1%, y se presentan las características de la subrasante en la siguiente tabla:

Tabla 2: características de la subrasante módulo resiliente

	UD 1
CBR (%)	5.1
Mr (kg/cm^2)	510
Mr ($lb/pulg^2$)	7650
Mr (N/m^2)	5.10E+07
Mr (Mpa)	51
K (kg/cm^3)	3.89
K ($lb/pulg^3$)	140.38
K (Mpa/m)	38.9

Fuente: Elaboración propia

1.7 Propuesta de Mejoramiento de subrasante

Teniendo en cuenta que el CBR de diseño de la subrasante es superior al 3 %, se concluye que esta presenta una capacidad portante mínima aceptable para el soporte de la estructura del pavimento. En consecuencia, no se requiere la implementación de obras de mejoramiento de la subrasante, tales como reemplazo de material o mejoramiento con capas granulares,

siempre y cuando se garantice una adecuada compactación y control de la humedad durante la etapa constructiva.

1.8 Método AASHTO para diseño de pavimentos rígidos:

La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionada con el número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para la vía. El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes, es decir, transforma los Ejes de Pesos Normales de los vehículos que circularán por la vía, en Ejes Sencillos Equivalentes de 18 kips (8.2 Ton) también conocidos como ESAL's.

En este método se consideran los siguientes parámetros:

1.8.1 VARIABLES DE DISEÑO:

a. **Periodo de diseño**: Se desarrolla el diseño del pavimento para un Periodo de diseño: N = 10 años, de la estructura sin que se produzca alguna rehabilitación.

b. **Tránsito de diseño: 0.35e6**

c. **Nivel de confiabilidad:** Para vías urbanas de categoría colectora se sugiere valores de nivel de confianza entre el 80,0 % - 95 % . Para el diseño se adopta un valor del 90 %.

d. **Error normal combinado:** Para pavimentos rígidos el error normal combinado de la predicción del tránsito y comportamiento para construcciones nuevas es S_0= **0,35.**

1.8.2 Transferencia de cargas

Según el criterio de la AASHTO el coeficiente de transferencia de carga J, para pavimentos rígidos con dispositivos de transmisión de cargas no reforzados o reforzados por juntas, varía entre 2,5 – 3,1. Para el diseño de la estructura de pavimento se adopta un valor de 2.8.

La transferencia de carga es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objeto de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento, mientras mejor sea la transferencia de cargas mejor será el comportamiento de las losas del pavimento.

El método AASHTO considera la transferencia de cargas mediante el factor de transferencia de cargas J.

La efectividad de la Transferencia de Carga entre losas adyacentes depende de varios factores:

- Cantidad de Tráfico

- Utilización de Pasadores

- Soporte Lateral de las Losas

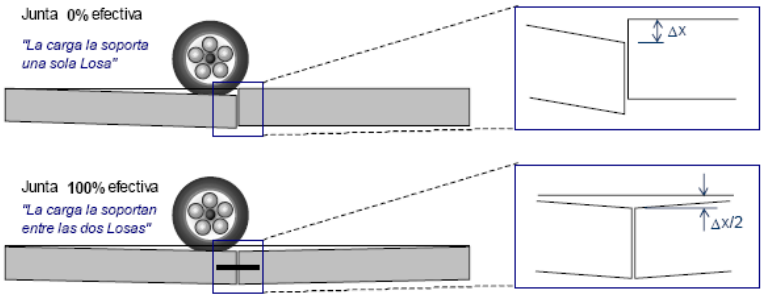
La utilización de pasadores es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas. Utilizar pasadores cuando:

a) El tráfico pesado sea mayor al 25% del tráfico total.

b) El número de Ejes Equivalentes de diseño sea mayor de 5,0 millones de Esal's.

El Coeficiente de Transferencia de Carga considera el esfuerzo de transferencia a través de la junta o grieta.

Ilustración 3. Función de dovelas en losas de concreto



Diseño Construcción e Ingeniería

1.8.3 Características del concreto

Son dos las propiedades del concreto que influyen en el diseño de un pavimento de concreto y en su comportamiento a lo largo de su vida útil:

Se plantea un módulo de rotura mínimo de 3.8 MPa según las consideraciones tenidas en cuenta en las especificaciones generales de construcción del INVIAS en el artículo INV-500-13, donde se define el módulo de rotura mínimo según las características del tránsito. Entonces:

$$3.8\ MPa = 0.8*(f´c)0.5$$

$$f´c = (3.8/0.8)^2$$

f´c = 230 Kg/cm2,

- Módulo de elasticidad del concreto: como no se conoce el tipo de materiales a empelar en la mezcla se emplea la siguiente ecuación:

  Ec = 12500(f'c) 0.5 resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²)

1.8.4 Resistencia de la subrasante.

Se deberá instalar una subbase granular compactada al 95% de su peso seco volumétrico máximo. El módulo resiliente de la subbase granular, se determina con base a la metodología de la Shell:

$$\mathbf{Esbg(kg/cm^2) = 0.206xhsbg^{0.45}xMr(kg/cm^2)}$$

Donde:

Esbg (kg/cm²): módulo resiliente de la subbase granular

hsbg: espesor de la subbase granular (mm)

Mr: módulo resiliente de la subbase granular

Factor de pérdida de soporte: con el tipo de material de subbase granular se tiene un valor de Ls = 1.5.

Módulo de reacción del Conjunto (Kc): utilizando el programa ASMOD desarrollado por el ING. GIOVANNI EDGAR RINCÓN OCHOA, programa que determina dicho valor a partir del módulo Resiliente de la subrasante, módulo de reacción de la subrasante, espesor de la subbase granular, modulo dinámico de la subbase granular, espesor estimado de la losa de concreto y pérdida de soporte.

Se suponen dimensiones de subbase granular (15cm) y losa de concreto (7.87pulg), los cuales se chequean mediante la mecánica de pavimentos, verificando esfuerzos en la esquina, borde, y al interior de la losa.

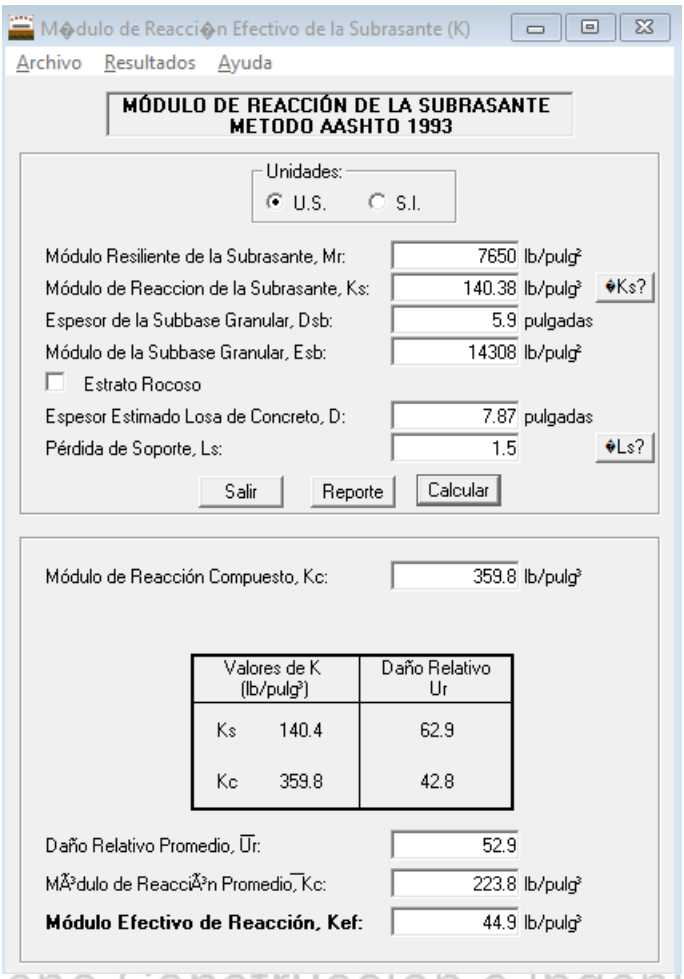
Tabla 3 Valores iniciales y de diseño

Módulo de rotura del concreto	
Sc (f'c en Mpa)	$0.8(f'c)^{0.5}$
f'c (kg/cm²)	**230**
Sc (kg/cm²)	38.8
Sc (psi)	476.6
Sc (Mpa)	3.80
Módulo de elasticidad del concreto	
Ec $12500(f'c)^{0.5}$	
Ec (kg/cm²)	189572
Ec (psi)	2708170
Ec (Mpa)	18585
El módulo resiliente de la subbase granular	
Esbg (kg/cm²) = 0.206xhsbg $^{0.45}$ xMr(kg/cm²)	
Unidad de Diseño 2	
CBR	**5.10**
hsbg (mm)	**150**
Mr (kg/cm²)	510
Mr (MPa)	51
Esbg (kg/cm²)	1002
Esbg (psi)	14308
Esbg (MPa)	98.2
Espesor losa cm	**20**

Fuente: elaboración propia

Se procede a calcular el módulo de reacción efectivo de la subrasante (k_{ef}) de acuerdo al espesor asumido de subbase, módulo de reacción de la subrasante, espesor estimado de la losa de concreto, y el factor de pérdida de soporte.

Ilustración 4. Módulo de reacción efectico de la subrasante (k).



Diseño Construcción e Ingeniería

Fuente: Elaboración propia

1.8.5 Espesor de la losa de concreto:

Reemplazando las variables de los numerales anteriores en la ecuación básica de diseño se obtiene un espesor de la losa de concreto el cual se toma teniendo en cuenta el tránsito de diseño, las características del concreto, y los coeficientes de drenaje.

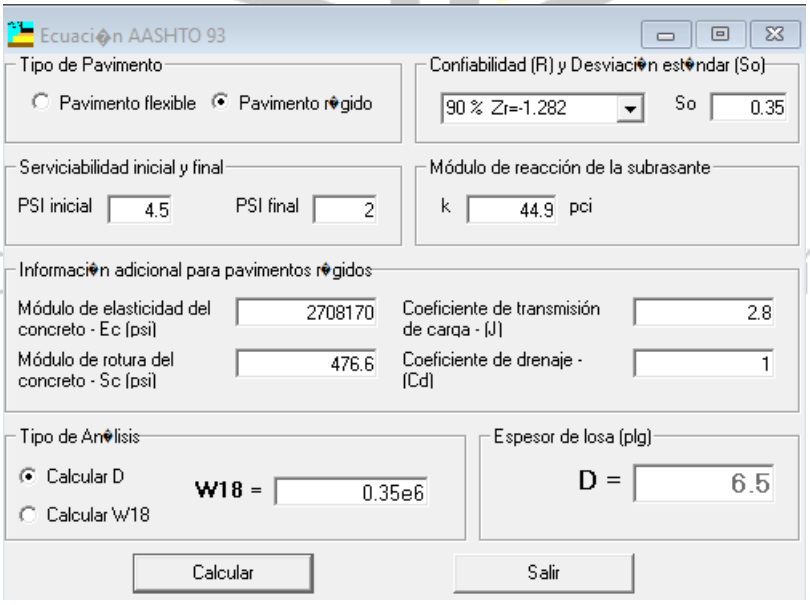
Utilizando la fórmula de la AASHTO para pavimentos rígidos, obtenemos los siguientes espesores requeridos:

$$LogN_{80KN} = ZrSo + 7.35Log(D+25.4) - 10.39 + \frac{Log\left[\frac{\Delta IPS}{4.5-1.5}\right]}{1+\frac{1.25x10^{19}}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22-0.32Pt)Log\left[\frac{ScCd(0.09D^{0.75}-1.132)}{1.51J\left(0.09D^{0.75}-\frac{7.38}{\left(\frac{Ec}{k}\right)^{0.25}}\right)}\right]$$

Donde:	
N_{80KN}	Número de ejes equivalentes de 80 KN
Zr	Desviación normal estándar
So	Error combinado
D	Espesor del pavimento de concreto, mm
ΔIPS	Pérdida de serviciabilidad
Pt	Serviciabilidad final
Sc	Módulo de rotura del concreto, MPa
Cd	Coeficiente de drenaje
J	Coeficiente de transferencia de carga
Ec	Módulo de elasticidad del concreto, MPa
K	Módulo del conjunto de soporte, MPa/m

Fuente: AASHTO

Ilustración 5 Ecuación Aashto 93



Fuente: elaboración propia

El espesor de la losa de concreto es de 6.5 pulg ≈ 16 cm.

Ahora bien, aunque el análisis de diseño estructural determinó un espesor de losa de 16 cm, la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales del Programa Colombia Rural establece que, en vías donde se presenta circulación de vehículos de carga tipo C2 y C3, el espesor recomendado de la losa es de 20 cm. La adopción de este espesor, mediante el incremento de 4 cm, fortalece significativamente la capacidad estructural del pavimento, mejora la distribución de esfuerzos sobre la subrasante y proporciona un margen adicional de seguridad frente a cargas repetidas, contribuyendo a un mejor desempeño estructural y a una mayor vida útil de las losas bajo condiciones de tránsito frecuente.

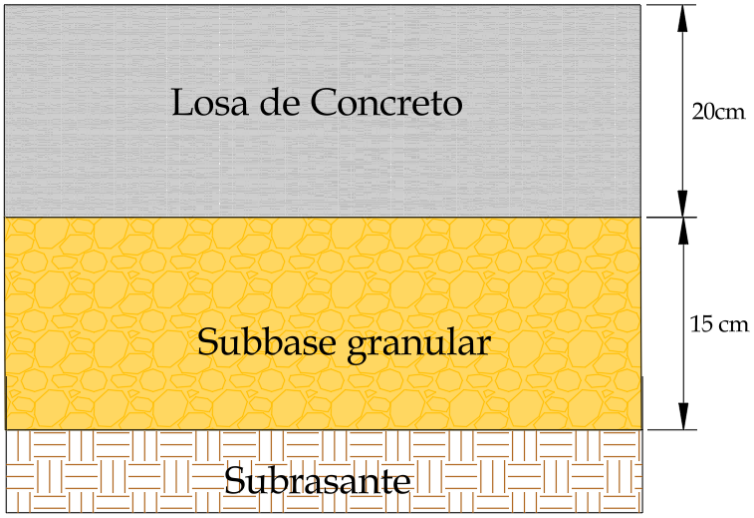
La siguiente tabla muestra el resumen de los espesores obtenidos por la metodología de diseño de pavimentos por la metodología AASHTO.

Tabla 4. Espesores de la estructura rígida metodología AASHTO

SIMBOLO	CÓDICO	MATERIAL	ESPESOR (cm)
	Losa en concreto	MR 3,8 MPA	20
	SBG-C	Sub Base Granular CBR > 30%	15

Fuente: elaboración propia

Ilustración 6 Estructura en pavimento rígido recomendado.



Fuente: elaboración propia

Chequeo de Esfuerzos

- **Esfuerzos debidos a las cargas del tránsito**

  Esfuerzo de tensión en la esquina de la losa, σe

$$\sigma_e = \frac{3P}{h^2}\left(1-\left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)^{0.6}\right)$$

Dónde:

σe = Esfuerzo de tensión en la esquina de la losa, Lb/pulg^2

h = Espesor de la losa, pulg

P = Carga aplicada, Lbs

l = Radio de rigidez relativa, pulg

a = Radio del área cargada, pulg

$$I = \left[\frac{E\,h^3}{12\left(1-\mu^2\right)k}\right]^{0.25}$$

Dónde:

l = Radio de rigidez relativa en pulgadas.

E= Módulo de elasticidad del concreto en libras/pulgada^2.

h= Espesor de la losa en pulgadas.

μ= Relación de Poisson del concreto.

k= Módulo de reacción de la subrasante en libras/pulgada^3.

Esfuerzo de tensión en el interior de la losa, σ_i

$$\sigma_i = 0.316\frac{P}{h^2}\left[4xLog\left(\frac{l}{b}\right)+1.069\right]$$

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

Dónde:

$\underline{\sigma_i}$ = Esfuerzo de tensión en el interior de la losa, Lb/pulg2

P = Carga aplicada, Lbs

h = Espesor de la losa, pulg

l = Radio de rigidez relativa, pulg

$$b = \left(1.6a^2 + h^2\right)^{1/2} - 0.675h$$

Si a<1.724h

b = a

Si a >=1.724h

a = Radio del área cargada, pulg

Esfuerzo de tensión en el borde de la losa, σ_b

$$\sigma_b = 0.572\frac{P}{h^2}\left[4Log\left(\frac{l}{b}\right) + 0.359\right]$$

Dónde:

$\underline{\sigma_b}$ = Esfuerzo de tensión en el borde de la losa, Lb/pulg^2

P = Carga aplicada, Lbs

h = Espesor de la losa, pulg

l = Radio de rigidez relativa, pulg

$$b = \left(1.6a^2 + h^2\right)^{1/2} - 0.675h$$

Si a<1.724h

b = a

Si a >=1.724h

a = Radio del área cargada, pulg

INGEOTECK Diseño Construcción e Ingeniería

1.8.6 Deflexiones en pavimentos rígidos por acción del transito

Deflexiones en esquina de la losa. Δ_e

$$\Delta_e = \frac{P}{kl^2}\left[1.1 - 0.88\left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)\right]$$

Dónde:

Δ_e = Deflexión en la esquina de la losa, pulg

P = Carga aplicada, Lbs

l = Radio de rigidez relativa, pulg

a = Radio del área cargada, pulg

k = Módulo de reacción de la subrasante, lbs/pulg^3

Deflexión en el borde de la losa, Δ_b

$$\Delta_b = \frac{0.413P}{kl^2}\left[1 - 0.82\left(\frac{a}{l}\right)\right]$$

Dónde:

Δ_b = Deflexión en el borde de la losa, pulg

P = Carga aplicada, Lbs

l = Radio de rigidez relativa, pulg

a = Radio del área cargada, pulg

k = Módulo de reacción de la subrasante, lbs/pulg^3

Deflexión en el interior de la losa, Δ_i

$$\Delta_i = \frac{P}{8Kl^2}\left[1 + \frac{1}{2\pi}\left(Ln\left(\frac{a}{2l}\right) - 0.673\right)\left(\frac{a}{l}\right)^2\right]$$

Dónde:

Δ_i = Deflexión en el interior de la losa, pulg

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

P = Carga aplicada, Lbs

l = Radio de rigidez relativa, pulg

a = Radio del área cargada, pulg

k = Módulo de reacción de la subrasante, lbs/pulg^3

Cálculo de los esfuerzos de tensión en la losa de concreto: El resumen del cálculo de los esfuerzos de tensión en la losa de concreto, se presenta a continuación y de la información contenida en este se aprecia que los esfuerzos actuantes de tensión en la losa son menores al esfuerzo a la flexotracción del concreto, por lo tanto, la losa está bien diseñada.

Tabla 5 Esfuerzos de tensión en la losa de concreto.

Posición en la losa	Esfuerzo de tensión (psi)	Módulo de rotura del concreto, Sc (psi)	(σ /Sc) * 100%
Esquina	263.44	476.6	55.3
Interior	205.20		43.1
Borde	312.42		65.6

Fuente: Elaboración propia

La anterior tabla permite apreciar que en la alternativa diseñada con barras de transferencia de carga los puntos más débiles de la losa son los bordes por la magnitud de los esfuerzos actuantes lo cual se puede traducir en fracturas si los esfuerzos actuantes son mayores a los admisibles.

Cálculo de las deflexiones en la losa de concreto: El resumen del cálculo de las deflexiones en la losa de concreto, se presenta en la siguiente tabla

Tabla 6 Deflexiones en la losa de concreto.

Posición en la losa	Deflexión (pul)	Deflexión (mm)
Esquina	0.1155	2.934
Interior	0.0156	0.397
Borde	0.0458	1.164

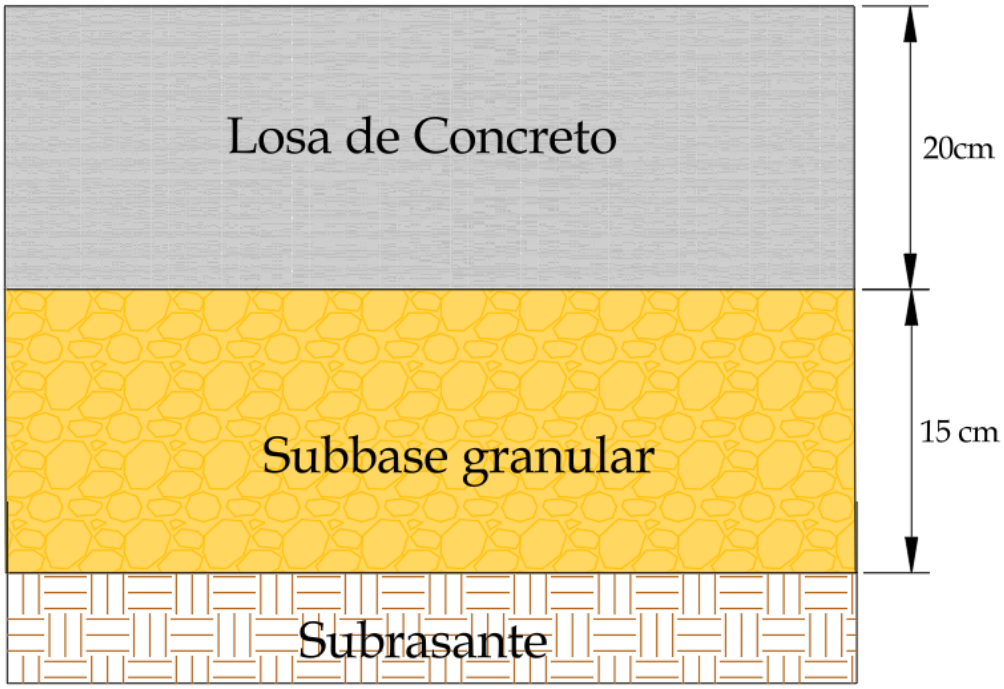
Fuente: Elaboración propia

Las anteriores tablas permiten apreciar que los puntos más débiles de la losa son las esquinas por las elevadas magnitudes de la deflexión lo cual se puede traducir en fracturas si los

esfuerzos actuantes son mayores a los admisibles. Se debe verificar mediante ensayos de módulo de rotura de vigas prismáticas la deflexión máxima permitida por el concreto que se use en obra, en todo caso, se espera que las deflexiones en estos puntos sean asumidas por las barras de transferencia de carga de las losas. El criterio de la calidad del concreto la rige el módulo de rotura del concreto, por lo anterior se deberá garantizar en obra este valor como mínimo (3.8 MPa).

Las losas de concreto rígido diseñadas por la metodología, cumple con todos los criterios de diseño, por lo tanto, es una estructura que va a tener un buen comportamiento tanto de la estructural como funcional durante el periodo de servicio. Además, es una estructura adecuada para las condiciones previstas de tránsito, las características de los materiales constitutivos de las capas, las condiciones de la fundación, climáticas y ambientales; a continuación, se presentan los espesores de las estructuras recomendadas.

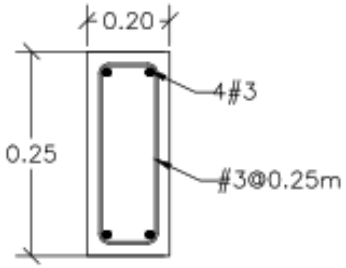
Ilustración 7. Estructura de pavimento rígido recomendado.



Fuente: Elaboración propia

1.8.7 RIOSTRAS

Según la cartilla se establece que las riostras deben tener una sección de 20 centímetros de largo con un espesor de 25 centímetros



1.8.8 MODULACIÓN DE LAS PLACAS

Según la cartilla se definen módulos de 0.9 metros y de 3.00 metros de largo para las huellas, adicionando una sección de 0.2 metros de una viga transversal o viga riostra.

Los elementos de acero se contemplan de acuerdo con la cartilla así:

- **PLACA HUELLA:**

Barras longitudinales de N° 3 separadas cada 20 centímetros para barras transversales y longitudinales de las huellas y rampas, y de N° 3 separadas cada 20 centímetros.

- **VIGA RIOSTRA:**

Barras longitudinales de 3”

Flejes para la viga en barras de 3” separadas cada 25 centímetros.

Las barras de las vigas deben ir hasta la cuneta para generar un amarre de la estructura

Figura 7. Detalle riostra



Fuente: Elaboración propia

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

2. CARACTERISTICAS DE LAS FORMALETAS

Las formaletas (o encofrados) son elementos cruciales en la construcción de placas y huellas. A continuación, se presentan las características clave que deben tener en cuenta para su diseño y uso en la construcción de placas de concreto:

2.1.1 Materiales

- **Madera:** Tradicionalmente usada por su disponibilidad y facilidad de manejo. Debe ser de buena calidad, libre de defectos y tratada para resistir la humedad.
- **Metal:** Generalmente acero o aluminio, más duraderos y reutilizables. Son resistentes a la deformación y proporcionan una superficie más lisa.
- **Plásticos:** Se utilizan en algunos casos por su resistencia a la corrosión y su ligereza, aunque suelen ser menos comunes.

2.1.2 Resistencia y Rigidez

- **Capacidad de carga:** Las formaletas deben soportar el peso del concreto fresco y el esfuerzo del vibrado sin deformarse.
- **Rigidez estructural:** Deben ser suficientemente rígidas para mantener la forma y las dimensiones deseadas durante el vertido y el fraguado del concreto.

2.1.3 Ajustabilidad

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

- **Modularidad:** Las formaletas deben ser ajustables para adaptarse a diferentes dimensiones y formas de placas y huellas.
- **Facilidad de montaje y desmontaje:** Deben permitir un montaje rápido y sencillo y ser igualmente fáciles de desmontar una vez que el concreto haya fraguado.

2.1.4 Acabado Superficial

- **Superficie interna:** La superficie de la formaleta en contacto con el concreto debe ser lisa y limpia para evitar imperfecciones en el acabado de la placa.
- **Revestimientos:** Algunas formaletas llevan recubrimientos para evitar que el concreto se adhiera o para mejorar el acabado superficial.

2.1.5 Sistema de Anclaje y Soporte

- **Anclajes:** Deben tener sistemas de anclaje adecuados para fijar la formaleta al terreno o a estructuras existentes.
- **Soportes:** Se requieren soportes adecuados para mantener la formaleta en posición durante el vertido del concreto.

2.1.6 Transporte y Almacenaje

- **Peso y tamaño:** Deben ser diseñadas para facilitar su transporte y almacenamiento, considerando que el tamaño y peso pueden ser un factor importante.
- **Durabilidad:** Deben ser robustas para soportar múltiples usos y resistir el desgaste.

2.1.7 Seguridad

- **Estabilidad:** La formaleta debe estar bien asegurada para evitar accidentes durante el proceso de vertido del concreto.
- **Protección:** Deben ser diseñadas para minimizar el riesgo de accidentes y asegurar la protección de los trabajadores.

2.1.8 Costo-Eficiencia

- **Costo inicial:** Deben considerar el balance entre el costo de los materiales y la durabilidad de las formaletas.
- **Vida útil:** La durabilidad y la capacidad de reutilización impactan en el costo a lo largo del tiempo.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

3. ENSAYOS DE CONTROL A LOS MATERIALES GRANULARES

3.1.1 Afirmado

Descripción:

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, la colocación y la compactación de los materiales de afirmado sobre la subrasante terminada, o sobre un afirmado existente, de acuerdo con la presente especificación, los alineamientos, las pendientes y las dimensiones indicados en los documentos del proyecto.

Materiales:

Los agregados para la construcción del afirmado deben satisfacer los requisitos de calidad indicados en la Tabla 311 — 1. Además, se deben ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 311 — 2 y deben cumplir las relaciones establecidas en la Tabla 311 — 3.

Tabla 7: Tabla 311 — 1. Requisitos de los agregados para afirmados

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles a quinientas (500) revoluciones (Granulometría A), máximo (%): - NT1 - NT2 - NT3	E-218	 50 30 30
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%).	E-125	35
Índice de Plasticidad (%).	E-125 y E-126	4 – 9
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2
Contracción lineal.	E-127/E-129	Tabla 311 — 3

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Resistencia del material (F)		
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 311.5.2.2.2); el CBR se debe medir sobre muestras sometidas previamente a cuatro días (4 d) de inmersión.	E-148	≥ 15

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carretera

Nota: la norma de ensayo INV E-220 permite el uso tanto de sulfato de sodio como de sulfato de magnesio, por lo que se admite el uso de cualquiera de los dos componentes químicos.

Tabla 8: Tabla 311 — 2. Franjas granulométricas del material de afirmado

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
A-38	100	-	80 — 100	60 — 85	40 — 65	30 — 50	13 — 30	9 — 18
A-25	-	100	90 — 100	65 — 90	45 — 70	35 — 55	15 — 35	10 — 20
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

Tabla 311 — 3. Relaciones que debe cumplir el material de afirmado

Relación	Requisito
$\frac{\%\ pasa\ tamiz\ nro.200}{\%\ pasa\ tamiz\ No.10}$	0,20 – 0,45
$\frac{\%\ pasa\ tamiz\ nro.200}{\%\ pasa\ tamiz\ No.\ 40}$	≤ 2/3
{(% pasa tamiz de 1 pulgada) - (% pasa tamiz nro. 10)} × {% pasa tamiz nro. 4}	16 – 34
(% de contracción lineal) × (% pasa tamiz nro. 40)	100 – 240

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carretera

3.1.2 SUB BASE GRANULAR

Descripción:

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, la colocación, el humedecimiento o aireación, la extensión y la conformación, la compactación y el terminado de material de subbase granular aprobado sobre una superficie preparada, en una o varias capas, de conformidad con los alineamientos, las pendientes y las dimensiones indicados en los documentos del proyecto. Para los efectos de estas especificaciones, se denomina subbase granular a la capa o capas granulares localizadas entre la subrasante y la base granular o la capa estabilizada, en todo tipo de pavimento, sin perjuicio de que los documentos del proyecto le señalen otra utilización.

Materiales:

Se definen tres clases de subbase granular, en función de la calidad de los agregados (clases A, B y C), como se indica en el numeral 320.2.2. Así mismo, se debe definir el tipo de granulometría que se va a emplear. Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, las clases de subbase granular se deben usar como se indica en la Tabla 320 — 1, en función del nivel de tránsito del proyecto, definido en el artículo 100, Ámbito de aplicación, términos y definiciones.

Tabla 9: Tabla 320-1 Uso típico de las diferentes clases de subbase granular

Clase de subbase granular	Nivel de tránsito
Clase A	NT3
Clase B	NT2
Clase C	NT1

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carretera

Nota: debido al estudio de tránsito la clase de subbase granular a utilizar en los tramos de placa huella será de tipo C. para un nivel de transito Nt1.

3.1.3 Requisitos de calidad para los agregados

Los agregados para la construcción de la subbase granular deben satisfacer los requisitos de calidad indicados en la Tabla 320 — 2. Además, se deben ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 320 — 3.

Tabla 10: Tabla 320 — 2. Requisitos de los agregados para subbase granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Subbase granular		
		Clase A	Clase B	Clase C
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	30	35	-
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%).	E-125	25	25	25
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo.	E-148	40	30	30

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carretera

Nota: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos sulfatos indicados.

Tabla 11: Tabla 320 — 3. Franjas granulométricas del material de subbase granular

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	50,0	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
SBG-50 (Nota)	100	70 — 95	60 — 90	45 — 75	40 — 70	25 — 55	15 — 40	6 — 25	2 — 15
SBG-38 (Nota)	-	100	75 — 95	55 — 85	45 — 75	30 —60	20 — 45	8 — 30	2 —15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %				6 %			3 %

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carretera

Nota: el número indica el tamaño máximo, en milímetros, de las partículas en la gradación empleada.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de otro adyacente y viceversa. Dentro de la franja elegida, el constructor debe proponer al interventor una fórmula de trabajo a la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indican en la Tabla 320 — 3, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada. Una vez elegida la franja granulométrica, no se puede cambiar por otra sin previa autorización del interventor. Además, la relación entre el porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) y el porcentaje que pasa el tamiz de 0,425 mm (nro. 40), no debe exceder de dos tercios (2/3) del espesor de la capa compactada, y el tamaño máximo nominal no debe exceder un tercio (1/3) del mismo espesor.

3.1.4 Equipo

Para la construcción de la subbase granular se requieren equipos para la explotación de los materiales, eventualmente una planta de trituración, una unidad clasificadora y, de ser necesario, un equipo de lavado. Además, equipos para mezclado, cargue, transporte,

extensión, humedecimiento y compactación del material, así como herramientas menores. Estos equipos deben ser capaces de asegurar la completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas. Los equipos de cargue y transporte deben contar con superficies lisas y limpias, y disponer de lonas o cobertores adecuados para proteger el material durante su transporte. Para la extensión del material, cuando la obra tenga una superficie por pavimentar superior a los setenta mil metros cuadrados (> 70 000 m2), se recomienda utilizar extendedoras automotrices, que deben estar dotadas de sistemas automáticos de nivelación y de los dispositivos necesarios para la puesta en obra de la capa de subbase, con la configuración deseada y para proporcionarle un mínimo de compactación. No obstante, la selección del equipo para la extensión debe ser responsabilidad del constructor, con la aprobación del interventor y se debe validar durante su operación. El equipo de humedecimiento y mezclado debe ser capaz de asegurar la completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas.

3.1.5 Ejecución de los trabajos:

- Preparación de la superficie existente:

El interventor solo debe autorizar la colocación de material de subbase granular, cuando la superficie sobre la cual se debe asentar tenga la compactación apropiada y las cotas y secciones indicadas en los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas. 320 - 4 Capítulo 3 – AFIRMADOS, SUBBASES Y BASES Art. 320 ESPECIFICACIONES INVÍAS 202 2 Además, debe estar concluida la construcción de los desagües y los filtros necesarios para el drenaje de la calzada. Si en la superficie de apoyo existen irregularidades que excedan las tolerancias determinadas en la especificación de la capa de la cual forma parte, de acuerdo con lo que se prescribe en la unidad de obra correspondiente, el constructor debe realizar las correcciones necesarias, hasta ser aprobadas por el interventor.

- Fase de experimentación:

Rige lo indicado en el numeral 300.4.2 del artículo 300. 320.4.4

- Transporte y almacenamiento del material

El transporte y el almacenamiento de materiales deben cumplir lo establecido en los numerales 300.4.5 y 300.4.3 de artículo 300, respectivamente. 320.4.5

- Colocación, extensión y conformación del material

La colocación del material sobre la capa subyacente se debe hacer en una longitud que no sobrepase mil quinientos metros (1 500 m) de las operaciones de extensión, conformación y compactación del material. El material se debe disponer en un cordón de sección uniforme, donde el interventor debe verificar su homogeneidad. Si la capa de subbase granular se va a construir mediante la combinación de dos (2) o más materiales, su mezcla se puede realizar en planta o en un patio fuera de la vía.

En el caso de realizar la mezcla en planta, se debe agregar la dosificación requerida de agua para luego transportar el material a su sitio de colocación. Cuando se vaya a realizar la mezcla directamente en el sitio, esta se debe hacer en un patio fuera de la vía, porque su mezcla dentro del área de colocación no está permitida.

La mezcla se debe realizar en seco y posteriormente se debe agregar el agua que sea requerida. En caso de que sea necesario humedecer o airear el material para lograr el contenido de agua óptimo de compactación, el constructor debe emplear el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje el material con un contenido de agua uniforme.

Este, después de humedecido o aireado, se debe extender en todo el ancho previsto en una capa uniforme que permita obtener el espesor y el grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación. El material se debe extender de tal forma, que no requiera mayor manipulación para obtener el espesor, el ancho y el bombeo especificados en los diseños, evitando en lo posible adiciones de forma sectorizada. En todo caso, la cantidad de material extendido debe ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de subbase compactada, por construir, es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se debe colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm). El material extendido debe mostrar una distribución granulométrica uniforme, sin segregaciones evidentes.

3.1.6 Compactación

Una vez que el material extendido de la subbase granular tenga el contenido de agua apropiado para asegurar la densidad de diseño requerida, se debe conformar ajustándose a los alineamientos y las secciones típicas del proyecto, y se debe compactar con el equipo aprobado por el interventor, hasta alcanzar la densidad seca especificada. Aquellas zonas que, por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de arte, no permitan el uso del equipo que normalmente se utiliza, se deben compactar con los medios adecuados para

el caso, en forma tal que las densidades secas que se alcancen no sean inferiores a la obtenida en el resto de la capa. La compactación se debe efectuar longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido una longitud no menor de la mitad del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se debe hacer del borde inferior al superior. El acabado final de la subbase debe garantizar una superficie lisa y apropiada para la conformación de las capas superiores.

3.1.7 Construcción de la subbase granular sobre un afirmado existente

Como el proyecto contempla que el afirmado existente forme parte de la capa de subbase granular, aquel se debe escarificar en una profundidad de cien milímetros (100 mm) o la que especifique los documentos del proyecto, y se debe conformar y compactar con el fin de obtener el mismo nivel de compactación exigido a la subbase granular, en un espesor de ciento cincuenta milímetros (150 mm). Si el espesor del afirmado es menor de cien milímetros (100 mm), el interventor puede autorizar que el material de subbase granular se mezcle con el del afirmado, previa la escarificación de este. En todo caso, se deben respetar los espesores de capa mencionados en el numeral 320.4.5. de las especificaciones técnicas de construcción del INVIAS 2022.

3.1.8 Control de los agregados

- Control de procedencia:

De cada fuente de agregados pétreos y por cada dos mil metros cúbicos (2 000 m3) del material de un mismo tipo, se deben tomar cuatro (4) muestras representativas para realizar los ensayos especificados en la Tabla 320 — 2. Los resultados deben satisfacer las exigencias indicadas en dicha tabla, so pena de rechazo de los materiales deficientes. Estos ensayos se deben repetir durante el suministro siempre que se produzca un cambio de procedencia, y no se puede utilizar e material hasta contar con los resultados de ensayo y la aprobación del interventor. Durante esta etapa, el interventor debe comprobar, además, que el material de descapote de la fuente sea retirado correctamente y que todas las vetas de material granular inadecuado sean descartadas.

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. Así mismo, se debe ordenar que se acopien por separado aquellos que presenten una anomalía evidente de aspecto, como distinta coloración, plasticidad o segregación. Al material ya colocado

en la vía se le deben realizar controles con la frecuencia que se indica en la Tabla 320 — 4.

Tabla 12: Tabla 320 — 4. Verificaciones periódicas de la calidad del material de subbase granular

Ensayo	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Granulometría	E-213	Una (1) vez por jornada
Límite líquido	E-125	Una (1) vez por jornada
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	Una (1) vez por jornada
Desgaste en máquina de Los Ángeles	E-218	Una (1) vez por semana
Equivalente de arena	E-133	Una (1) vez por semana
Ensayo modificado de compactación	E-142	Una (1) vez por semana
CBR de laboratorio	E-148	Una (1) vez por semana

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carretera

El interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 320 — 4, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos.

4. Proceso de fabricación de la mezcla de concreta resistencia 21 Mpa

Para garantizar la calidad y durabilidad de las placas huellas, es crucial implementar una serie de controles especiales durante el proceso de fabricación de la mezcla de concreto, de acuerdo con las especificaciones técnicas de construcción establecidas en las normas INVÍAS 2022. Estos controles aseguran que el concreto cumpla con los requisitos de resistencia, durabilidad y consistencia necesarios para su aplicación en pavimentos.

4.1.1 Control de los Materiales

los materiales que se suministren para la ejecución de las mezclas de concreto hidráulico, se deberá realizar todos los ensayos físicos, químicos, mecánicos y petrológicos que sean necesarios, para asegurar la calidad e inalterabilidad de los agregados que pretende utilizar, independiente y complementariamente de todos los que de manera taxativa se exigen en esta Sección.

4.1.2 Cemento

El cemento hidráulico y su suministro deben cumplir el artículo 501, Suministro de cemento hidráulico. Se pueden utilizar cementos bajo la denominación ASTM C150 y ASTM C595. El constructor debe presentar los resultados de todos los ensayos físicos relacionados con el material cementante, como parte del diseño de la mezcla. De igual forma, todo material cementante usado en obra debe ser de la misma marca, tipo y planta de fabricación al empleado en el diseño de la mezcla.

Es posible emplear diferentes tipos de material cementante siempre que se cuente con el diseño de la mezcla, mezclas de prueba y la aprobación del interventor.

Si por alguna razón el material cementante ha fraguado parcialmente o contiene terrones del producto endurecido, no se puede utilizar. Tampoco se debe utilizar el material cementante sobrante en bultos abiertos en jornadas anteriores, cuando este sea suministrado en bolsas.

4.1.3 Agua

El agua que se emplee para las mezclas de concreto hidráulico o para el curado de las estructuras de concreto, debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C1602. No debe contener aceites, ácidos, azúcares, detergentes, sólidos disueltos, sales, materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial para el concreto terminado. En cualquier caso, se deben cumplir los requisitos dados en la siguiente Tabla:

Tabla 13: Tabla 500.1 requisitos para el agua de mezcla

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	LÍMITES
pH	ASTM D 1293	5.5 – 8.5
Resistencia a compresión, % mínimo en control a 7 días	ASTM C 39	90
Tiempo de fraguado, desviación respecto del tiempo de control (h:min)	ASTM C 403	de 1:00 inicial a 1:30 final

Fuente: El estudio

El requisito de resistencia a compresión se refiere al porcentaje mínimo de resistencia a compresión veintiocho (28) días de una mezcla de concreto con el agua que se desea emplear. respecto de otra elaborada con los mismos agregados y cemento, en las mismas proporciones, pero empleando un agua calificada, pudiéndose emplear agua destilada para este fin.

En relación con el requisito sobre tiempo de fraguado, las medidas se realizarán mediante la resistencia a penetración de morteros extraídos de muestras de concreto, elaboradas como se describió en el párrafo anterior.

Los requisitos que se muestran en la Tabla 500.2 se consideran opcionales y sirven solamente para que el productor de la mezcla mantenga documentada la química y el contenido del agua de mezclado, salvo que los documentos del proyecto o una especificación particular invoquen el cumplimiento de uno o más de ellos.

Tabla 14: Tabla 500.2 Límites químicos opcionales para el agua de mezclado

CONTAMINANTE	NORMA DE ENSAYO	LÍMITE MÁXIMO (ppm) (2)
Ión Cloro (Cl^-)	ASTM C 114	1000
Sulfatos ($SO_4^{=}$)	ASTM C 114	3000
Alcalis como ($Na_2O + 0.658\ K_2O$)	ASTM C 114 (1)	600
Sólidos totales por masa	ASTM C 1603	5000

(1) Se pueden emplear también las normas ASTM D 4191 y ASTM D 4192
(2) ppm corresponde a partes por millón

Fuente: El estudio

4.1.4 Agregados:

4.1.5 Agregado fino

Se considera como tal, a la fracción que pase el tamiz de 4,75 mm (nro. 4). Debe provenir de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otro producto que resulte adecuado, a criterio del interventor. Cuando las arenas son de origen calizo, el porcentaje de arena de trituración no puede constituir más del quince por ciento (15 %) del agregado fino, o hasta el treinta por ciento (30 %) si con un programa experimental aprobado por el interventor se demuestra que no tienen incidencia en el comportamiento del concreto en estado endurecido. Si en la mezcla se emplean arenas provenientes de escorias siderúrgicas, se debe comprobar que no contengan silicatos inestables ni compuestos ferrosos, ni cualquier otro material que genere algún mecanismo de daño en el concreto o disminución de la resistencia.

El agregado fino debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 630 -1 y su gradación se debe ajustar a la indicada en la tabla 630-2. En ningún caso, el agregado fino puede tener

más de cuarenta y cinco (45%) de material retenido entre dos tamices consecutivos de los mostrados en la Tabla 630-2.

Un agregado que no cumpla los requisitos de granulometría y módulo de finura especificados en este numeral puede ser aceptado si se demuestra, a criterio del interventor, que hay una evidencia adecuada de comportamiento satisfactorio de concretos del mismo tipo y para el mismo uso, construidos con ese agregado.

Tabla 15: Tabla 630-1. Requisitos del agregado fino para concreto estructural

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Composición		
Granulometría: - Análisis granulométrico de los agregados finos - Material que pasa tamiz de 0,075 mm (nro.200)	 E-213 E-214	 Ver Tabla 630 — 2
Módulo de finura (Nota 1)	E-213	2,3 — 3,1
Durabilidad (O)		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota 2): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 10 15
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%). (Nota 3)	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%): - Cuando la apariencia superficial del concreto sea de importancia, máximo (%) - Todos los demás concretos, máximo (%)	E-221	 0,5 1,0
Contenido de materia orgánica (F)		
Color más oscuro permisible	E-212	Igual al color de referencia o de la placa orgánica nro. 3

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Características químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (%)	E-233	1,2

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carretera

Nota 1: adicional a esta especificación, es necesario probar el comportamiento competente del material en obras ya construidas. Durante el período de construcción no se permiten variaciones mayores de dos décimas (0,2) en el módulo de finura, con respecto al valor correspondiente a la curva adoptada para la fórmula de trabajo. Cuando se presenten variaciones superiores del módulo de finura, se debe revisar que no haya modificaciones a la curva adoptada de trabajo y se deben chequear afectaciones en los diseños. Si hay variaciones, se debe ajustar una nueva curva de trabajo y se debe corregir el diseño en caso de que haya lugar.

Nota 2: el ensayo se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Nota 3: el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznables puede ser hasta de un tres por ciento (3 %) siempre y cuando no afecte la durabilidad y la resistencia del concreto

Si el agregado fino no cumple el requisito indicado en la Tabla 630 — 1 para el contenido de materia orgánica, se puede aceptar si al ser ensayado en relación con el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia del mortero, se obtiene una resistencia relativa a siete días (7 d) no menor de noventa y cinco por ciento (95 %), calculada de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma de ensayo ASTM C87.

Tabla 16: Tabla 630-2 Granulometría del agregado fino para concreto estructural.

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
Única	100	95 — 100	80 — 100	50 — 85	25 — 60	5 — 30	0 — 10	0 — 3 (Nota 1 y Nota 2)

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carretera

Nota 1: para concretos que no estén sometidos a abrasión, el límite para el material más fino que el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) debe ser de máximo cinco por ciento (5 %).

Nota 2: para finos obtenidos de trituración u otros agregados reciclados, si el material más fino que el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) compuesto de polvo de trituración, esencialmente libre de arcillas o esquistos, este límite puede ser cinco por ciento (5 %) para concretos sometidos a abrasión y máximo siete por ciento (7 %) para concretos no sujetos a abrasión.

4.1.6 Agregado grueso:

Se denomina agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (nro. 4). Dicho agregado debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada o concreto triturado fabricado con cemento hidráulico, que cumpla lo especificado en el numeral 630.2.1.3 del artículo 630; sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas. alargadas, blandas o desintegrables. No se permite la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno. Debe estar exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar

adversamente la calidad de la mezcla. Su gradación se debe ajustar a alguna de las señaladas en la Tabla 500 - 1. Siempre que el tamaño máximo nominal sea mayor de veinticinco milímetros (25,0 mm) (1 pulgada), gradaciones AG-1 y AG-2, el agregado grueso se debe suministrar en las dos fracciones que indica la Tabla 500 - 1.

El tamaño máximo nominal del agregado no debe superar un tercio (1/3) del espesor de diseño de la capa de rodadura. El agregado grueso debe cumplir, además, los requisitos de calidad señalados en la Tabla 500 - 2.

Siempre que se requiera la mezcla de dos (2) o más agregados gruesos para obtener la granulometría de diseño, los requisitos indicados en la Tabla 500 - 2 para dureza, durabilidad y contenido de sulfatos deben ser satisfactorios de manera independiente por cada uno de ellos. La limpieza y las propiedades geométricas se miden sobre muestras del agregado combinado en las proporciones definidas en la fórmula de trabajo.

Tabla 17: Tabla 500-1 Granulometrías para el agregado grueso en losas de concreto hidráulico

Tipo de gradación			Tamiz (mm / *U.S. Standard*)								
			63,0	50,0	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36
INVÍAS		ASTM C33	2 ½ Pulgadas	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8
			Pasa tamiz (%)								
AG-1	Fracción 1: 2 pulgadas a 1 pulgada	3	100	90 — 100	35 — 70	0 — 15	-	0 — 5	-	-	-
	Fracción 2: 1 pulgada a nro.4	57	-	-	100	95 — 100	-	25 — 60	-	0 — 10	0 — 5
AG-2	Fracción 1: 1 ½ pulgadas a ¾ pulgada	4	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 15	-	0 — 5	-	-
	Fracción 2: ¾ pulgada a nro. 4	67	-	-	-	100	90 — 100	-	20 — 55	0 — 10	0 — 5
AG-3	1 pulgada a nro. 4	57	-	-	100	95 — 100	-	25 — 60	-	0 — 10	0 — 5
AG-4	2 pulgadas a nro. 4	357	100	95 — 100	-	35 — 70	-	10 — 30	-	0 — 5	-
AG-5	1 ½ pulgadas a nro. 4	467	-	100	95 — 100	-	35 — 70	-	10 — 30	0 — 5	-
AG-6	1 pulgada a ½ pulgada	5	-	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 10	0 — 5	-	-
AG-7	1 pulgada a 3/8 pulgada	56	-	-	100	90 — 100	40 — 85	10 — 40	0 — 15	0 — 5	-
AG-8	¾ pulgada a 3/8 pulgada	6	-	-	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 15	0 — 5	-

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carretera

La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y construcción del concreto debe ser continua y asemejarse a las teóricas obtenidas al aplicar las fórmulas de Fuller o Bolomey, o por cualquier otro método validado por alguna institución técnica nacional o internacional, y aprobado por el interventor.

En caso de no cumplir los requisitos propuestos por algunas de las metodologías de dosificación, se pueden realizar optimizaciones granulométricas con base en métodos de empaquetamiento granular. El constructor debe revisar la propuesta con aprobación del interventor, mediante la elaboración de mezclas de prueba, con el fin de comprobar que las características proporcionadas en el diseño cumplan los requisitos del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido para el proyecto en particular. Se pueden considerar otros métodos para la dosificación del concreto. además de los basados en el contenido de cemento, ya que estos no son los únicos usados. Además de esto, en caso de no cumplir los requisitos de esas metodologías, se acepta la optimización granulométrica, por medio de métodos de empaquetamiento granular. Sin embargo, este debe ser verificados y aprobados, para garantizar la calidad requerida.

Tabla 18: Tabla 500 — 2. Requisitos del agregado grueso para losas de concreto hidráulico

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 40 8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	30
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	 90 75
Durabilidad (O)		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%).	E-221	0,5

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Geometría de las partículas (F)		
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), mínimo (%).	E-227	60
Índice de alargamiento, máximo (%).	E-230	25
Índice de aplanamiento, máximo (%).	E-230	25
Características químicas (O)		
Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como $SO_4^=$, máximo (%).	E-233	1,0

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carretera

4.1.7 Control de la Mezcla

4.1.8 Proporciones:

- **Diseño de Mezcla:** Verificar que las proporciones de cemento, agregados, agua y aditivos (si los hay) sigan la fórmula del diseño de mezcla aprobado.
- **Consistencia:** Controlar la consistencia de la mezcla mediante el ensayo de asentamiento (slump test) para asegurar que cumpla con los requisitos específicos.

4.1.9 Mezclado:

- **Tiempo de Mezclado:** Controlar el tiempo de mezclado para garantizar una homogeneidad adecuada del concreto.
- **Uniformidad:** Asegurar que la mezcla sea uniforme y que no existan segregaciones o áreas secas.

4.1.10 Control de la Colocación y Compactación

4.1.11 Colocación:

- **Métodos de Colocación:** Implementar prácticas adecuadas de colocación para evitar la segregación del concreto y asegurar una distribución uniforme.

4.1.12 Compactación:

- **Método de Compactación:** Utilizar vibradores de concreto para asegurar una adecuada compactación y eliminación de burbujas de aire, evitando vacíos en la mezcla.

INGEOTECK Diseño Construcción e Ingeniería

4.1.13 Control de la Curado

4.1.14 Método de Curado:

- **Aplicación de Curado:** Aplicar métodos de curado adecuados, como el uso de compuestos de curado, mantas húmedas o técnicas de rociado, para mantener la humedad del concreto durante el período de fraguado.

4.1.15 Duración del Curado:

- **Período de Curado:** Asegurar que el período de curado cumpla con las especificaciones mínimas requeridas para el desarrollo adecuado de la resistencia del concreto.

4.1.16 Control de Calidad y Ensayos

4.1.17 Ensayos de Control:

- **Resistencia a la Compresión:** Realizar ensayos periódicos de resistencia a la compresión en cilindros de prueba para verificar que el concreto alcanza la resistencia especificada.
- **Pruebas de Durabilidad:** Ejecutar pruebas adicionales para evaluar propiedades como la permeabilidad y la resistencia a los ciclos de congelación-descongelación, si es necesario.

4.1.18 Documentación y Registro:

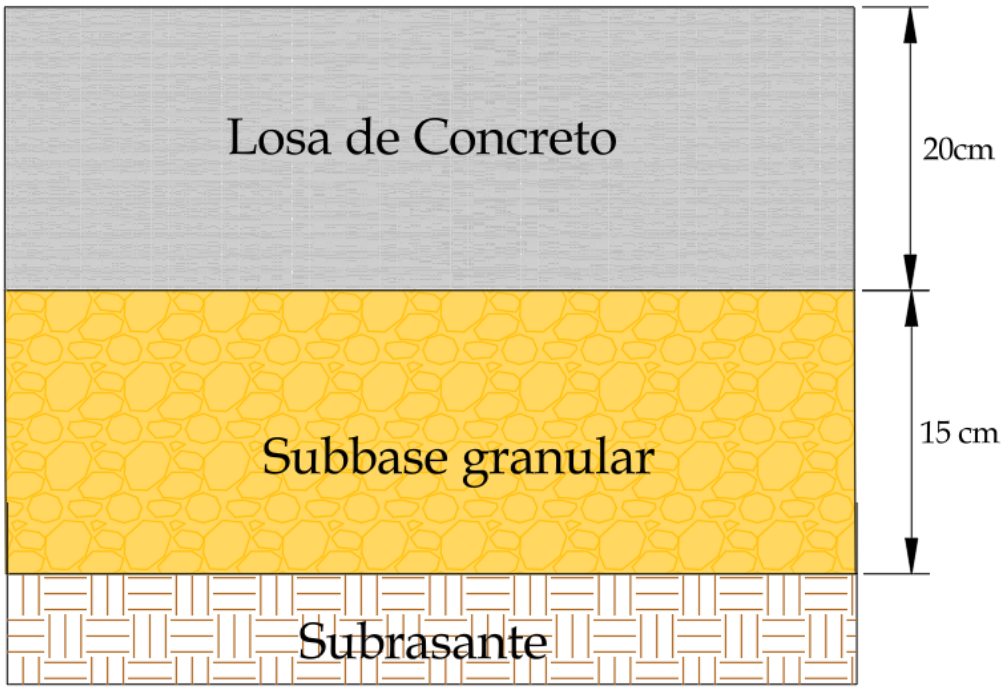
- **Registro de Datos:** Mantener un registro detallado de todos los controles realizados, incluyendo resultados de ensayos, condiciones de mezcla y cualquier ajuste realizado durante el proceso de fabricación.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

5. CONCLUSIONES

- ✓ Las estructuras de pavimento recomendadas son:

Tabla 19 Alternativa estructura de pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

- ✓ En caso tal, que el tránsito esperado de la unidad de diseño, se presente antes del periodo de tiempo planteado, se evidencien cambios considerables en la configuración del TPDS de la vía y se evidencie en el deterioro de la capa de rodadura, se recomienda reevaluar la estructura para ejecutar obras de intervención antes de que empiecen a reflejarse daños estructurales.

- ✓ Donde la estructura de pavimento este apoyada sobre un terraplén con un espesor superior al espesor recomendado en el mejoramiento, dicho mejoramiento se puede obviar colocando directamente la capa de subbase recomendada.

- ✓ Para garantizar la recolección y evacuación de las aguas de escorrentía producto de las aguas pluviales, se debe contemplar una red eficiente de drenajes como filtros,

cunetas, sumideros, pozos de inspección y alcantarillas que estén ubicados estratégicamente, de acuerdo a los diseños hidráulicos que se realicen para el presente proyecto.

- ✓ No se instalarán capas de la estructura del pavimento sin la autorización de la firma interventora.

- ✓ Durante la etapa constructiva los materiales deberán someterse a controles de calidad en cuanto a plasticidad, durabilidad, gradación, estabilidad, compactación y demás que estipulen las normas vigentes, para así garantizar el buen desempeño en conjunto con la estructura del pavimento.

- ✓ Se recomienda instalar previamente a la estructura de pavimento los diferentes sistemas de alcantarillado y redes hidráulicas, para evitar futuras intervenciones a la estructura de pavimento, y con esto asegurar la vida útil de la estructura de pavimento con un adecuado nivel de servicio.

- ✓ Se recomienda que las labores de construcción se realicen en tiempo de verano para evitar posibles infiltraciones en la subrasante que alteren las consideraciones tenidas en cuenta en el diseño.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería