



El futuro  
es de todos

Agencia de  
Renovación  
del Territorio

FACTIBILIDAD  
MUNICIPIO DE  
TARAZÁ –  
CORREGIMIENTO DE  
GUÁIMARO



CONSORCIO  
TERRITORIAL 2019



CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR SOBRE LA QUEBRADA  
URALES EN LA VÍA QUE CONDUCE DEL MUNICIPIO DE TARAZÁ A EL  
CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.

VOLUMEN IX – DISEÑO DE PAVIMENTOS

Diciembre de 2019

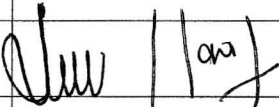

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL</b> 2019 <small>NIT No. 901.283.925-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	



### DESTINATARIOS

DESTINATARIO	COPIA DIGITAL	COPIA IMPRESA
AGENCIA DE RENOVACIÓN DEL TERRITORIO (ART)	01	01

### EJECUCIÓN, REVISIÓN Y APROBACIÓN



VERSIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA
01		

<b>TÍTULO DEL DOCUMENTO:</b>	DISEÑO DE PAVIMENTOS – CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR SOBRE LA QUEBRADA URALES EN LA VÍA QUE CONDUCE DEL MUNICIPIO DE TARAZÁ A EL CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.			
<b>DOCUMENTO No.:</b>	305790302646			
<b>RESPONSABLES DE LA ELABORACIÓN</b>	<b>Nombres:</b>	Ing. Civil JOSÉ LARA		
	<b>Firma:</b>			
	<b>Matricula Profesional:</b>	13202-19729BLV		
	<b>Fecha:</b>			
<b>RESPONSABLE POR REVISIÓN, APROBACIÓN Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD</b>	<b>Nombres:</b>	Ing. Civil RAFAEL CAMARGO		
	<b>Firma:</b>			
	<b>Matricula Profesional:</b>	08202-365882ATL		
	<b>Fecha:</b>			
<b>APROBACIÓN CLIENTE</b>	<b>Fecha</b>	<b>Nombre</b>	<b>Cargo</b>	<b>Firma</b>



 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. ALCANCE Y OBJETIVOS .....	8
2.1. ALCANCE .....	8
2.2. OBJETIVO GENERAL .....	8
2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3. GENERALIDADES.....	9
3.1. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	11
3.2. UBICACIÓN DE LA VÍA RESPECTO A VÍAS PRINCIPALES .....	12
3.3. SECTORIZACIÓN DE LA VÍA A INTERVENIR .....	13
4. MATERIALES VIALES .....	15
4.1. ALGUNAS CONSIDERACIONES CLIMÁTICAS .....	16
4.2. CONCRETO HIDRÁULICO – DISEÑO DE MEZCLA .....	16
4.2.1. CONCRETO PARA PAVIMENTO DE HORMIGÓN .....	16
4.2.2. DISEÑOS DE MEZCLAS DE HORMIGÓN .....	17
5. CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS .....	19
6. ASPECTOS DE CARGA VEHICULAR.....	20
7. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO .....	22
7.1. GENERALIDADES DE DISEÑO.....	22
7.2. PAVIMENTO RÍGIDO .....	22
7.2.1. PARÁMETROS DE DISEÑO .....	23
7.2.1.1. PERIODO DE DISEÑO .....	23
7.2.1.2. MÓDULO DE REACCIÓN DEL SOPORTE (k).....	24
7.2.1.2.1. CBR DE DISEÑO – MÓDULO RESILIENTE (M <sub>R</sub> ) DE LA SUBRASANTE.....	24
7.2.1.2.2. PERDIDA DE SOPORTE .....	25
7.2.1.3. MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO (E <sub>c</sub> ) – MODULO DE ROTURA DEL CONCRETO (S <sub>c</sub> ) .....	27
7.2.1.4. COEFICIENTE DE DRENAJE (C <sub>d</sub> ).....	27
7.2.1.5. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J).....	31

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

7.2.1.6. TRÁNSITO – NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TONELADAS ( $W_{18}$ ) .....	32
7.2.1.7. SERVICIABILIDAD .....	32
7.2.1.8. DESVIACIÓN ESTÁNDAR ( $S_0$ ) .....	32
7.2.1.9. CONFIABILIDAD (R) – COEFICIENTE DE DESVIACIÓN ( $Z_r$ ) .....	32
7.2.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	33
7.2.2.1. ESPESORES DE DISEÑO .....	33
7.2.3. GEOMETRÍA DE LAS LOSAS .....	34
7.2.4. JUNTAS, BARRAS DE ANCLAJE Y PASADORES .....	35
7.2.5. REFUERZO DE LAS LOSAS .....	36
7.3. FUENTES DE MATERIALES Y BOTADEROS.....	37
7.4. CANTIDADES DE OBRA.....	38
7.5. MANTENIMIENTO VIAL .....	39
7.5.1. MANTENIMIENTO PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.....	39
7.5.1.1. RESELLADO DE JUNTAS Y/O GRIETAS.....	39
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	43
9. REFERENCIAS .....	45
10. ANEXOS .....	46
10.1. PLANOS .....	46
10.1.1. MODULACIÓN DE LOSAS .....	46
10.1.2. REFUERZO DE LOSAS.....	46
10.2. HOJA DE CÁLCULO AASHTO-93.....	46
10.3. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN .....	47



 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Quebrada Urales.....	9
Figura 2. Identificación de la zona de la intervención.....	10
Figura 3. Quebrada Urales.....	10
Figura 4. Localización del Proyecto (a) Departamento de Antioquia (b) Municipio de Tarazá.....	11
Figura 5. Corregimiento El Guáimaro y la cabecera municipal.....	12
Figura 6. Identificación de la Red Vial Cercana al Proyecto RUTA 25, TARAZÁ - CAUCASIA.....	13
Figura 7. Sectorización de la Intervención Vial.....	14
Figura 8. Cálculo del K Combinado.....	25
Figura 9. Módulo de reacción efectivo del apoyo corregido por pérdida de soporte.....	26
Figura 10. Definición de Geometría de la vía.....	28
Figura 11. Granulometría de la capa de soporte (Subbase Granular Tipo C). ....	29
Figura 12. Tiempo de drenaje (DRIP). ....	30
Figura 13. Coeficiente de Drenaje.....	31
Figura 14. Coeficiente de Transferencia de Carga.....	31
Figura 15. Estructura de Pavimento Rígido.....	34
Figura 16. Esquema de Corte de Juntas.....	36
Figura 17. Tratamiento de Junta Típico.....	36
Figura 18. Esquema de Refuerzo de Losas.....	37
Figura 19. Solución Estructural Recomendada .....	44

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de inicio y fin de la vía.....	14
Tabla 2. Resumen de datos de lluvia mensuales.....	16
Tabla 3. Relación volumétrica de mezclas de hormigón .....	17
Tabla 4. Valores típicos de proporciones en volumen y resistencia del hormigón	18
Tabla 5. Resumen Valores de CBR Representativos.....	19
Tabla 6. Categorías de tránsito para la selección de espesores .....	20
Tabla 7. Pérdida de Soporte.....	26
Tabla 8. Desviación Estándar.....	32
Tabla 9. Niveles de Confiabilidad Sugeridos.....	33
Tabla 10. Diseño de Pavimento Rígido – Método AASHTO 93. ....	33
Tabla 11. Recomendaciones para la Selección de los Pasadores de Carga. ....	35
Tabla 12. Cantidades de Obra Pavimento Rígido (Periodo de Diseño: 20 años)..	38

	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	Versión: 01

## 1. INTRODUCCIÓN

El Gobierno Nacional tiene como propósito fundamental trabajar por la paz con base en los principios de legalidad y emprendimiento en aras de obtener estándares de equidad para toda la población nacional. Este ejercicio permitirá superar progresivamente las disparidades y desigualdades existentes, especialmente en los territorios rurales, víctimas del conflicto armado, creando espacios que permitan mejorar la calidad de vida de las personas y generando condiciones de desarrollo económico a través de una agenda de estabilización de territorios en posconflicto.

Es así como se trabaja por fortalecer la presencia del Estado en aquellas regiones donde diversas circunstancias históricas han sido generadoras de violencia y han deteriorado las condiciones de seguridad y de progreso. En este sentido, la implementación de estrategias de intervención en las zonas mencionadas, por parte del Gobierno Nacional, debe estar enfocada en establecer las condiciones óptimas para el desarrollo social y económico sostenible, acelerando la inclusión productiva en las zonas rurales del país a través de la presencia institucional coordinada que permita superar la pobreza.



Con el fin de dar trámite a esta iniciativa, se generaron políticas públicas enfocadas a proteger los derechos humanos, haciendo énfasis en las zonas rurales del país, donde se evidencian las consecuencias del conflicto armado y, por tanto, se requieren procesos de reincorporación y sustitución.

En este contexto, se hace necesario entonces la formulación, implementación y seguimiento de las iniciativas identificadas en cada zona de interés. Para alcanzar este objetivo, se vincula la Agencia de Renovación del territorio (ART) en aras de dar cumplimiento al punto 1 del Acuerdo de Paz con las FARC donde se establece que se debe llevar a cabo una Reforma Rural Integral (RRI), razón por la que se crearon los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET) como herramientas que se utilizarán para atender de forma prioritaria a los territorios más afectados.



El presente documento se tratan todos los aspectos inherentes al diseño de la estructura del pavimento para el proyecto de construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guáimaro, departamento de Antioquia.

Las secciones del presente informe están organizadas de la siguiente manera:

- El Capítulo 2 presenta el alcance y los objetivos del estudio.
- El Capítulo 3 sintetiza las generalidades del proyecto.

 <p><b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio</p>	<p>DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO</p>	 <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019 NIT. No. 901.283.823-6</p>	
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	Versión: 01

- El Capítulo 4 describe algunas consideraciones climáticas y los materiales considerados para el desarrollo de las propuestas de diseño y sus especificaciones técnicas.
- El Capítulo 5 describe algunas consideraciones geotécnicas con base en el volumen de suelos para pavimentos.
- El Capítulo 6 describe algunos aspectos de carga vehicular con base en el volumen de tránsito.
- El Capítulo 7 desarrolla detalladamente el diseño de la estructura de pavimento, en los tramos especificados que requieren intervención vial. De la misma forma, se incluye el resumen de cantidades de obra y el plan de mantenimiento de la infraestructura proyectada.
- El Capítulo 8 presenta las conclusiones del estudio y algunas recomendaciones para la ejecución del proyecto.
- El Capítulo 9 resume las referencias utilizadas para el análisis técnico y la elaboración del informe.
- Finalmente, el Capítulo 10 presenta los anexos que complementan la información desarrollada en el documento.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

## 2. ALCANCE Y OBJETIVOS

### 2.1. ALCANCE

El presente documento permitirá desarrollar el diseño de la estructura de pavimento para el proyecto de construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guáimaro, departamento de Antioquia, con el fin de mejorar la intercomunicación terrestre en parte del territorio rural del municipio.

### 2.2. OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudios correspondientes al Volumen de Diseño de Pavimentos, a nivel de Fase III – Factibilidad, para el proyecto de construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guáimaro, departamento de Antioquia.

### 2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A continuación, se presentan los objetivos específicos asociados al diseño de las estructuras de pavimentos del proyecto:

- Establecer las características de los materiales aptos para el buen desempeño de la estructura de pavimento.
- Caracterizar las variables que influyen en el diseño final de las estructuras de pavimento como el tránsito, el clima, los materiales, el suelo de fundación, entre otros.
- Proponer y analizar alternativas de solución estructural y funcional a la problemática de transitabilidad y conectividad identificada en el corredor vial.
- Diseñar la estructura de pavimento más adecuada de acuerdo con las condiciones de carga, medioambientales y geotécnicas del sector.
- Definir los espesores y la geometría adecuada para garantizar una estructura de pavimento resistente al paso de las cargas vehiculares y los factores medioambientales en la zona del proyecto durante su vida útil.
- Detallar las especificaciones técnicas requeridas para la ejecución del proyecto, dentro del tiempo establecido, y bajo los parámetros exigidos por la normatividad vigente.
- Estimar las cantidades de obra correspondientes a las intervenciones viales propuestas.
- Definir un plan de mantenimiento para garantizar la serviciabilidad de la vía durante su vida útil.
- Ofrecer recomendaciones para efecto de futuras intervenciones.



### 3. GENERALIDADES

El presente proyecto consiste en la construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guáimaro, departamento de Antioquia.

La vía en estudio tiene una longitud aproximada de 15,03 kilómetros; actualmente en la zona del proyecto con las siguientes coordenadas 7°34'5,73"N - 75°28'8,35"O, se encuentra el cruce de la quebrada Urales; en esta no se encuentra una obra transversal que comunique el corregimiento del Guáimaro con la cabecera municipal del municipio de Tarazá, dificultando la movilidad, aumentando los tiempos de viajes y haciendo efecto en el incremento de los costos en la economía de las familias.

Figura 1. Quebrada Urales.



Fuente: *Elaboración Propia.*

Figura 2. Identificación de la zona de la intervención.



*Fuente: Elaboración propia.*

Figura 3. Quebrada Urales.



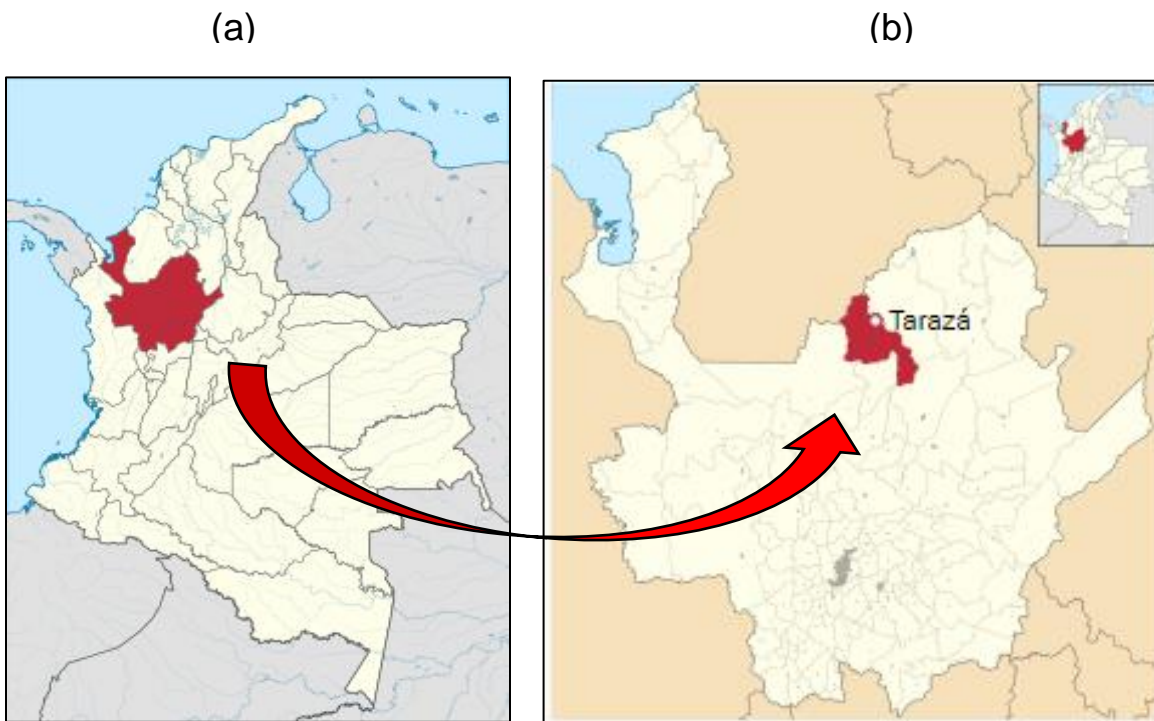
*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.1. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Tarazá es un municipio de Colombia, localizado en la subregión del Bajo Cauca del departamento de Antioquia. Limita por el norte con el departamento de Córdoba y el municipio de Cáceres, por el este con el municipio de Cáceres, por el sur con los municipios de Valdivia e Ituango, y por el oeste con el departamento de Córdoba. Su cabecera dista 222 kilómetros de la ciudad de Medellín, capital de Antioquia. El municipio posee una extensión de 1560 kilómetros cuadrados de los cuales 1,2 kilómetros cuadrados corresponden a la cabecera urbana y 1558 kilómetros cuadrados corresponden al área rural. Su territorio está constituido por la cuenca del río Tarazá en cuyas partes altas se tienen sistemas montañosos de hasta 3000 msnm, especialmente en los límites con el departamento de Córdoba, que los define la Serranía de Ayapel y la cuchilla de planadas. El resto del territorio está conformado por las planicies aluviales bajas del río Cauca.

En la siguiente figura se observa la ubicación del departamento de Antioquia con respecto a Colombia, y a su vez, la ubicación del municipio de Tarazá con respecto a Antioquia; posteriormente, se observa la ubicación del corregimiento El Guáimaro con respecto a la cabecera municipal.

Figura 4. Localización del Proyecto (a) Departamento de Antioquia (b) Municipio de Tarazá.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Corregimiento El Guáimaro y la cabecera municipal.

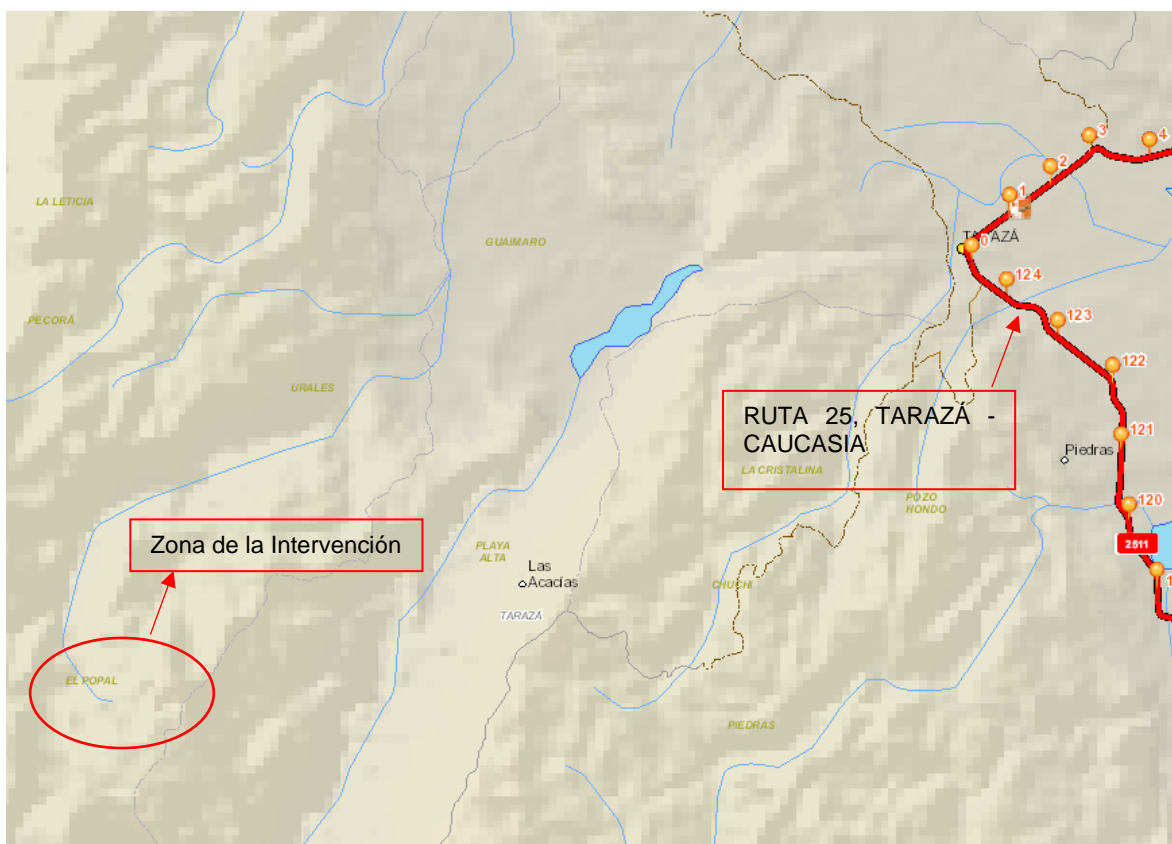


Fuente: Adaptado de Google Earth.

### 3.2. UBICACIÓN DE LA VÍA RESPECTO A VÍAS PRINCIPALES

En este subnumeral se realiza la descripción general de los corredores viales aledaños y existentes a la zona objeto de estudio. En la siguiente figura se identifica, de acuerdo con información nacional de la red vial, que El corregimiento El Guáimaro y la cabecera municipal de Tarazá, se encuentran cercanos a la RUTA 25, TARAZÁ – CAUCASIA de primer orden. De acuerdo con la RESOLUCIÓN 1530 del 2017, adoptando los criterios técnicos, la matriz y la guía metodológica para la categorización de las vías se identifica que la vía a intervenir está contemplada como una vía “veredal o de tercer orden”.

Figura 6. Identificación de la Red Vial Cercana al Proyecto RUTA 25, TARAZÁ - CAUCASIA.



Fuente: <https://hermes.invias.gov.co/carreteras/>

### 3.3. SECTORIZACIÓN DE LA VÍA A INTERVENIR

En la siguiente figura se puede identificar una longitud total de 15,03 kilómetros aproximadamente que conecta la cabecera municipal de Tarazá hasta el corregimiento El Guáimaro, del municipio de Tarazá, Departamento de Antioquia.

Figura 7. Sectorización de la Intervención Vial.





Fuente: Adaptado de Google Earth.

La vía para intervenir en el análisis de este proyecto se localiza entre las coordenadas que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de inicio y fin de la vía.

Longitud Aproximada (m)	Coordenada Inicio	Coordenada Final
15.034	7°35'31,35"N 75°24'16,70"O	7°34'14,81"N 75°28'10,41"O



Fuente: Elaboración Propia.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

## 4. MATERIALES VIALES

Los materiales para la construcción de la infraestructura vial, sin excepción, deben cumplir con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). A continuación, se describen algunos de los aspectos más relevantes para tener en cuenta en la definición de los materiales del proyecto.

- **Subrasante:** Los suelos arcillosos saturados se consideran no aptos como fundación de terraplenes o como materiales viales; por tanto se plantea la necesidad de alejar la estructura de pavimento de esos suelos colocando un material granular tipo terraplén que mejore las condiciones de soporte de la subrasante combinada; esa técnica de mejoramiento permite el doble beneficio de alzar la estructura y alejarla de las aguas de inundación o capilares y de mejorar las características mecánicas de la fundación del pavimento. Los CBR mínimos de la subrasante natural o combinada (mejorada) será del 3%.
- **Afirmado:** El material debe cumplir las disposiciones definidas en el capítulo 3, artículos 300-13 y 311-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Este material debe tener como mínimo un CBR de 15%.
- **Subbase Granular:** El material debe cumplir las disposiciones definidas en el capítulo 3, artículos 300-13 y 320-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Este material debe tener como mínimo un CBR de 30% para proyectos con nivel de tránsito NT1.
- **Base Granular:** El material debe cumplir las disposiciones definidas en el capítulo 3, artículos 300-13 y 330-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Este material debe tener como mínimo un CBR de 80% para proyectos con nivel de tránsito NT1.
- **Concreto hidráulico:** Se deben cumplir las disposiciones definidas en el capítulo 5, artículo 500-13 Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.
- **Concreto asfáltico:** En particular, la mezcla densa en caliente (MDC) que se utilizará en este proyecto, debe cumplir las disposiciones definidas en el capítulo 4, artículos 400-13 y 450-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Adicionalmente, entendiendo la complejidad del comportamiento viscoelástico – termoplástico del asfalto, se tendrán en cuenta los aspectos técnicos descritos en la siguiente sección.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

- Acero de refuerzo: Si se refuerzan las placas o en el caso de cunetas y los bordillos, se utilizará acero de refuerzo con resistencia entre 420 MPa y 520 MPa.
- Material de terraplén: Se deben cumplir con las disposiciones definidas en el capítulo 2, artículo 220-13 Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

#### 4.1. ALGUNAS CONSIDERACIONES CLIMÁTICAS

Uno de los aspectos que tienen importancia e influencia en el diseño de una estructura de pavimento son las condiciones climáticas y/o medioambientales; por lo tanto, se mencionan aspectos de temperaturas y precipitaciones del sector en estudio. La información de temperatura se recolectó de la Estación Climática Principal Cacaoteras del Dique - 26255040 en el municipio de Caucasia, mientras la información de precipitación se recolectó de la Estación pluviométrica Playa Alta - 26240170 en el municipio de Tarazá, las cuales son las más cercanas a la zona del proyecto. La temperatura media mínima anual es de 22,9°C, la máxima media anual es de 33,9°C, la media anual es de 27,9°C y la precipitación anual aproximada es de 4253 mm.

Tabla 2. Resumen de datos de lluvia mensuales

Municipio	Código Estación	Precipitación Registrada	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Tarazá	26240170	Total Precipitación (mm)	99.5	87.6	158.8	368	512.8	470.2	457	545	486.3	503.4	381.3	213.7	4253
Tarazá	26140170	Días de lluvia registrados	8	7	9	16	21	18	19	19	19	19	17	10	180

Fuente: IDEAM



#### 4.2. CONCRETO HIDRÁULICO – DISEÑO DE MEZCLA

##### 4.2.1. CONCRETO PARA PAVIMENTO DE HORMIGÓN

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto y se determina como la medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. El Módulo de Rotura ( $M_R$ ) generalmente se encuentra entre el 10% al 20% de la resistencia a compresión, dependiendo del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado.

Entendiendo que el concreto para la elaboración del proyecto puede ser hecho en obra, y sin la rigurosidad en el control de calidad que un concreto de altas resistencias requiere, el presente estudio asumirá una resistencia a la flexo-tracción o módulo de rotura del concreto hidráulico de 3,8MPa (551,14 psi). Esta resistencia



 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

a la flexo-tracción podría ser obtenida con mezclas de hormigón con resistencia a la compresión obtenida según la siguiente ecuación<sup>1</sup>:

$$MR = 2,2 \cdot (f'_c)^{0,5}$$

Donde:

$MR$  = *Módulo de Rotura en kg/cm<sup>2</sup>.*

$f'_c$  = *Resistencia a la compresión del concreto hidráulico en kg/cm<sup>2</sup>.*

$$f'_c = 29,8 \text{ MPa}$$

En este sentido, para cumplir con las especificaciones de resistencia ( $M_R=3,8\text{MPa}$ ) presentadas anteriormente, el diseño de mezcla tendrá una dosificación que permita obtener una resistencia a la compresión de  $300\text{kg/cm}^2$  (30 MPa).

#### 4.2.2. DISEÑOS DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

Las proporciones de los materiales se obtiene de acuerdo con el diseño de mezcla anexo, se debe considerar que variaciones en las características de los materiales darían como resultado modificaciones en esas porciones y de debe hace el ajuste correspondiente.

Tabla 3. Relación volumétrica de mezclas de hormigón

Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Agua	Relación volumétrica		
		Cemento	Arena	Grava
140	185	1	3	4
175	185	1	2.5	4
210	185	1	2.5	1.5
280	185	1	2	1
300	185	1	1.5	1

Fuente: *Elaboración Propia*

La Cartilla Guía para la Evaluación de Cantidades y ejecución de presupuesto para la construcción de obras de la Red Terciaria del INVIAS, incluye metodología de ajuste de diseños y tabla tipo de proporciones para mezclas.

<sup>1</sup> Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras – Volumen II – Carlos Hernando Higuera Sandoval

Tabla 4. Valores típicos de proporciones en volumen y resistencia del hormigón

Mezcla	Resistencia a la Compresión		Cemento		Arena	Gravilla
	kg/cm <sup>2</sup>	PSI	Kilogramos	Bultos	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1:2:2	220-260	3080-3640	420	8,5	0,67	0,67
1:2:2,5	210-260	2940-3640	380	7,5	0,6	0,76
1:2:3	200-240	2800-3360	350	7	0,55	0,84
1:2:4	180-240	2520-3360	300	6	0,475	0,95

Fuente: Cartilla Guía INVIAS

## 5. CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

El proyecto de 'CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR SOBRE LA QUEBRADA URALES EN LA VÍA QUE CONDUCE DEL MUNICIPIO DE TARAZÁ A EL CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA', consiste en la construcción de un puente vehicular de 35 m de longitud, accesos y enfoques como obras complementarias.

Por lo anterior, la exploración geotécnica fue planeada y realizada con el objetivo de identificar las características representativas de los suelos del proyecto. Se realizaron en total 2 sondeos a 25,0-m de profundidad distribuidos antes y después del puente a construir. Para la caracterización geotécnica a nivel de subrasante para la infraestructura vial a construir, se utilizaron los resultados de humedad natural, los límites de Atterberg (límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)) y granulometría hasta 2,0 m de profundidad de dichos sondeos.

Adicionalmente, se realizaron ensayos de CBR sobre muestras inalteradas en las cercanías de ambos sondeos. Lo anterior, para caracterizar la resistencia mecánica de la subrasante de los accesos (losas de aproximación) para pavimentar. En general, los suelos encontrados a lo largo del corredor son de tipo arenas y gravas que presentan un comportamiento de excelente a bueno como capa de subrasante.

Finalmente, los CBR representativos, con su respectivo análisis descriptivo, se presentan a continuación.

Tabla 5. Resumen Valores de CBR Representativos.

Sondeo No	CBR (%)	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
1	4,30	4,35	0,071	0,02
2	4,40			

Fuente: Elaboración Propia

Bajo un criterio práctico / constructivo, para propósitos de dimensionamiento de la estructura de pavimento (losas de aproximación), se recomienda utilizar el valor medio de CBR obtenido. En este caso CBR de diseño= 4,35%, lo cual cumple con los requerimientos mínimos de suelos para subrasante, es decir,  $CBR \geq 3\%$ . Por lo anterior, no se requieren labores de mejoramiento o estabilización de suelos para garantizar una fundación adecuada para la infraestructura a construir de acuerdo con las especificaciones del INVIAS.

## 6. ASPECTOS DE CARGA VEHICULAR

Actualmente, la ruta que va del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guáimaro se encuentra **incomunicada** a la altura de la Quebrada Urales. El sitio por intervenir históricamente no tiene continuidad y el paso a la población se realiza por vía fluvial. Además, durante los días de la visita de campo no hubo circulación vehicular en la zona. Por lo cual, **no hay registros de aforos**.

Aunque **no se cuenta con información de tránsito presente o registros históricos** no se puede ignorar el hecho de que la zona puede atraer y generar tránsito por el beneficio de la construcción del puente vehicular y la pavimentación. En este proyecto se presentó una **aproximación del tránsito de diseño** basado en consideraciones socioeconómicas de la zona, el ancho y el tipo de vía que se tiene.

De acuerdo con la Secretaria de Infraestructura de Antioquia, la producción del cacao es la principal actividad económica asociada a la red vial terciaria en estudio. La información presentada por FEDECACAO y el Sistema para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA) demuestran la importancia e incidencia del cultivo de cacao en la producción nacional y por tanto en el crecimiento socioeconómico de las diferentes zonas del país donde se cultiva y comercializa este producto.

Para facilitar el diseño de los pavimentos, el Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Transito del INVIAS propone 7 categorías de transito basado en el tipo de vía, TPDs, y ejes acumulados de 8,2 toneladas como se muestra a continuación.

Tabla 6. Categorías de tránsito para la selección de espesores



Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2
T <sub>0</sub>	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1'000.000
T <sub>1</sub>	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T <sub>2</sub>	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1000	1'500.000 a 5'000.000
T <sub>3</sub>	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T <sub>4</sub>	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T <sub>5</sub>	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T <sub>6</sub>	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

las siglas tienen el siguiente significado:	
<b>Vt:</b> Vía terciaria	<b>M:</b> Medias
<b>Vs:</b> Vía secundaria	<b>A:</b> Anchas
<b>Vp:</b> Vía principal	<b>CC:</b> Carreteras de 2 direcciones
<b>E:</b> Estrechas	<b>MC:</b> Carreteras multicarriles
	<b>AP:</b> Autopistas

Fuente: INVIAS



Basado en la tabla anterior y el tipo de vía del proyecto de estudio (Vía Terciaria-Vt) el **tránsito de diseño** se puede clasificar como **categoría T<sub>0</sub>**, es decir, TPDs

 <p><b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio</p>	<p>DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO</p>	 <p><b>CONSORCIO TERRITORIAL</b> 2019 NIT: No. 901.283.823-6</p>	
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	Versión: 01

entre 0 y 200, y ejes acumulados de 8,2 toneladas <1.000.000. Desde un enfoque conservador, para el diseño de la estructura de pavimento, se recomienda usar 1.000.000 de ejes equivalentes de 8,2 toneladas.

De las entrevistas con personas del sector, se concluye que, los camiones usualmente utilizados en la zona corresponden máximo al tipo C3. Principalmente para movilización estacional de productos agrícolas o ganaderos. Además, no hay rutas de buses o transporte público. Sin embargo, para la construcción de obra la obra principal (puente vehiculare) en vías secundarias o terciarias se usa la configuración vehicular de la Norma Colombia de Diseño de Puentes (CCP-14) o del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) como carga viva de diseño de la superestructura, es decir, el camión CC-14 o C2-S1, respectivamente. El CC-14 o C2-S1 es un tractocamión de dos ejes simples con semirremolque de un eje simple.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, y el hecho de que el proyecto beneficiará a 282 familias de la población del municipio de Tarazá-Antioquia, principalmente en el corregimiento El Guáimaro, se considera necesaria y pertinente la implementación de este proyecto. Finalmente, las obras por ejecutar deben de garantizar la transitabilidad y conectividad bajo condiciones confortables y seguras en la zona del territorio rural de Tarazá.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

## 7. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

En esta sección se describen los procedimientos de diseño utilizados para la definición de la estructura de pavimento contemplada en el proyecto. Específicamente, el diseño correspondiente a los accesos (losas de aproximación) del puente por construir sobre la quebrada Urales en el municipio de Tarazá, departamento de Antioquia.

Las siguientes secciones están enfocadas en el diseño detallado de los accesos o losas de aproximación con una estructura de pavimento rígido (concreto hidráulico) que garantice la transitabilidad y conectividad bajo condiciones confortables y seguras en esta zona del territorio rural del municipio Tarazá.

### 7.1. GENERALIDADES DE DISEÑO

Actualmente, existen un gran número de metodologías de diseño de estructuras de pavimento, las cuales se clasifican como empíricas, mecánicas o mecanístico-empíricas, dependiendo de los criterios de análisis que utilizan para definir los espesores de diseño y predecir su comportamiento en función de unos parámetros de entrada.



En el presente informe se utilizará la metodología propuesta por la Guía AASHTO 1993, una de las más reconocidas a nivel internacional para el diseño de estructuras de pavimento.

La AASHTO Guide for Design Pavement Structures 1993 surgió como resultado de un experimento vial a escala real desarrollado entre 1958 y 1960, en Illinois, Estados Unidos, conocido como el “AASHO Road Test”. Esta metodología de naturaleza empírica tiene como filosofía de diseño determinar el espesor de la capa de concreto hidráulico (D) en el caso de pavimentos rígidos, o el número estructural (SN) en el caso de pavimentos flexibles, de tal forma que se garantice una estructura capaz de soportar las solicitaciones de carga y efectos medioambientales durante un periodo de diseño definido.

A continuación, se presentan el diseño definitivo de los accesos o losas de aproximación en concreto hidráulico del puente por construir.

### 7.2. PAVIMENTO RÍGIDO

El método de diseño AASHTO 93 para pavimentos rígidos tiene como objetivo determinar el espesor de la capa de concreto hidráulico (D), de tal forma que se garantice una estructura capaz de soportar las solicitaciones de carga y efectos medioambientales durante un periodo de diseño definido. Lo anterior, por medio de la siguiente expresión general:

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

$$\text{Log}W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \cdot 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \cdot \log\left(\frac{(S'_c)(C_d)(D^{0.75} - 1.132)}{215.63(J)\left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}}\right)}\right)$$

Donde:

$W_{18}$  = Número de ejes equivalentes de 80 kN, ESALs.

$Z_R$  = Coeficiente de desviación normal estándar.

$S_0$  = Error estándar.

$\Delta PSI$  = Pérdida de serviciabilidad.

$P_t$  = Índice de serviciabilidad terminal.

$D$  = Espesor de la losa de concreto hidráulico.

$S'_c$  = Módulo de ruptura del concreto hidráulico.

$C_d$  = Coeficiente de drenaje.

$J$  = Coeficiente de transferencia de carga.

$E_c$  = Módulo elástico del concreto hidráulico.

$k$  = Módulo de reacción de la subrasante.

El método AASHTO 93, como se puede observar en su modelo matemático para pavimentos rígidos, considera los siguientes parámetros de diseño:



- El tránsito especificado en términos del número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.
- El nivel de confianza con que se desea calcular el pavimento.
- El error normal combinado.
- El nivel de serviciabilidad.
- Resistencia media del concreto a la flexo-tracción.
- Módulo de elasticidad del concreto.
- La calidad del drenaje subsuperficial.
- Las condiciones de transferencia de carga entre losas.
- La pérdida de soporte de la capa de apoyo.

Las siguientes subsecciones presentan la definición de los parámetros del diseño de pavimento rígido del estudio.

## 7.2.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

### 7.2.1.1. PERIODO DE DISEÑO

En el dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido se adoptará un periodo de diseño de 20 años.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

### 7.2.1.2. MÓDULO DE REACCIÓN DEL SOPORTE (k)

La capacidad de soporte del suelo en pavimentos de concreto rígido se define en términos del módulo de reacción de la subrasante (k), conocido también como el “Coeficiente de balasto” o el “Módulo de Westergaard”. Este parámetro representa la relación entre la presión necesaria para aplicar una deformación definida producto de la aplicación de ciclos de carga-descarga sobre el suelo.

Este parámetro se obtiene por medio de la prueba de placa definida por la norma I.N.V. E 168-13. Sin embargo, en la práctica este parámetro puede ser correlacionado con el CBR (%) o con el Módulo Resiliente ( $M_R$ ) de la subrasante.

#### 7.2.1.2.1. CBR DE DISEÑO – MÓDULO RESILIENTE ( $M_R$ ) DE LA SUBRASANTE

De acuerdo con el análisis desarrollado en la sesión 5, se adoptó un CBR representativo de diseño de 4,35%, lo cual cumple con los requerimientos mínimos de suelos para subrasante, es decir,  $CBR \geq 3\%$ . Para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante se utilizó la siguiente correlación:

$$E_{sr} = 0.07 \times 2555 \times (CBR)^{0.64}$$

Donde:

$E_{sr}$  = módulo de la subrasante ( $kg/cm^2$ )

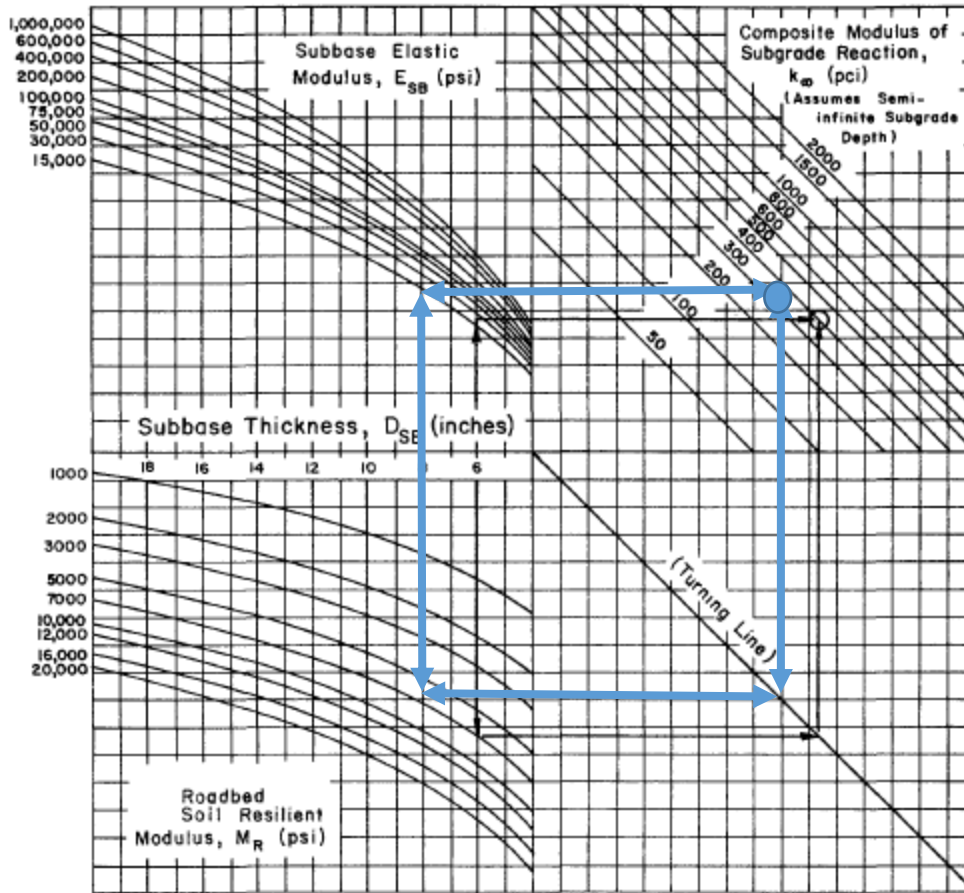
CBR = Capacidad de Soporte (%)

Con lo anterior se obtuvo  $E_{sr} = 458,27 \frac{kg}{cm^2}$  (6.546,72 psi). Es importante mencionar que, al considerar una capa de subbase granular se debe incluir el efecto estructural de esta capa en el diseño del pavimento por medio del uso de un valor “k combinado”. Este valor depende del espesor de subbase considerado y de sus propiedades mecánicas. En el diseño de la estructura de pavimento se contemplará una capa de subbase granular de 6 pulgadas (15 cm) buscando mitigar el fenómeno de erosión que genera un deterioro acelerado en los pavimentos rígidos y mejorar la capacidad de soporte de la fundación, lo que a su vez representa una disminución del espesor de concreto requerido para satisfacer las solicitudes de diseño.

La Guía de Diseño de Estructuras de Pavimento de la AASHTO presenta un nomograma que permite estimar el módulo de reacción compuesto, asumiendo una subrasante semi-infinita, ver Figura 8. Sin embargo, para el cálculo de este parámetro se requiere estimar el módulo elástico de la subbase granular que servirá como apoyo de las losas de concreto. Para ello, considerando que el material de subbase debe tener como mínimo un CBR de 30% ( $E_{SB}=15.000$  psi) de acuerdo con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), se utiliza el nomograma que se muestra a continuación.



Figura 8. Cálculo del K Combinado.



Fuente: Guía de Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 1993.

En la figura anterior se puede observar un valor de k combinado  $\approx 350$  psi/in (pci), para el sector de intervención.

### 7.2.1.2.2. PERDIDA DE SOPORTE

El valor de LS o pérdida de soporte se considera en el diseño con el objetivo de tener en cuenta la eventual pérdida de material de soporte proveniente de la erosión y/o movimientos diferenciales verticales del suelo. Además, se debe considerar este factor aun cuando se utilicen materiales no erosionables, porque pueden desarrollarse vacíos, reduciendo la vida del pavimento. La guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO recomienda valores de LS de acuerdo con el tipo de material de apoyo como se evidencia en la siguiente tabla.

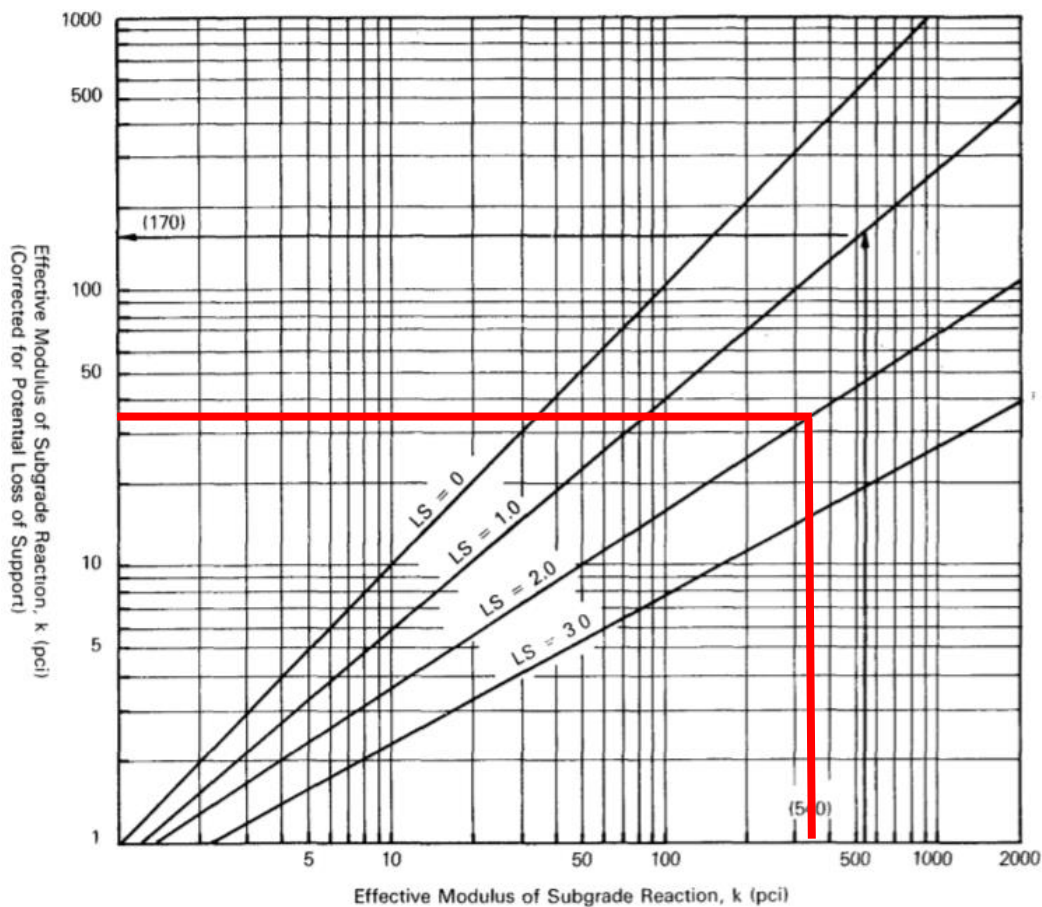
Tabla 7. Perdida de Soporte.

TIPO DE MATERIAL	PERDIDA DE SOPORTE LS
Base granular tratada con cemento	0,0 - 1,0
Mezclas de Agregados con cemento	0,0 - 1,0
Bases tratadas con asfalto	0,0 - 1,0
Mezclas bituminosas estabilizadas	0,0 - 1,0
Estabilizadas con cal	1,0 - 3,0
Materiales granulares sin ligante	<b>1,0 - 3,0</b>
Materiales granulares finos o subrasante natural	2,0 - 3,0



Fuente: Adaptado de la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 1993.

Considerando una estructura de soporte de materiales granulares sin ligante, los valores de perdida de soporte están entre 1,0 y 3,0. En el presente proyecto se utilizará un valor de perdida de soporte de 2,0. En este orden de ideas, el valor de módulo de reacción combinado de 350 pci debe corregirse de acuerdo con la metodología propuesta por la AASHTO utilizando la siguiente figura.

Figura 9. Módulo de reacción efectivo del apoyo corregido por perdida de soporte.



Fuente: Guía de Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 1993.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

El valor de módulo de reacción efectivo del apoyo para el presente proyecto, corregido por pérdida de soporte, es de 35 pci.

### 7.2.1.3. MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO ( $E_c$ ) – MODULO DE ROTURA DEL CONCRETO ( $Sc$ )

Entendiendo que el concreto para la elaboración del proyecto puede ser hecho en obra, y sin la rigurosidad en el control de calidad que un concreto de altas resistencias requiere, el presente estudio asumirá una resistencia a la flexo-tracción o módulo de rotura del concreto hidráulico de 3,8MPa (551,14 psi). Esta resistencia a la flexo-tracción podría ser obtenida con mezclas de hormigón con resistencia a la compresión obtenida según la siguiente ecuación<sup>2</sup>:

$$MR = 2,2 \cdot (f'_c)^{0,5}$$

Donde:

$MR$  = Módulo de Rotura en  $kg/cm^2$ .

$f'_c$  = Resistencia a la compresión del concreto hidráulico en  $kg/cm^2$ .

$$f'_c = 29,8 MPa$$

El módulo de elasticidad del concreto se determina por correlación con la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto.

$$E_c = 15.000 \cdot (f'_c)^{0,5}$$

Donde:

$E_c$  = Modulo de elasticidad del concreto en  $kg/cm^2$ .

$f'_c$  = Resistencia a la compresión del concreto hidráulico en  $kg/cm^2$ .

$$E_c = 3.682.993,9 psi$$

### 7.2.1.4. COEFICIENTE DE DRENAJE ( $C_d$ )

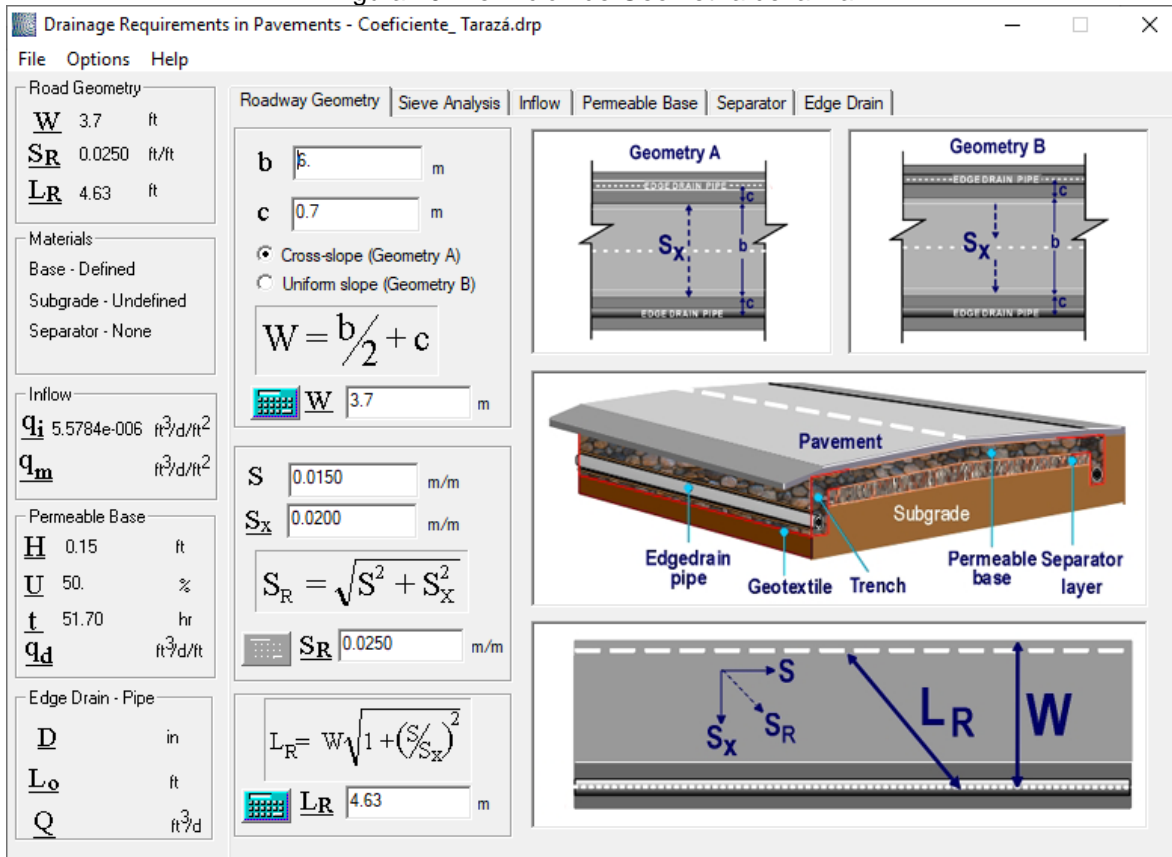
La caracterización de las condiciones de drenaje de una estructura de pavimento representa un elemento fundamental en su etapa de diseño, teniendo en cuenta que esta limita el desempeño del pavimento durante su vida útil. El principal efecto de la infiltración del agua en el pavimento rígido es la remoción del material fino de las capas de soporte, un fenómeno conocido en la literatura técnica como 'bombeo'.

En pavimentos rígidos, la condición de drenaje es representada por medio del valor del Coeficiente de Drenaje ( $C_d$ ). Este parámetro asociado a las capas granulares depende de la calidad del drenaje y del porcentaje de tiempo en el que el material de la estructura va a estar expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación. El valor de  $C_d$  varía de 0,7 a 1,25, donde 0,7 corresponde a malas condiciones de drenaje y 1,25 a excelentes condiciones de drenaje.

<sup>2</sup> Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras – Volumen II – Carlos Hernando Higuera Sandoval

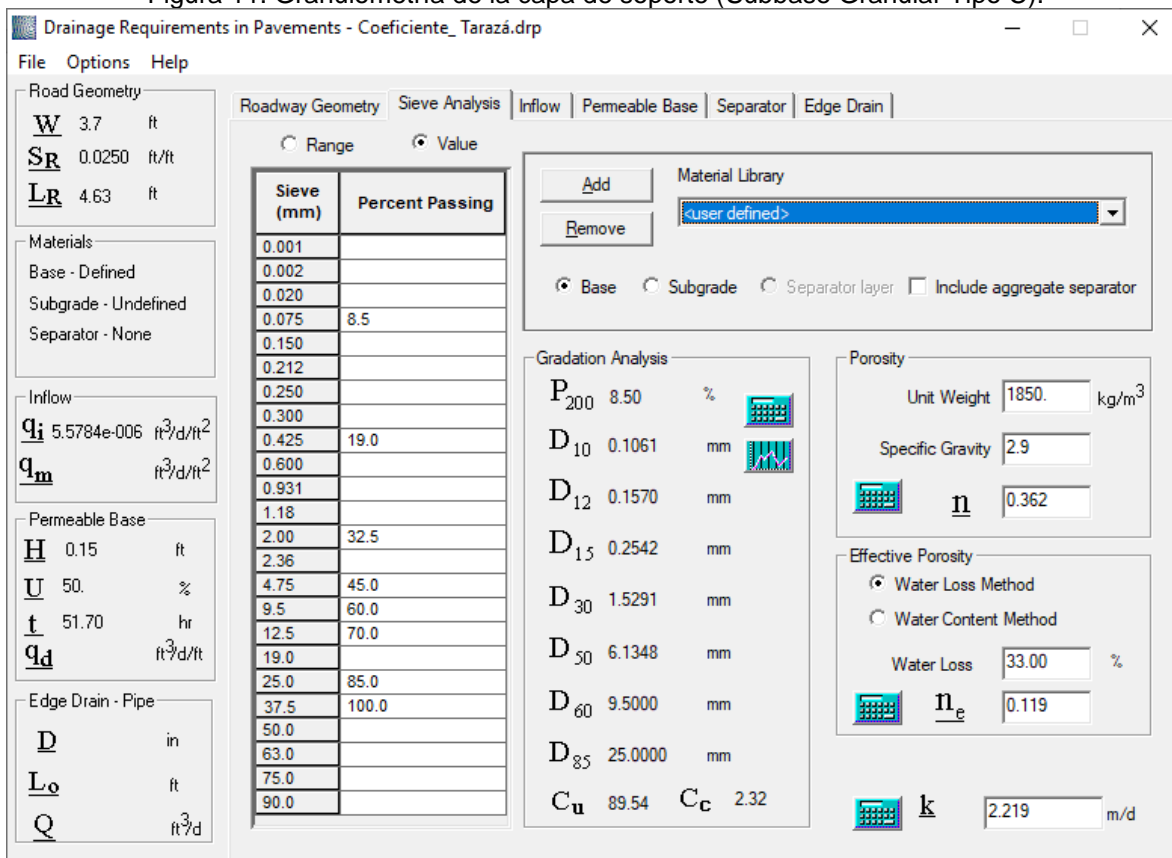
Con ayuda del Software Drainage Requirements In Pavements (*DRIP*), desarrollado por la Federal Highway Administration (FHWA), se definieron las características de drenaje de la zona en estudio.

Figura 10. Definición de Geometría de la vía.



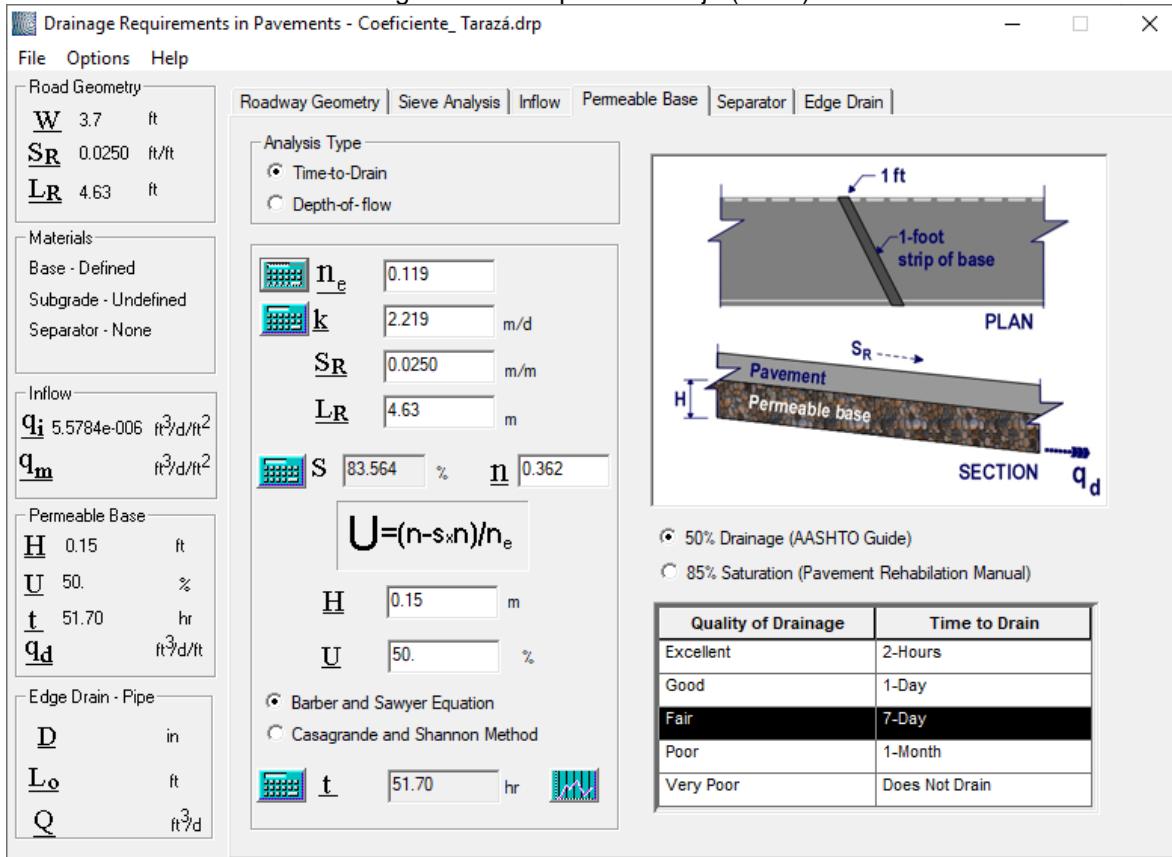
Fuente: Drainage Requirements in Pavements.

Figura 11. Granulometría de la capa de soporte (Subbase Granular Tipo C).



Fuente: Drainage Requirements in Pavements.

Figura 12. Tiempo de drenaje (DRIP).



Fuente: Drainage Requirements in Pavements.

De la modelación, se tiene un tiempo de drenaje de aproximadamente 51,70 horas, que corresponde a una calidad de drenaje aceptable. Adicionalmente, de la sección consideraciones climáticas del presente volumen, se evidencia que en promedio llueven 180 días al año, por lo cual el porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación es del 49,32%. A partir de esta información, se define el valor de  $C_d$  como se presenta en la siguiente figura.

Figura 13. Coeficiente de Drenaje.

Calidad del drenaje		El agua libre se remueve en...	
Excelente		2 horas	
Bueno		1 día	
Aceptable		1 semana	
Pobre		1 mes	
Muy pobre		El agua no drenará	

Calidad del drenaje	% del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a humedades cercanas a la saturación			
	Menos del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 25%
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Aceptable	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Fuente: Software de diseño AASHTO 93 – Luis Ricardo Vásquez

Se adoptará un valor de  $C_d = 0,90$  para el coeficiente de drenaje de las capas granulares de la estructura de pavimento.

### 7.2.1.5. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J)

El coeficiente de transferencia de carga es un parámetro que tiene en cuenta la capacidad del pavimento de concreto para transmitir las cargas a través de las juntas o gritas de las losas, según la metodología propuesta por la AASHTO, este valor depende del tipo de pavimento, el tipo de berma y el tipo de elementos usados para la transmisión de la carga.

Figura 14. Coeficiente de Transferencia de Carga.

Dispositivos de transmisión de carga	Asfáltica		Anclada y de concreto de cemento Pórtland	
	Si	No	Si	No
Pavimento con juntas Concreto simple o concreto reforzado	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Pavimento de concreto continuamente reforzado	2.9 – 3.2	N/A	2.3 – 2.9	N/A

Fuente: Software de diseño AASHTO 93 – Luis Ricardo Vásquez

El coeficiente de transferencia de carga (J) para el presente estudio considera una estructura de pavimento con juntas en concreto simple confinada por una berma de concreto de cemento portland y con dovelas para la transmisión de cargas, adoptando con ello un valor de 2,8.

### 7.2.1.6. TRÁNSITO – NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TONELADAS (W<sub>18</sub>)

Para la selección del tránsito de diseño se usaron las consideraciones del Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS, con base en el tipo de vía que se tiene (Vía Terciaria- Vt) el **tránsito de diseño** se puede clasificar como **categoría T<sub>0</sub>**, es decir, TPDs entre 0 y 200, y ejes acumulados de 8,2 toneladas <1.000.000. Desde un enfoque conservador, para el diseño de la estructura de pavimento, se recomienda usar 1.000.000 de ejes equivalentes de 8,2 toneladas.

### 7.2.1.7. SERVICIABILIDAD

La serviciabilidad, como se describió en secciones previas, representa la habilidad de un pavimento para servir al tránsito. Para efecto del diseño de pavimento rígido, entendiendo las complejidades de la zona del proyecto, se considerará una serviciabilidad inicial ( $P_i=4,5$ ) y una serviciabilidad terminal ( $P_t=2,0$ ), lo que corresponde a una pérdida de serviciabilidad de ( $\Delta PSI=2,5$ ).

### 7.2.1.8. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S<sub>o</sub>)

De acuerdo con el criterio definido en la guía AASHTO 93, que se presenta en la siguiente tabla, se definió el valor de desviación estándar para el diseño.

Tabla 8. Desviación Estándar.

CONDICIÓN	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
	PAVIMENTO RÍGIDO	PAVIMENTO FLEXIBLE
Casos en los que la variación en el tráfico futuro no es considerada	0,34	0,44
Casos en los que la variación en el tráfico futuro es considerada	<b>0,39</b>	0,49

Fuente: Adaptado de la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 1993.

Específicamente, se adoptará un valor de S<sub>o</sub> de 0,39.

### 7.2.1.9. CONFIABILIDAD (R) – COEFICIENTE DE DESVIACIÓN (Z<sub>r</sub>)

Dependiendo de la clasificación funcional de la vía, la guía AASHTO recomienda los niveles de confiabilidad que se presentan en la Tabla 9.





 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

Tabla 9. Niveles de Confiabilidad Sugeridos.

TIPO DE CAMINO	CONFIABILIDAD RECOMENDADA	
	ZONA URBANA	ZONA RURAL
Rutas interestatales y Autopistas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 - 80	<b>50-80</b>

Fuente: Adaptado de la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 1993.

Es importante recordar que el corredor en estudio corresponde a una vía terciaria que puede ser categorizada como local dentro de un entorno rural. Por esta razón, adoptando un criterio conservador dentro del rango de confiabilidad sugerido por la AASHTO (50% - 80%), se adoptó un nivel de confianza del 80% con un coeficiente de desviación estándar asociado  $Z_r$  de 0,841.

## 7.2.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

### 7.2.2.1. ESPESORES DE DISEÑO

Una vez definidos cada uno de los parámetros de diseño requeridos por la metodología, se procede al cálculo de los correspondientes espesores de diseño (ver anexo hoja de cálculos), tal como se presenta en la Tabla 10.

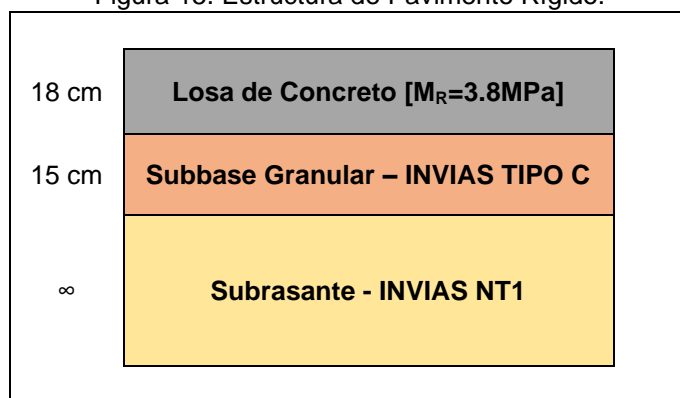
Tabla 10. Diseño de Pavimento Rígido – Método AASHTO 93.

ECUACIÓN AASHTO - 93 [PAVIMENTO RÍGIDO]		
PARÁMETROS DE DISEÑO		
Número de Ejes Equivalentes de 8.2 ton ( $W_{18}$ )	<b>1.000.000</b>	
Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ )	4,5	
Serviciabilidad Final ( $P_f$ )	2,0	
Coeficiente de Transferencia de Carga ( $J$ )	2,8	
Coeficiente de Drenaje ( $C_d$ )	0,90	
Modulo Elástico Del Concreto Hidráulico ( $E_c$ ) [psi]	3.682.993,9	
Módulo De Ruptura Del Concreto Hidráulico ( $S'_c$ ) [psi]	551,1	
Módulo de Reacción del Soporte ( $k$ ) [pci]	35	
Confiabilidad (%)	80	
Desviación Estándar ( $S_o$ )	0,39	
ESPESORES DE DISEÑO		
Concreto Hidráulico	<b>7,4</b> in	<b>18,5</b> cm
Subbase Granular	<b>6,0</b> in	<b>15,0</b> cm

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, considerando que la selección del tránsito fue conservadora y que por la ruta de estudio se espera que circulen <1.000.000 de ejes equivalentes se decide trabajar con un espesor de losa de concreto de 7,2 pulgadas (18 cm). Para dicho espesor los ejes equivalentes de diseño serían 814.319. La Figura 15 presenta un esquema de la estructura de pavimento de concreto hidráulico diseñada por la metodología de AASHTO 93. En este caso se propone la placa de concreto hidráulico con 18 cm de espesor, con una resistencia a la compresión de 28 MPa, con juntas transversales y una junta longitudinal en el centro de la calzada de acuerdo con el ancho de vía. Se tendrá una capa de subbase granular de 15 cm de espesor, cumpliendo con todas las características exigidas por el INVIAS.

Figura 15. Estructura de Pavimento Rígido.



Fuente: Elaboración Propia.

### 7.2.3. GEOMETRÍA DE LAS LOSAS

En general, el espaciamiento de las juntas transversales y longitudinales depende de las condiciones locales de los materiales y el clima. En este sentido, la modulación de las losas debe satisfacer los siguientes criterios:

*De acuerdo con la guía AASHTO*

- El espaciamiento entre juntas (en pies) no debe exceder dos veces el espesor de la losa (en pulgadas).
- La relación Largo / Ancho de la losa no debe exceder el valor de 1,25.

*De acuerdo con el Manual de Diseño del INVIAS*

- Las losas deben ser lo más cuadradas posible para garantizar un mejor comportamiento estructural y su relación Largo/Ancho oscile en el rango de 1 a 1,3.

*De acuerdo con la guía de diseño de juntas de la PCA*

- El espaciamiento entre juntas no debe ser mayor a 20 pies (6 metros).

Atendiendo a los criterios mencionados anteriormente, considerando que la vía tiene un ancho disponible de 6 m distribuidos en dos sentidos de circulación, se propone una modulación de losas de Ancho = 3 m y Largo = 3,6 m. De esta forma se garantiza una relación Largo/Ancho de 1,2 que satisface las recomendaciones de las principales guías de diseño de estructuras de pavimento rígido.

#### 7.2.4. JUNTAS, BARRAS DE ANCLAJE Y PASADORES

En este proyecto se considerará el uso de dovelas para garantizar una adecuada transferencia de carga y la disminución de los esfuerzos y deflexiones en las juntas de las losas de concreto hidráulico que componen la estructura de pavimento. Estas barras se colocarán en la mitad del espesor de la losa como se evidencia en la Figura 16 y deberán permitir los desplazamientos relativos de la losa por efecto de expansión o contracción del concreto.

El Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto del INVIAS brinda las recomendaciones de la Tabla 11 para la selección apropiada de los pasadores de carga.

Tabla 11. Recomendaciones para la Selección de los Pasadores de Carga.

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada		
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	3/4	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 - 200	25	1	350	300
210 - 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 1/4	450	300
260 - 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

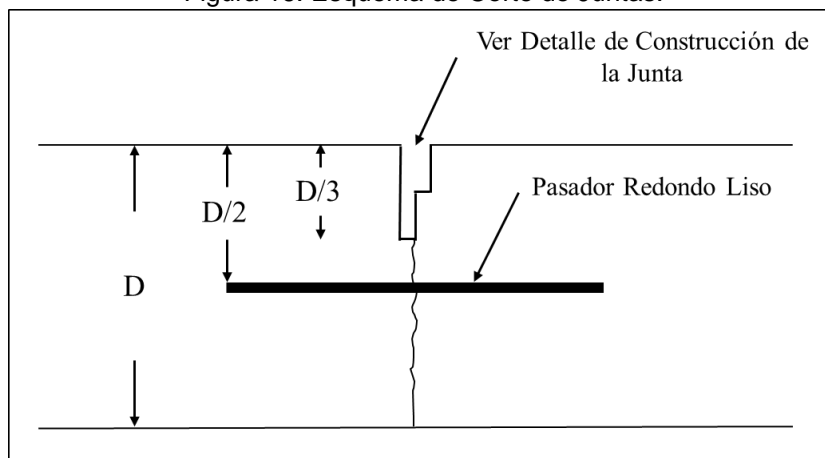
Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto, INVIAS.

Considerando un espesor de pavimento propuesto de 18 cm, se requiere el uso de pasadores de carga con diámetro de 7/8 de pulgada (22 mm), longitud de 35 cm y separación entre centros de 30 cm.

Por otra parte, se utilizarán barras de amarre en las juntas longitudinales del pavimento para controlar los deslizamientos de las losas de un carril respecto a las del carril adyacente. Teniendo en cuenta las recomendaciones del proyecto tipo para pavimento rígido del Departamento Nacional de Planeación (DNP) se proponen barras de anclaje de 1/2 de pulgada con una longitud de 85 cm separadas entre si cada 1,20 m.

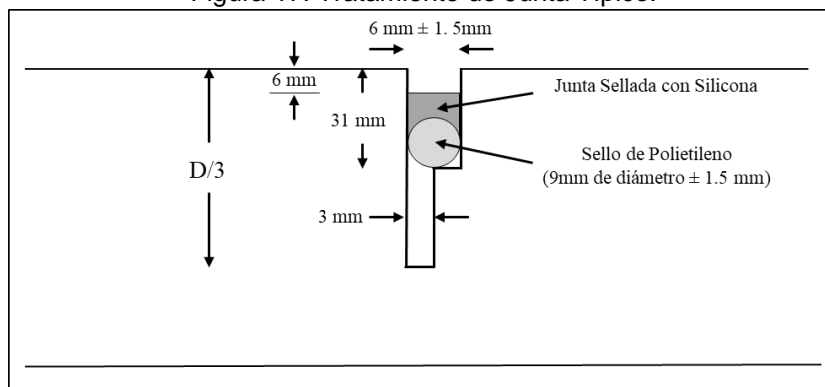
Finalmente, se presentan esquemas de los cortes y el tratamiento típico a realizar en las juntas de la estructura de pavimento.

Figura 16. Esquema de Corte de Juntas.



Fuente: Adaptado INVIAS.

Figura 17. Tratamiento de Junta Típico.





Fuente: Adaptado Guía AASHTO 1993.

### 7.2.5. REFUERZO DE LAS LOSAS

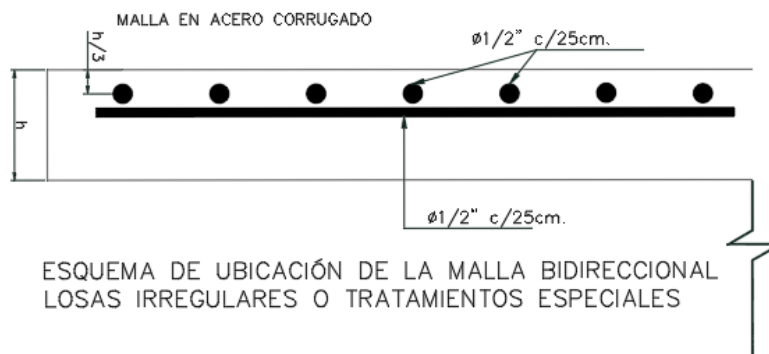
En general, se requerirá la colocación de, al menos, una parrilla de refuerzo en las losas que tengan las siguientes características:

- Longitud de la losa (mayor dimensión en planta) superior a 24 veces el espesor de esta;
- Losas con relación largo/ancho mayor que 1,4;
- Losas de forma irregular (diferentes de la rectangular o cuadrada);
- Losas con aberturas en su interior para acomodar elementos tales como pozos de inspección o sumideros.
- Losas en las cuales no coinciden las juntas con las losas adyacentes.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTF. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

El acero de refuerzo de las losas estará constituido por barras corrugadas con límite de fluencia ( $f_y$ ) de 420 MPa, diámetro  $\frac{1}{2}$  de pulgada y separadas entre si 25cm.

Figura 18. Esquema de Refuerzo de Losas.



Fuente: Adaptado Guía AASHTO 1993.

Teniendo en cuenta la modulación de las losas realizada para cada acceso vial (ver anexo de modulación de losas), se evaluó la geometría de estas y se determinó que existen losas irregulares, ubicadas antes y después del puente por construir. El detalle de las mallas de refuerzo a utilizar se puede ver en los planos anexos de refuerzo de losas irregulares.



### 7.3. PAVIMENTO EN ESTRUCTURA DEL PUENTE

El puente en si mismo una estructura autoportante en el aspecto de las cargas vehiculares, en rigor su superficie podría considerarse como un pavimento rígido; dado a que por situaciones de deflexiones propias de este tipo de estructuras se recomienda utilizar solo a nivel de rodadura, no como elemento estructural, una capa de mezcla densa en caliente de pavimento asfáltico, con espesor no mayor a 5cm, para no incrementar pesos innecesarios a la estructura. Esta mezcla, dado su espesor será de MDC-10.

### 7.4. FUENTES DE MATERIALES Y BOTADEROS

Para garantizar los insumos necesarios para la ejecución de las labores del proyecto, se cuenta con las siguientes fuentes de materiales certificadas:

- Cantera Conambien S.A.S. ubicada en el corregimiento las Malvinas Hacienda el Asombro vía Caucasia Zaragoza, en el kilómetro 2 de Caucasia, Antioquia y a 80 km del proyecto de interés. En esta se cuenta con disponibilidad de los siguientes productos:
  - Triturado o grava tamaños  $\frac{1}{2}$ " ,  $\frac{3}{4}$ " , 1" y  $\frac{3}{8}$ " .

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTF. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

- Gravilla fina, mediana y gruesa.
- Arena de caliza lavada.
- Balasto para afirmados.
- Bases y Subbases granulares INVIAS.
- Piedra para gavión.
- Piedra tipo rajón.
- Concreteira Inversiones Concrenorte SAS ubicada en el municipio de Montería, Córdoba a 191 km de la zona del proyecto.

Por otra parte, considerando que el proyecto en estudio comprende el mejoramiento de una vía existente, no se requerirán movimientos de tierra en cantidades significativas. Sin embargo, se podrá disponer de materiales sobrantes de excavación en una escombrera certificada por el municipio.

## 7.5. CANTIDADES DE OBRA

En esta sección se describe la metodología y los resultados para el cálculo de las cantidades de obra asociados a las actividades de construcción del proyecto. Lo anterior, con base al diseño de la estructura de pavimento para los accesos o losas de aproximación al puente y los ítems de obra identificados.



En particular, el procedimiento consistió en la identificación de ítems de pago y el cálculo de cantidades de obra. Para la elaboración del cuadro resumen de cantidades se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- El número y descripción del ítem de pago corresponden a los definidos en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVIAS.
- En el caso de “Especificaciones Particulares”, se utilizará el número de la especificación general seguido de la letra P.
- El cálculo de las cantidades de obra fue realizado con base en la sección transversal diseñada en la sesión 8.2.2.1.

A continuación, se presenta el resumen de cantidades de obra.

Tabla 12. Cantidades de Obra Pavimento Rígido (Periodo de Diseño: 20 años).

No.	ÍTEM	ESPECIFICACIONES		ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD
		GENERAL 2013	PARTICULAR			
<b>II - AFIRMADOS, SUB BASE Y BASES.</b>						
1	320.3	320-13		SUB-BASE GRANULAR	m <sup>3</sup>	227,91
<b>PAVIMENTO EN CONCRETO ASFALTICO</b>						
1	450.3	450.13		MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-10	m <sup>3</sup>	10.5
2	420.2	420.13		RIEGO DE IMPRIMACION CON EMULSION ASFALTICA CRL-1	m <sup>2</sup>	210
<b>III-PAVIMENTOS DE CONCRETO</b>						
2	500.1	500-13		PAVIMENTO EN CONCRETO HIDRÁULICO MR=3.8 MPa	m <sup>3</sup>	231,12
3	640.1	640-13		ACERO DE REFUERZO FY 420 MPA	kg	59,18

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

## 7.6. MANTENIMIENTO VIAL

El Mantenimiento se define como la conservación de una cosa en buen estado o en una situación determinada para evitar su degradación. En el caso de las vías se establecen tres niveles de mantenimiento:

- **El mantenimiento rutinario** comprende todas aquellas actividades requeridas para conservar una vía de regular a buen estado, las cuales se repiten una o más veces al año. También, incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar elementos menores dañados, deteriorados o destruidos, tal como los barandales de puentes, obras de drenaje menores, señalización vertical y horizontal, muros de retención y actividades afines.
- **El mantenimiento periódico** abarca las obras de conservación vial que se repiten en períodos de más de un año para elevar la vía a un nivel de servicio de regular a buen estado. En este tipo de mantenimientos se incluye la colocación de sobrecapas/sobrecarpetas en pavimentos existentes en alto grado de deterioro.
- **El mantenimiento preventivo** consiste en actividades y obras de mantenimiento destinadas a prevenir fallas en la vía antes de su ocurrencia.

En un sentido amplio las acciones de mantenimiento tratan de preservar el patrimonio vial y evitar situaciones que pueden inducir, en forma progresiva, a varias acciones: pérdida de serviciabilidad vial, accidentabilidad, deterioro prematuro de las obras y situaciones de riesgo para los usuarios.

### 7.6.1. MANTENIMIENTO PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO

En una estructura de pavimento rígido, con el objetivo de garantizar niveles adecuados de serviciabilidad en la vía (comodidad y seguridad al usuario), durante su vida útil, se considerarán las siguientes actividades de mantenimiento:

- Resellado de juntas y/o grietas



A continuación, se describe detalladamente la actividad mencionada.

#### 7.6.1.1. RESELLADO DE JUNTAS Y/O GRIETAS

Se considera que de un buen sellado de juntas depende la vida de un pavimento de concreto, razón por la cual las normas exigen este proceso tanto en la construcción como en el mantenimiento.

#### **Descripción:**

Las juntas son parte importante de los pavimentos de concreto y se hacen con el fin de controlar los esfuerzos que se presentan en el concreto como consecuencia de

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

los movimientos de contracción y de dilatación del material y a los cambios de temperatura y humedad, entre la cara superficial y la de soporte de las losas de concreto. El sellado de las juntas persigue fundamentalmente:

- Minimizar la infiltración del agua superficial, puesto que esta ablanda la base y propicia el bombeo (salida de finos a través de la junta) con lo que la losa pierde apoyo, corriéndose el riesgo de su rotura.
- Evitar la entrada de materiales duros e incompresibles a la junta, que pueden desportillar los bordes y permitir daños mayores al dilatarse las losas.
- Disminuir la corrosión de los pasadores de las losas del pavimento evitando la entrada de humedad a través de las juntas.

Las juntas que se deben someter al proceso de resellado son aquellas, en las que no se dan movimientos verticales grandes entre las losas que forman la junta. Antes de resellar las juntas se deben clasificar en función del ancho que ellas presenten según su ancho, como se indica a continuación:

- Juntas con ancho hasta de 12 mm.
- Juntas con ancho entre 12 mm y 20 mm.
- Juntas con ancho entre 20 mm y 30 mm.
- Grietas con ancho entre 3 mm y 30 mm.
- Juntas y grietas con ancho superior a 30 mm.
- Juntas longitudinales de cualquier ancho.



***Materiales:***

El material para el sello debe cumplir con lo mencionado particularmente en el Artículo I.N.V. 500-13 o con las del productor, en caso de que no estén cubiertas por el INVIAS, siempre y cuando tengan el visto bueno del interventor.

Después de agrupar las juntas y fisuras según el ancho y la dirección, se escoge el material de sello siguiendo las siguientes recomendaciones:

- Juntas con ancho hasta de 12 mm: Los productos recomendados son aquellos que con una deformación admisible entre el 20% y el 30%, cumplan con los requisitos establecidos en las normas correspondientes. Los imprimantes y cordones de respaldo serán los adecuados y compatibles con el sellador.
- Juntas con ancho entre 12 mm y 20 mm: Para sellar estas juntas, los productos recomendados son los del tipo termoplástico, aplicados en caliente, que tengan una deformación admisible entre el 10% y el 20% y que cumplan con las normas correspondientes.
- Juntas con ancho entre 20 mm y 30 mm, Grietas con ancho entre 3 mm y 30 mm y Juntas longitudinales de cualquier ancho: Los productos recomendados son del tipo masillas asfálticas, modificadas con polímero, que tengan las siguientes



 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTF. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	



características: Penetración, 25°C, 100g, 5s, 101mm: máx.60; Ductilidad, 0°C, mm: mín.20; Filler, porcentaje en peso: máx.25; Punto Ablandamiento, °C: mín.58

- Juntas y grietas con ancho superior a 30 mm: En estos casos se recomienda usar una mezcla de arena-emulsión asfáltica, con una dosis mínima de 18% de emulsión.

### **Procedimiento de ejecución:**

La operación de sellado de las juntas implica los siguientes procesos:

- Limpieza: Las juntas y grietas que contengan restos de sellos antiguos o materiales extraños, se limpian con cuidado en toda su extensión y profundidad, con la ayuda de hojas de sierra, herramientas manuales u otros equipos adecuados, que permitan remover el sello, o relleno antiguo, sin afectar al concreto. La limpieza se termina soplando la junta con aire comprimido, libre de aceite, con una presión mínima de 120 psi, que elimine todo vestigio de material contaminante, incluso el polvo.
- Imprimación: Cuando se especifican materiales para imprimir, se debe tener cuidado, que se produzca la adherencia pedida entre el producto usado para sellar y las paredes de las juntas o grietas.
- Sellado de juntas con ancho hasta de 12 mm: En las juntas que no tengan la caja para alojar el material de sello, se les debe formar cortando el concreto de manera que se forme la caja, con un ancho de 8 mm a 12 mm y con una profundidad entre 22 y 35 mm, según el tipo de sellador y respaldo por emplear, el cual se debe ajustar a lo recomendado por el fabricante del material sellador y ser ligeramente más ancho que la junta de manera que ajuste bien.
- Sellado de juntas con ancho entre 12 mm y 20 mm: Para estas juntas se seguirá un procedimiento similar al descrito para las juntas de hasta 12 mm de ancho, salvo que el ancho de la caja será de hasta 20 mm, y su profundidad la necesaria para insertar el cordón de respaldo. Las juntas clasificadas en este grupo se sellan con productos termoplásticos que se meten en la junta a una profundidad de 14 mm o más y con un espacio libre entre las superficies del sello y de la losa, de mínimo 4 mm. El imprimante se deberá ajustar a las recomendaciones del fabricante del sellador.
- Sellado de juntas con ancho entre 20 mm y 30 mm: Las juntas con ancho entre 20 mm y 30 mm se limpian según lo ya mencionado y se sellan con productos del tipo masilla asfáltica. La profundidad del sello será como mínimo de 15 mm, debiendo quedar entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.
- Sellado de grietas con ancho entre 3 mm y 30 mm: Se limpian de acuerdo con lo especificado anteriormente y luego se biselan los bordes mediante equipo esmerilador u otro aprobado, para formar una cavidad con un ancho mínimo de 6 mm. Estas grietas se sellarán con productos tipo masilla asfáltica. El espesor

 <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p>	<p>DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO</p>		 <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019 NIT. No. 901.283.823-6</p>
	<p>Contrato: SC 01521 19</p>	<p>Fecha: dic. 2019</p>	



del material sellador será como mínimo de 15 mm, cualquiera que sea el ancho superficial de la grieta, y deberá quedar entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

- Sellado de juntas y grietas con ancho superior a 30 mm: Después de hacer la limpieza de las juntas y grietas se procede a sellarlas con una mezcla de arena-emulsión asfáltica, siempre que el ancho promedio no exceda los 100 mm, en cuyo caso, el sellado se hace con una mezcla en caliente. En ambos casos el espesor del material sellador será como mínimo 20 mm. El relleno deberá quedar de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento. Las paredes de las juntas y grietas se deberán imprimir con emulsión asfáltica diluida en agua por partes iguales. Se imprime por jornada la longitud que se alcance a sellar en un día de trabajo.
- Sellado de las juntas longitudinales con cualquier ancho: Las juntas longitudinales se limpian según lo descrito anteriormente, y se sellan con productos tipo masilla asfáltica que se ajusten a los requisitos ya estipulados
- Preparación de las mezclas de sellado: Salvo que las instrucciones del fabricante de un determinado producto indiquen otra cosa, o cuando se utilice un imprimante con base en emulsiones asfálticas, las juntas y grietas deberán estar secas antes de comenzar el sellado, el cual se recomienda que se haga con una temperatura entre 5°C y 30°C. La preparación del producto de sellado se hace buscando que se obtenga un material homogéneo y con características estables. La manera de mezclar y homogenizar los productos de sellado son objeto de recomendaciones y especificaciones, que se deben consultar con los proveedores de los productos o con las autoridades pertinentes, antes de emprender las labores de reparación de las juntas.

***Frecuencia:***

La primera actividad de mantenimiento suele realizarse después de 2-5 años de vida útil.

Mientras la vía está en funcionamiento se deberán realizar los trabajos de limpieza, conservación, reparación y reconstrucción del pavimento que sean necesarios para mantener la condición de la vía en buen estado. La frecuencia de las intervenciones y las cantidades de obra a ejecutar podrán variar de acuerdo con las circunstancias climáticas y otras características, pero siempre deberán cumplir con las especificaciones y parámetros técnicos exigidos.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL</b> 2019 <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente informe se desarrollaron los aspectos asociados al diseño de la estructura de pavimento para la intervención de los accesos o losas de aproximación al puente vehicular sobre la quebrada Urales en el municipio de Tarazá, departamento de Antioquia. Se desarrolló a nivel de detalle la alternativa de solución estructural con pavimento rígido, utilizando la metodología propuesta por la Guía para el diseño de estructuras de pavimentos de la AASHTO 1993.

Los parámetros de diseño considerados fueron:

- **Periodo de Diseño:** 20 años.
- **CBR de Diseño:** Se adoptó un CBR representativo de diseño de 4,35%, lo cual cumple con los requerimientos mínimos de suelos para subrasante, es decir,  $CBR \geq 3\%$ .
- **Modulo Resiliente:**  $458,27 \frac{kg}{cm^2}$  (6.546,72 *psi*).
- **Subbase Granular Tipo C:** 15 cm para mitigar el fenómeno de erosión y mejorar la capacidad de soporte de la subrasante, lo que a su vez representa una disminución en el espesor (D) de losa de concreto.
- **Módulo de Reacción Efectivo del Soporte (k):** 35 *pci*.
- **Módulo de elasticidad del concreto:** 3.682.993,9 *psi*
- **Coefficiente de Drenaje (C<sub>d</sub>):** De modelación de software DRIP se tiene tiempo de drenaje aproximadamente 51,70 h (drenaje aceptable) y porcentaje del tiempo de exposición a niveles de humedad próximos a la saturación 49, 32%. Por lo tanto,  $C_d = 0,90$ .
- **Coefficiente de Transferencia de Carga (J):** Se consideró una estructura de pavimento con juntas en concreto simple confinada por una berma de concreto de cemento portland y con dovelas para la transmisión de cargas, adoptando con ello un valor de 2,8.
- **Tránsito de Diseño:** Para la selección del tránsito de diseño se usaron las consideraciones del Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS. Desde un enfoque conservador, para el diseño de la estructura de pavimento, se recomienda usar 1.000.000 de ejes equivalentes de 8,2 toneladas.
- **Serviciabilidad:** Se consideró una serviciabilidad inicial ( $P_i=4,5$ ) y una serviciabilidad terminal ( $P_t=2,0$ ), lo que corresponde a una pérdida de serviciabilidad de ( $\Delta PSI=2,5$ ).
- **Desviación Estándar (S<sub>o</sub>):** Casos en los que la variación en el tráfico futuro es considerada,  $S_o$  de 0,39.
- **Confiabilidad (R) y Coeficiente de Desviación (Z<sub>r</sub>):** Se adoptó un nivel de confianza del 80% con un coeficiente de desviación estándar asociado  $Z_r$  de 0,841.

Además, se contrastaron las especificaciones del manual de diseño del INVIAS, la guía AASHTO 93, la guía de diseño de juntas de la Portland Cement Association (PCA) y proyecto tipo de pavimento rígido del DNP para la modulación de las losas de pavimento y las propiedades de las barras de acero requeridas para la distribución de carga y la estabilidad de la estructura.

Para ambos tramos de acceso se consideraron los mismos parámetros de diseño. Por lo cual, los aspectos más relevantes, que se presentan a continuación, aplican para los 2 tramos por pavimentar. La estructura propuesta consiste en:

Figura 19. Solución Estructural Recomendada



Concreto Hidraulico	18 cm
Subbase Granular	15 cm
Subrasante	∞

Fuente: Elaboración Propia.

- 18 cm de concreto hidráulico  $M_R$  3,8 MPa
- 15 cm de subbase granular tipo C.
- Losas de concreto de 3 m de ancho y 3,6 m de largo.
- Dovelas o pasadores de carga de 7/8 de pulgada (22 mm), longitud de 35 cm y separación entre centros de 30 cm.
- Barras de amarre de 1/2 de pulgada (12,7 mm), longitud de 85 cm y separadas entre si cada 1,20 m.
- Losas reforzadas; para losas irregulares antes y después del puente por construir se usarán mallas de refuerzo de barras de acero corrugado 1/2 de pulgada (12,7 mm), separadas entre si cada 0,25m en sentido longitudinal y transversal.

Para la superficie de rodadura del puente se propone una capa de mezcla densa en caliente tipo INVIAS MDC-10, en un espesor de 5cm.

Por otra parte, se estimaron las cantidades de obra para el diseño propuesto, y se definió un plan de mantenimiento para prolongar la vida útil de la vía bajo niveles satisfactorios de serviciabilidad. Es importante mencionar que, sin importar la metodología seleccionada, para la selección de los materiales y la definición de las estructuras de diseño, se atendieron los lineamientos definidos en los manuales de diseño, y las especificaciones técnicas y normas de ensayo del INVIAS. Finalmente, a modo de recomendación, se debe realizar un adecuado control de calidad siguiendo las especificaciones técnicas definidas por el INVIAS para garantizar que la obra, una vez construida, cumpla con los requerimientos del diseño, especialmente la garantía de ofrecer un buen servicio a los usuarios durante su vida útil.

 <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p>	<p>DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO</p>		 <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019 NIT: No. 901.283.823-6</p>
	<p>Contrato: SC 01521 19</p>	<p>Fecha: dic. 2019</p>	

## 9. REFERENCIAS

AASHTO (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*.

HUANG, Y H. (1993). *Pavement Analysis and Design*.

IDEAM. Clasificación Climática Caldas – Lang Departamento de Bolívar.

INVIAS (2007). *Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito*.

INVIAS (2008). *Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías de Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito*.

INVIAS (2012). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*.

INVIAS (2012). *Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras*.



INVIAS (2017). *Cartilla Guía para la Evaluación de Cantidades y Ejecución de Presupuestos para la Construcción de Obras de la Red Terciaria y Férrea*.

NCHRP 1-37A (2002). *Mechanistic-Empirical Design of New & Rehabilitated Pavement Structures*.

PCA (1984). *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*.

PCA (1975). *Joint Design for Concrete Highway and Street Pavements*.

Shell (1985). *Shell Pavement Design Manual – Asphalt Pavements and Overlay for Road Traffic*. Shell International Petroleum, London.

 <p><b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio</p>	<p>DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO</p>	 <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019 NIT: No. 901.283.823-6</p>	
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	Versión: 01

## **10. ANEXOS**

### **10.1. PLANOS**

#### **10.1.1. MODULACIÓN DE LOSAS**



Ver Carpeta de Anexos – Pavimentos – Archivo “MOD-LOSAS.pdf” – Plano MOD-LOSAS – 1/1

#### **10.1.2. REFUERZO DE LOSAS**

Ver Carpeta de Anexos – Pavimentos – Archivo “REF-LOSAS.pdf” – Plano REF – LOSAS 1/1

### **10.2. HOJA DE CÁLCULO AASHTO-93**

Ver Carpeta de Anexos – Pavimentos – Archivo “Ecuación\_AASHTO93.xlsm”

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

### 10.3. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

#### DATOS INICIALES

Datos iniciales

Fecha	Octubre de 2019
Cliente	ART
Proyecto	Vías Terciarias
Tipo de obra	Varias
Resistencia 28 días	140 kg/cm <sup>2</sup> , 175 kg/cm <sup>2</sup> , 210 kg/cm <sup>2</sup> , 280 kg/cm <sup>2</sup> , 310 kg/cm <sup>2</sup> .
Equipos para elaboración	Mezcladora manual de capacidad para 1.0 bultos de cemento.
Curado	Riego manual por hidratación.
Condiciones de exposición	Clima cálido, lluviosos a húmedo. Al aire
Condiciones de control de calidad	Regular (en campo no premezclado)

#### CARACTERÍSTICA MINERALÓGICA DE LOS MATERIALES



Los materiales corresponden a los de la cuenca de Rio de la región, que pertenecen a rocas de del Cretácea y más específicamente a la formación Penderisco y Barroso “El triturado... Se observan fragmentos planos y alargados provenientes de limolitas silíceas y chert y fragmentos con esfericidad media, originados por rocas de origen volcánico (basaltos, diabasas y granodioritas). Los principales componentes del material triturado son: granodiorita, cuarcita blanca, basaltos, diabasa, chert gris y negro, limolita pizarrosa<sup>3</sup>

#### ENSAYOS SOBRE LOS AGREGADOS MINERALES

Los materiales minerales corresponden a arenas y gravas del Rio de la región, cuyas características se resumen a continuación.

---

<sup>3</sup> Informe de Geología Fuente de Material Rio Tapias. Geog. Edilson Pareja H. Marzo/09

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

#### Característica de los agregados

Característica	Unidad	Agregado grueso	Agregado fino	Agregado Combinado
Densidad compacta	kg/m <sup>3</sup>	1,797.00	1,841.00	
Densidad suelta	kg/m <sup>3</sup>	1,590.00	1,664.00	
Peso específico SSS	kg/m <sup>3</sup>	2,708.00	2,667.00	
Peso específico aparente	kg/m <sup>3</sup>	2,753.00	2,731.00	
Absorción	%	1.00	1.40	
Equivalente de arena	%		66.75	
Desgaste	%	32.40		
Perdida de solidez en sulfato de sodio	%	4.40	6.44	

Se anexan ensayos de sanidad sobre los agregados minerales.

#### COMITÉS ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE) Y/O INVIAS:

Norma ASTM	Título de norma
ACI 211.1-91	“Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) Reapproved 1997 (Práctica estándar para la selección de proporciones para concreto normal, pesado y masivo)
ACI-318-02	“Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-02) and Commentary (ACI 318R-02)” (Código de requerimientos de Construcción para Concreto Estructural (ACI 318-02) y sus comentarios (ACI 318R-02)
ACI-214-77	“Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI 214-77), Reapproved 1997” (Práctica recomendada para la evaluación de resultados de esfuerzo de pruebas del concreto (ACI 214-77) re-aprobado 1997)
ACI-301-99	“Specifications for Structural Concrete” (Especificaciones para concreto estructural)
INVIAS 2013	Especificación Artículo 630 - 13

Nota: Comités ACI provenientes de edición del año 2002



## TÉRMINOS TÉCNICOS

- $f'c$  : Resistencia especificada  
 $f'cr$  ó  $f_m$  : Resistencia requerida (mayor que  $f'c$ )  
 $\sigma$  : Desviación estándar de la muestra

## VARIABILIDAD DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Debido a las condiciones de control de calidad, efecto de la fabricación de la mezcla de hormigón en obra, se debe determinar la resistencia de diseño, de tal manera que probabilísticamente, solo un 5% de los elementos ensayados este con resistencia por debajo de la especificada. La siguiente tabla muestra el valor de la desviación estándar para los diferentes tipos de control de calidad.

Desviación estándar para diferentes controles de calidad en obra

<i><b>TIPO DE CONTROL</b></i>	<i><b>DESVIACION ESTANDAR (<math>\sigma</math>)</b></i>
<i>Muy bueno</i>	<i>0.07 fm</i>
<i>Bueno</i>	<i>0.14 fm</i>
<i>Regular</i>	<i>0.21 fm</i>
<i>Deficiente</i>	<i>0.28 fm</i>

$$\sigma = 0.14 fm$$

La probabilidad que la resistencia de diseño sea superada se determina así:

$$Z = \frac{X - x}{\sigma}$$



Para una certeza del 95%, el valor de Z es igual a 1.65, con lo cual se tiene:

$$f'c = fm - 1.65 \sigma$$

$$f'c = fm - 1.65 \times (0.14 fm)$$

$$f'c = fm - 0.231 fm$$

$$f'c = 0.769 fm$$

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

$$f_m = f'_c / 0.769$$

Por lo tanto, la resistencia de diseño  $f_m$ , se muestra en la siguiente tabla.

Resistencia de diseño y resistencia especificada

Resistencia de mezcla (kg/cm <sup>2</sup> )	
Especificada	Diseño
140	182
175	227
210	273
280	364

En comparación la especificación INVIAS Artículo 630 -13, establece el siguiente rango de resistencia de diseño.

Resistencia de diseño y especificada según INVIAS

Resistencia de mezcla (kg/cm <sup>2</sup> )	
Especificada	Diseño
140	210
175	245
210	295
280	365

Por el carácter del rigor del análisis probabilístico, referenciado en la norma ACI 211.1 -70, se toman los valores de diseño de la tabla de diseño  $f_m$ .

## VALOR DE ASENTAMIENTO

De acuerdo con el tipo de estructura se recomienda utilizar un asentamiento de 5 cm (para estructuras de pavimentos) y compactación vibratoria.



Valores recomendados de asentamiento

Tipo de estructura y técnica de construcción	Asentamiento en cm*	
	Mínimo	Máximo
Hormigón sin armar, ej. elementos de fundación *	2	7-8
Hormigón armado *:	4	10
• Muros armados de fundación y zapatas **	4	8
• Losas, vigas y muros armados **	5	10
• Columnas **	5	10
Pavimentos *	0-2	5
Construcción pesada en masa **	2	5
Elementos prefabricados	0	2
Transporte por grúa y capacho	4-5	6-8
Transporte por canoas (vaciado directo del mixer)	6-8	8-10
Hormigón bombeado	7-8	10-12
Hormigón bajo agua	15	--

(\*) NCh 170 Of.85 Asentamientos de cono para compactación por vibración.  
 En situaciones excepcionales se podrá emplear apisonado manual, en cuyo caso, ambos límites de la tabla se deben aumentar en 4 cm.  
 En los casos que se evite la segregación y se asegure la obtención de un hormigón compacto, mediante el uso de aditivos o de tecnologías especiales de transporte y colocación, se podrán emplear docilidades distintas de las indicadas en la Tabla

(\*\*) Zabaleta: Se puede incrementar en 2 cm., cuando no se utilizan vibradores de alta frecuencia.

En comparación la especificación INVIAS establece los siguientes rangos de asentamiento.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

Asentamientos según artículo 630 -13 INVIAS

TIPO DE TRABAJO	ASENTAMIENTO NOMINAL (mm)	ASENTAMIENTO MÁXIMO (mm)
Elementos contruidos con formaletas, secciones de más de 30 cm de espesor	10-30	50
Elementos contruidos con formaletas, secciones de 30 cm de espesor o menos	10-40	50
Pilas fundidas en sitio	50-80	90
Concreto colocado bajo agua	50-80	90

Para efecto de este diseño y por las condiciones de fabricación en campo, con mediano nivel de control de calidad se adopta un asentamiento de 6 cm.

Dado el valor del asentamiento la metodología permite el vibrado manual o con equipo mecánico, para efecto de obras con formaletas y con refuerzos con exposición a la vista se exige la compactación mecánica.

Equipo de compactación recomendado.

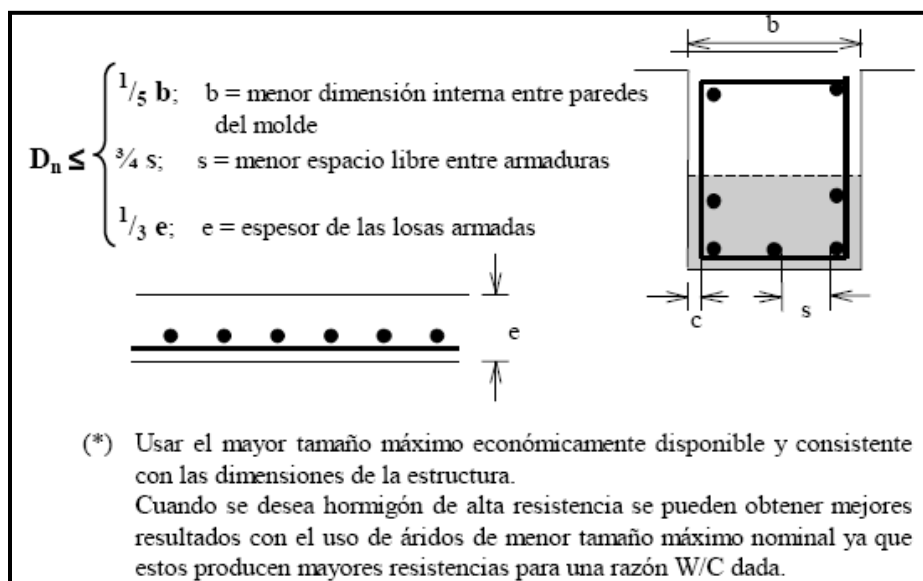
Docilidad	Asentamiento de cono [cm]	Altura máxima de caída [cm]	Equipos *
<b>Seca</b>	< 2	30	Mecánicos de alta potencia
<b>Plástica</b>	3 – 5	30	Mecánicos corrientes, especiales o sus combinaciones
<b>Blanda</b>	6 – 9	50	Manuales, mecánicos corrientes, especiales o sus combinaciones
<b>Fluida</b>	> 10	50	Manuales o especiales

\* Equipos :

- Mecánicos de alta potencia : vibrador externo, pisón mecánico, vibro-compresión, etc.
- Corrientes : vibrador de inmersión, vibrador superficial, etc.
- Especiales : equipos de vacío, de centrifugado, etc.
- Manuales : varillas, martillo goma, macetas, paletas, etc.

## TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

Determinación tamaño máximo nominal



Las obras de pavimentos y cunetas prevista en el diseño son de espesor mínimo de 15cm, la separación de los refuerzos será mínimo de 30cm y los anchos son superiores a 1m; por lo que el tamaño máximo nominal podrá ser hasta 5cm (2pul).

A efecto de este diseño el tamaño máximo (entendido como el que pasa el 100% del tamiz de inmediatamente mayor y retiene máximo 5% en el tamiz subsiguiente o que pase el 100% por el tamiz de referencia y retenga máximo el 10% en el tamiz de malla inferior) es de 19mm (3/4 pul).

## CANTIDAD DE AGUA MÁXIMA EN LA MEZCLA - CONTENIDO AIRE ATRAPADO

De acuerdo con el asentamiento esperado y al tamaño máximo de los agregados se determina la cantidad de agua y el contenido de aire. En este diseño particular el tamaño máximo nominal es de 19mm.

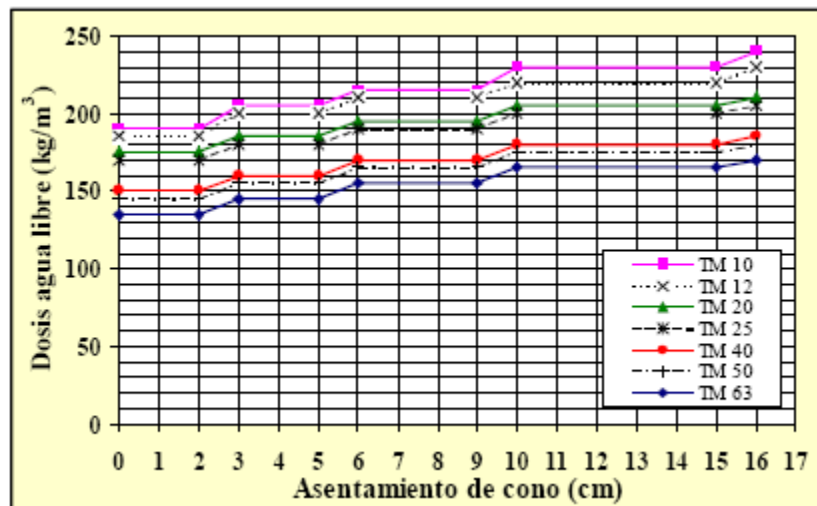
Cantidad de agua en la mezcla (lts)

Tamaño máximo nominal [mm]	Docilidad según descenso de cono [cm]				
	0 - 2	3 - 5	6 - 9	10 - 15	16
63	135	145	155	165	170
50	145	155	165	175	180
40	150	160	170	180	185
25	170	180	190	200	205
20	175	185	195	205	210
12	185	200	210	220	230
10	190	205	215	230	240

**NOTAS:**

- La dosis de agua de amasado estimada tiene que ser ajustada en mezclas de prueba para cumplir con la docilidad requerida para la obra. Para esto, tiene que considerarse los aditivos plastificantes si están especificados, la proporción y la forma de los áridos.
- La dosis de agua de amasado debe ser corregida por el agua absorbida por los áridos ya que en la tabla se consideran en condición sss.
- Los aditivos solubles o líquidos se consideran como parte del agua libre o de amasado.

Relación de agua libre en la mezcla en base al tamaño máximo (TM) y el asentamiento



La cantidad máxima de agua es de 185 lt/m<sup>3</sup> de concreto.

Contenido aire atrapado

<b>Tamaño máximo nominal [mm]</b>	<b>Volumen medio de aire atrapado [m<sup>3</sup>]</b>
63	0,003
50	0,005
40	0,010
25	0,015
20	0,020
12	0,025
10	0,030

y el contenido de aire atrapado es del 2.0%



**VALOR MÁXIMO DE LA RELACIÓN AGUA: CEMENTO.**

El valor máximo de la relación agua/cemento, se determina en base a la resistencia de diseño esperada a los 28 días.

Relación agua – cemento vs resistencia promedio en MPa

<b>Resistencia promedio a compresión a 28 días *</b>		<b>Razón Agua libre/Cemento (en masa)</b>	
<b>MPa</b>	<b>psi</b>	<b>Sin aire incorporado</b>	<b>Con aire incorporado</b>
45	-	0,38	-
42	6000	0,41	-
40	-	0,43	-
35	5000	0,48	0,40
30	-	0,55	0,46
28	4000	0,57	0,48
25	-	0,62	0,53
21	3000	0,68	0,59
20	-	0,70	0,61
15	-	0,80	0,71
14	2000	0,82	0,74

(\*) Medida en cilindros estándar. Valores son para un tamaño máximo del árido de 20 a 25 mm., para hormigón conteniendo no más del porcentaje de aire especificado (2 ó 6%) y para cemento Portland corriente (Tipo I).

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS          PROYECTO TARAZÁ –          CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO</b>		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-8</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

#### Relación agua/cemento

Resistencia diseño	Resistencia especificada	Relación Agua /cemento
160 kg/cm <sup>2</sup>	140 kg/cm <sup>2</sup>	0.73
200 kg/cm <sup>2</sup>	175 kg/cm <sup>2</sup>	0.70
240 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.63
320 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>	0.51
345 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>	0.49

## GRADACIÓN

Las arenas corresponden a las extraídas de Ríos de la región

#### Gradación de las arenas

ABERTURA DE TAMIZ (mm)	MASA RETENIDA (g)	MASA RETENIDA CORR (g)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
12.5	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
9.5	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
4.8	67	67.0	2.6%	2.6%	97.0%
2.4	505	505.0	19.9%	22.6%	85.3%
1.2	295	295.0	11.6%	34.2%	65.3%
0.6	598	598.0	23.6%	57.8%	42.0%
0.3	490	490.0	19.3%	77.2%	22.2%
0.15	396	396.0	15.6%	92.8%	6.1%
0.075	37	37.0	1.5%	94.2%	2.2%
FONDO	146	146.0	5.8%	100.0%	0.0%
Σ =	2534	2534			

La gradación recomendada por la especificación INVIAS Artículo 630 – 13 se muestra.



Gradación agregado fino Artículo 630 -13

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	No.4	95 – 100
2.36 mm	No.8	80 - 100
1.18 mm	No.16	50 – 85
600 µm	No.30	25 – 60
300 µm	No.50	10 – 30
150 µm	No.100	2 – 10

El agregado grueso

Gradación agregado grueso

ABERTURA DE TAMIZ (mm)	MASA RETENIDA (g)	MASA RETENIDA CORR (g)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
50	0.0	0.0	0.0%	0.0%	100%
38	0.0	0.0	0.0%	0.0%	100%
25	0.0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
19	404.0	404.0	11.5%	11.5%	88.5%
12.5	1684.0	1684.0	47.9%	59.4%	40.6%
9.5	690.0	690.0	19.6%	79.1%	20.9%
4.8	645.0	645.0	18.4%	97.4%	2.6%
2.4	9.0	9.0	0.3%	97.7%	2.3%
1.2	8.0	8.0	0.2%	97.9%	2.1%
0.075	3.0	3.0	0.1%	97.8%	2.0%
FONDO	71.0	71.0	2.0%	99.8%	0.0%
Σ =	3514.0	3514			

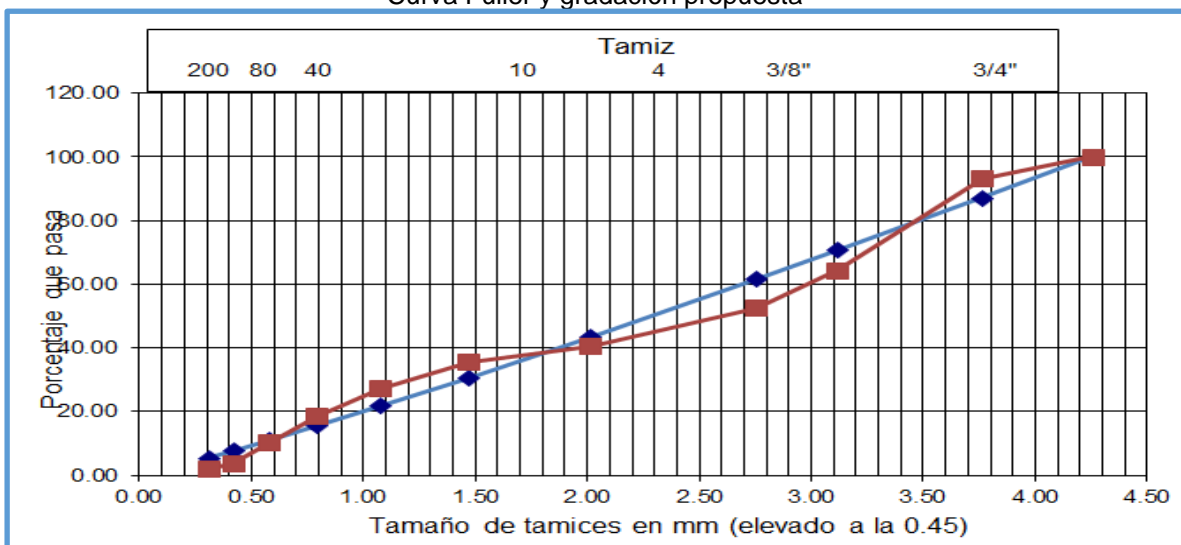
La especificación Invias Artículo 730 -13 recomienda los siguientes usos granulométricos, el material de planta cumple la gradación AG-2.

Gradación agregado grueso Artículo 630 – 13 INVIAS.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA (% PASA)						
Normal	Alterno	AG-1	AG-2	AG-3	AG-4	AG-5	AG-6	AG-7
63 mm	2,5 "	-	-	-	-	100	-	100
50 mm	2 "	-	-	-	100	95-100	100	95-100
37.5mm	1 1/2 "	-	-	100	95-100	-	90-100	35-70
25.0mm	1 "	-	100	95-100	-	35-70	20-55	0-15
19.0mm	3/4 "	100	95-100	-	35-70	-	0-15	-
12.5mm	1/2 "	90-100	-	25-60	-	10-30	-	0-5
9.5 mm	3/8 "	40-70	20-55	-	10-30	-	0-5	-
4.75mm	No.4	0-15	0-10	0-10	0-5	0-5	-	-
2.36mm	No.8	0-5	0-5	0-5	-	-	-	-

Para obtener un menor consumo de cemento, se sugiere utilizar una gradación densa tipo Fuller. La combinación más adecuada es 45% arenas y 55% de gruesos.

Curva Fuller y gradación propuesta



**Combinación propuesta vs gradación teórica de Fuller**

Alternativo	Tamiz		GRADACION			
	Normal(mm)	Potencia 0.45	FULLER	FINOS	GRUESOS	Mezcla (40%F+60%G)
1"	25	4.26	100.00	100.00	100	100.00
3/4"	19	3.76	87.18	100.00	88.5	93.10
1/2"	12.5	3.12	70.71	100.00	40.6	64.36
3/8"	9.5	2.75	61.64	100.00	20.9	52.54
No.4	4.75	2.02	43.59	97.80	2.6	40.68
No.8	2.36	1.47	30.72	85.30	2.3	35.50
No.80	1.18	1.08	21.73	65.30	2.1	27.38
No.30	0.6	0.79	15.49	42.00	2.8	18.48
No.50	0.3	0.58	10.95	22.20	2.5	10.38
No.100	0.15	0.43	7.75	6.10	2.3	3.82
No.200	0.075	0.31	5.48	2.20	2	2.08

Se muestra que una combinación de 60% de agregado grueso y 40% de agregado fino, proporciona un adecuado esqueleto mineral, que garantiza un bajo consumo de cemento y una alta resistencia.

Tamaño máximo: 1"

Tamaño máximo nominal: 3/4"

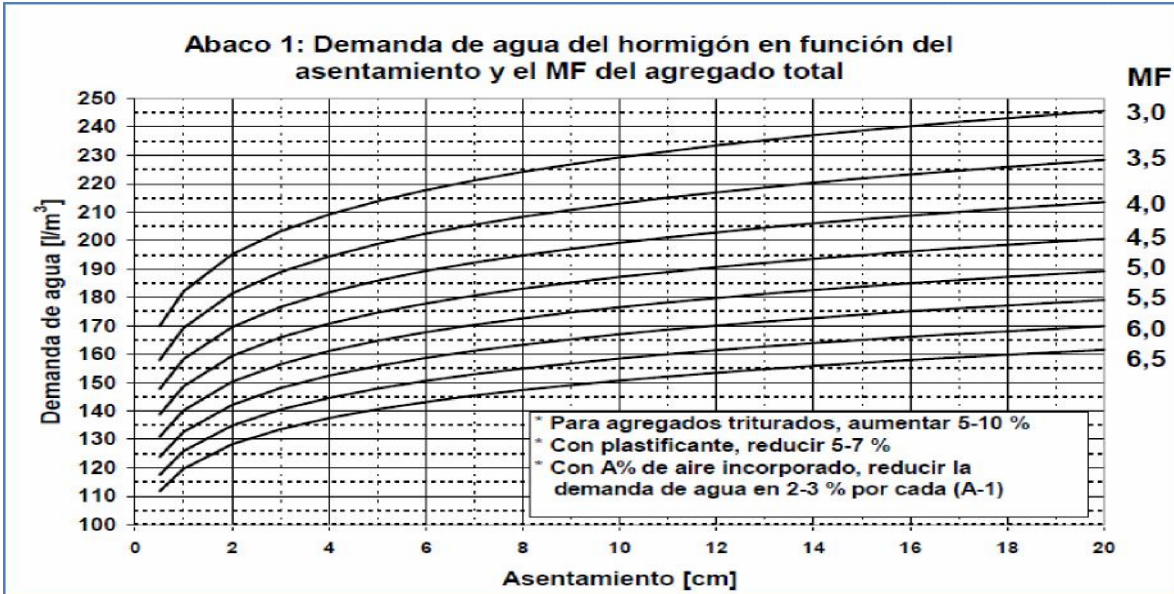
Módulo de finura de la combinación: 6.4

Módulo de finura de la arena: 4.1 corresponde a una arena gruesa.

Se verifica la demanda de agua por el ábaco No. 1, dando un valor de 145 lts/m<sup>3</sup>, adopta para el diseño el valor de 185 lts/m<sup>3</sup>, determinado anteriormente.

Densidad promedio de los agregados:

Demanda de agua en función del módulo de finura y el asentamiento





## CEMENTO

El contenido unitario de cemento (CUC) definido como la cantidad de cemento para un metro cubico de mezcla) se determina de la siguiente manera:

$$CUC = (\text{agua para elaborar un metro cubico}) / [a/c]$$

Contenidos del cemento

Resistencia diseño	Resistencia especificada	Relación Agua /cemento	CUC (kg/m <sup>3</sup> )
160 kg/cm <sup>2</sup>	140 kg/cm <sup>2</sup>	0.73	253
200 kg/cm <sup>2</sup>	175 kg/cm <sup>2</sup>	0.70	264
240 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.63	294
320 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>	0.51	363
345 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>	0.49	378

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

Se estima el peso específico del cemento como de 3150 kg/m<sup>3</sup>

### **VOLUMEN PROMEDIO DE LOS AGREGADOS**

Se determina en base a un metro cubico (1000 lts) de mezcla, considerando los volúmenes (o pesos) del cemento, agua y aire ya obtenidos.

Volumen total de agregados = 1000 litros - Volúmenes del (agua + cemento + aire)

Para el caso de agregados con distintos pesos específicos se tiene:

Volumen total de agregados =  $S V_{ai} = \text{PesoAG1}/\text{PeAG1} + \text{PesoAG2}/\text{PeAG2} + \dots + \text{PesoAFn}/\text{PeAFn}$



Pero:

$V_{ai} = P_{Tag} * \%AG1 / \text{PeAG1} + P_{Tag} * \%AG2 / \text{PeAG2} + \dots + P_{Tag} * \%AFn / \text{PeAFn}$

Donde P<sub>Tag</sub> es el peso total de los agregados y %AG<sub>i</sub> corresponde al porcentaje de participación de cada agregado.

Por lo tanto, el peso total del agregado se determina así:

$$P_{Tag} = \frac{1000 - \sum \text{vol de (agua + cemento + aire)}}{\frac{\%AG1}{\text{PeAG1}} + \frac{\%AG2}{\text{PeAG2}} + \dots + \frac{\%AFn}{\text{PeAFn}}}$$

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	DISEÑO DE PAVIMENTOS PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUÁIMARO		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NTT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: dic. 2019	

Volumen y peso de los agregados para un metro cubico de mezcla

Resistencia especificada	Volumen de agua (m <sup>3</sup> )	Volumen de cemento (m <sup>3</sup> )	Volumen de aire (m <sup>3</sup> )	Volumen de aridos (m <sup>3</sup> )	Peso total del agregado (kg)
140 kg/cm <sup>2</sup>	0.185	0.080	0.02	0.715	1870.7
175 kg/cm <sup>2</sup>	0.185	0.084	0.02	0.711	1861.7
210 kg/cm <sup>2</sup>	0.185	0.093	0.02	0.702	1837.3
280 kg/cm <sup>2</sup>	0.185	0.115	0.02	0.680	1779.8
300 kg/cm <sup>2</sup>	0.185	0.120	0.02	0.675	1767.5

## CANTIDAD PARA UN METRO CUBICO DE MEZCLA

Cantidades de los componentes resistencia 140 kg/cm<sup>2</sup>

Componente	Para un metro cubico de hormigón de resistencia 140 kg/cm <sup>2</sup>		
	Peso	Densidad	Volumen
	(kg)	(Kg/dm <sup>3</sup> )	(dm <sup>3</sup> )
Agua	185	1	185
Cemento	253	3.15	80.5
Agregado fino	774.4	2.610	285.8
Agregado grueso	1161.6	2.78	428.7
Aire	-	-	20
<b>Total</b>	<b>2374.4</b>	<b>-</b>	<b>1000.0</b>

Cantidades de los componentes resistencia 175 kg/cm<sup>2</sup>

Componente	Para un metro cubico de hormigón de resistencia 175 kg/cm <sup>2</sup>		
	Peso	Densidad	Volumen
	(kg)	(Kg/dm <sup>3</sup> )	(dm <sup>3</sup> )
Agua	185	1	185
Cemento	264	3.15	83.9
Agregado fino	770.7	2.610	284.4
Agregado grueso	1156.0	2.78	426.7
Aire	-	-	20
<b>Total</b>	<b>2375.9</b>	<b>-</b>	<b>1000.0</b>

Cantidades de los componentes resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup>

Componente	Para un metro cubico de hormigón de resistencia 210 kg/cm <sup>2</sup>		
	Peso	Densidad	Volumen
	(kg)	(Kg/dm <sup>3</sup> )	(dm <sup>3</sup> )
Agua	185	1	185
Cemento	294	3.15	93.2
Agregado fino	770.7	2.610	280.7
Agregado grueso	462.4	2.78	421.1
Aire	-	-	20
<b>Total</b>	<b>1711.7</b>	<b>-</b>	<b>1000.0</b>

Cantidades de los componentes Resistencia 280 kg/cm<sup>2</sup>

Componente	Para un metro cubico de hormigón de resistencia 280 kg/cm <sup>2</sup>		
	Peso	Densidad	Volumen
	(kg)	(Kg/dm <sup>3</sup> )	(dm <sup>3</sup> )
Agua	185	1	185
Cemento	363	3.15	115.2
Agregado fino	736.8	2.610	271.9
Agregado grueso	442.1	2.78	407.9
Aire	-	-	20
<b>Total</b>	<b>1726.6</b>	<b>-</b>	<b>1000.0</b>

Cantidades de los componentes Resistencia 300 kg/cm<sup>2</sup>

Componente	Para un metro cubico de hormigón de resistencia 280 kg/cm <sup>2</sup>		
	Peso	Densidad	Volumen
	(kg)	(Kg/dm <sup>3</sup> )	(dm <sup>3</sup> )
Agua	185	1	185
Cemento	378	3.15	119.9
Agregado fino	731.7	2.610	270.1
Agregado	439.0	c17	405.1
Aire	-	-	20
<b>Total</b>	<b>1733.3</b>	<b>-</b>	<b>1000.0</b>



## RELACIONES DE TRABAJO VOLUMÉTRICAS SUELTAS

Con la densidad suelta de los materiales, se determinan los volúmenes sueltos de los mismos y con ello las relaciones volumétricas para trabajo en campo (proporciones). El peso unitario suelto del cemento es de 1500 kg/m<sup>3</sup>.

Relación volumétrica suelta de los materiales

Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Agua (lts)	Relación volumétrica		
		Cemento	Arena	Grava
140	170	1	2.7	4.3
175	170	1	2.4	3.8
210	170	1	2.1	3.4
280	170	1	1.6	2.5