MEJORAMIENTO DE VÍA TERCIARIA EN PAVIMENTO RIGIDO EN BONDIGUA-PASO DEL MANGO MUNICIPIO DE SANTA MARTA DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

MUNICIPIO DE SANTA MARTA, MAGDALENA

ENERO DE 2024

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION 3
2. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL PROYECTO 4
3. INVESTIGACIONES GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS 7
3.1. EXPLORACIÓN EN CAMPO 7
4. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS 8
4.1. PERFIL ESTRATIGRAFICO 8
4.2. CBR DE DISEÑO 8
5. ESTUDIO DE TRANSITO 9
6. DISEÑOS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO 12
6.1. TRÁNSITO DE DISEÑO 13
6.2. RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE 13
6.3. TIPO DE MATERIAL DE SOPORTE 14
IVANOV CALCULO DE MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE ..... **¡Error! Marcador no definido.**
6.4. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO (MR) 15
6.5. TRANSFERENCIA DE CARGA Y CONFINAMIENTO LATERAL 15
6.6. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LOSA 16
6.6. tramo 1 16
7. MODULACIÓN DE LOSAS 17
7.1. DISEÑO DE JUNTAS 18
7.1.1. Juntas transversales de contracción. 18
7.1.2. Juntas longitudinales de construcción. 19
7.1.3. Juntas de expansión. 19
7.1.4. Recomendaciones para el corte y sellado de juntas. 20
7.1.5. Recomendaciones para el curado del concreto. 21
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 23
9. BIBLIOGRAFÍA 25

1. INTRODUCCION

En el presente estudio se analizan las condiciones de tránsito actual que presenta el sector involucrado en las vías **MEJORAMIENTO DE VÍA TERCIARIA EN PAVIMENTO RIGIDO EN BONDIGUA-PASO DEL MANGO MUNICIPIO DE SANTA MARTA DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.** Con el fin de determinar los parámetros que se implementan en el diseño de la estructura de pavimento de la vía, teniendo en cuenta las solicitaciones a un periodo de diseño proyectado.

Para lo anterior se pretende analizar la estabilidad ante las cargas proyectadas, dando recomendaciones sobre el espesor del pavimento y mejoramiento de la cimentación, basados en la norma INVIAS y en los criterios de diseño validados mundialmente para este tipo de proyectos de ingeniería.

El propósito de este mantenimiento y mejoramiento es el de mantener las condiciones necesarias para el servicio de la infraestructura vial Terciaria en el municipio de SANTA MARTA -DEPARTAMENTE DEL MAGDALENA.

En este documento se presentan los resultados de los análisis generados de los conteos, con el objetivo de determinar el Tránsito Promedio Diario Semanal y la cantidad de repeticiones esperadas al periodo de diseño del proyecto en mención.

2. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto MEJORAMIENTO DE VÍA TERCIARIA EN PAVIMENTO RIGIDO EN BONDIGUA-PASO DEL MANGO MUNICIPIO DE SANTA MARTA DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA., pretende mejorar en total 2,148 kilómetros de la vía (distribuidos en 4 tramos) que se encuentran en mal estado; además de la construcción de obras de drenaje.

A continuación, se presenta la localización general de los tramos a intervenir:

CUADRO DE COORDENADAS			
	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
TRAMO 1	1326 M	N = 11°13'59.75" E = 74° 8'6.93"	N = 11°13'38.91" E = 74° 7'29.39"
		ABSCISA INICIO K0+000	ABSCISA FINAL K1+326

CUADRO DE COORDENADAS			
	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
TRAMO 2	245M	N = 11°13'37.90" E = 74° 7'27.92"	N = 11°13'33.93" E = 74° 7'20.97"
		ABSCISA INICIO K1+380	ABSCISA FINAL K1+625

CUADRO DE COORDENADAS			
	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
TRAMO 3	358 M	N = 11°13'32.70" E = 74° 7'20.00"	N = 11°13'23.18" E = 74° 7'14.34"
		ABSCISA INICIO K1+672	ABSCISA FINAL K2+030

CUADRO DE COORDENADAS			
TRAMO 4	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
	219 M	N = 11°13'21.14" E = 74° 7'11.92"	N = 11°13'16.18" E = 74° 7'6.97"
		ABSCISA INICIO K2+126	ABSCISA FINAL K2+345

CUADRO DE COORDENADAS			
TRAMO 5	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
	1021 M	N = 11°13´41,05" E = 74°7´12,85"	N= 11°13´28,56" E = 74°7´15,16"
		ABSCISA INICIO K2+345	ABSCISA FINAL K3+366

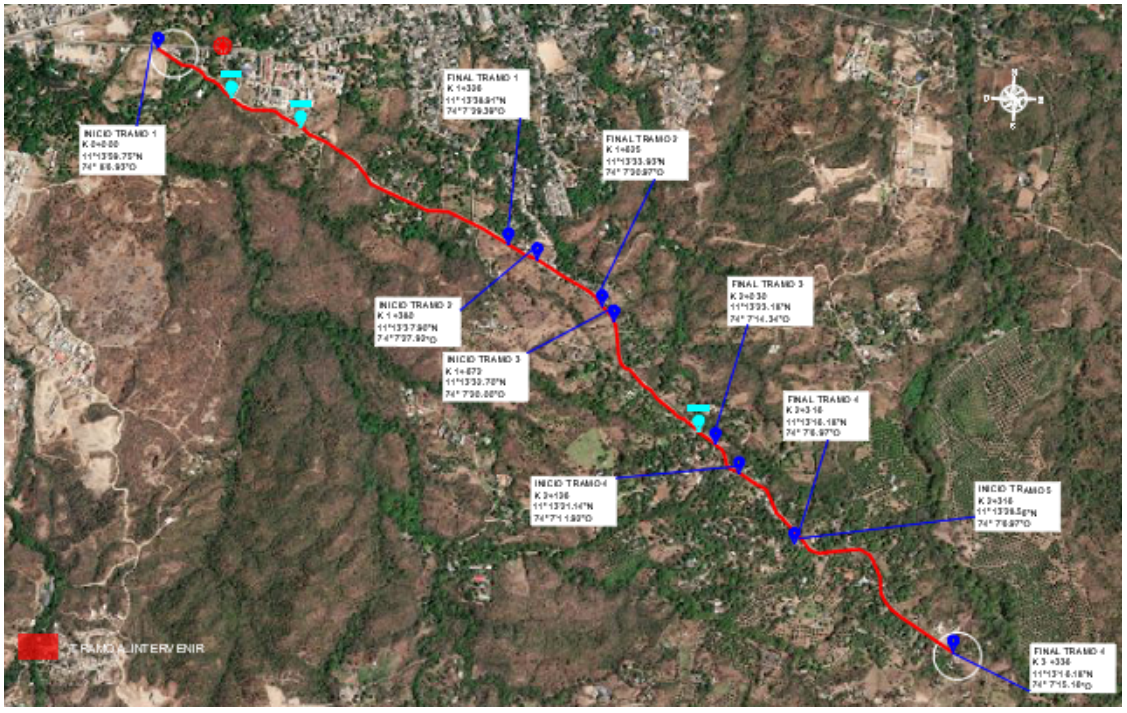


Tabla 1. Localización general



Ilustración 2. Ubicación geográfica vía en estudio – Tramo 1,2,3,4

3. INVESTIGACIONES GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS

Se realizó visita de inspección preliminar al sitio estudiado con el objeto de determinar las características físicas, geológicas y geotécnicas generales del área.

Se realizó exploración en las vías que conduce hacia los corregimientos de la ceiba y comunero en el municipio de SANTA MARTA - MAGDALENA, donde se proyecta el mejoramiento con pavimento rígido.

La vía se encuentra localizada en un terreno básicamente plano y en algunos tramos ondulados. No se evidenciaron asentamientos ni problemas geotécnicos que puedan afectar la estructura.

Para la caracterización de los materiales de subrasante y del afirmado existente sobre los cuales se construirá la estructura de pavimento en la vía, se utilizó la información de las exploraciones geotécnicas realizadas en la zona y consignadas en el presente informe.

Para el presente estudio se practicaron 10 apiques para la vía en estudio de profundidades de 2 metros. Una vez realizada la identificación y descripción visual de las muestras, se seleccionaron muestras en bolsa representativas para efectuarles los siguientes ensayos, obteniendo así una caracterización y capacidad de soporte del suelo a lo largo del tramo vial en estudio.

- Humedad Natural - Norma I.N.V. E-.122.
- Límites de consistencia - Normas I.N.V. E-125 y E-126.
- Porcentaje que pasa el Tamiz No. 200 - Norma I.N.V. E-123.
- Granulometrías, de acuerdo con las normas I.N.V. E-122/E-123.
- CBR Muestra Inalterada - Norma I.N.V. E-169.

3.1. EXPLORACIÓN EN CAMPO

Para el diseño de las estructuras de pavimentos se procesó tanto la información de campo como de laboratorio. En la tabla a continuación se presenta la localización de la exploración geotécnica efectuada para el diseño de la estructura de pavimento.

SANTA MARTA- MAGDALENA			
APIQUE	**TRAMO**	**ABSCISA**	**PROFUNDIDAD (m)**
1	**TRAMO 1**	K0+000	2
2		K0+250	2
3		K0+500	2
4		K0+750	2
5		K1+000	2
6		K1+250	2
7	**TRAMO 2**	K1+500	2
8	**TRAMO 3**	K1+750	2
9		K2+000	2
10	**TRAMO 4**	K2+250	2
11	**TRAMO 5**	K2+566	2
12		K2+816	2
13		K3+066	2

Tabla 2. Localización de apiques realizados para la vía en estudio.

4. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

En este capítulo se resumen los criterios y parámetros tenidos en cuenta para el dimensionamiento de la estructura del pavimento.

Como criterio para establecer el CBR representativo de la subrasante, se utilizaron tanto las pruebas In Situ (CBR de campo) como ensayos de laboratorio (granulometría y propiedades índice) del material analizado.

4.1. PERFIL ESTRATIGRAFICO

Una vez realizadas las exploraciones geotécnicas en las zonas de estudio se encontró un perfil estratigráfico definido en la superficie por un relleno de espesor variable seguido de una capa de SUELO ARENO ARCILLOSO Y ARENO LIMOSO (A-2-6 Y A-2-7) en EL TRAMO 1,2,3,4,5.

4.2. CBR DE DISEÑO

Con el fin de determinar la capacidad portante del suelo de subrasante o competencia mecánica de los materiales de fundación del pavimento, se tomaron por cada sondeo moldes de CBR inalterados, localizados directamente en los sitios de la obra y sobre la superficie de la sub-rasante, aclarando, que se realizaron sobre el terreno natural y no sobre los rellenos.

Los CBR obtenidos que se deben tener en cuenta para el diseño del pavimento en los tramos viales en estudio para conocer la calidad de la subrasante, se muestran a continuación.

Cabe aclarar que, debido a la ubicación de los tramos, se agrupan en dos partes, para así, poder determinar los valores de diseño representativos en cada zona (ver ilustración 1).

APIQUE	TRAMO	ABSCISA	PROFUNDIDAD (m)	CBR (%)
1	1	K0+000	2	4,58%
2		K0+250	2	5,30%
3		K0+500	2	4,30%
4		K0+750	2	4,93%
5		K1+000	2	4,24%
6		K1+250	2	4,78%
7	2	K1+500	2	4,87%
8	3	K1+750	2	5,13%
9		K2+000	2	4,78%
10	4	K2+250	2	5,10%
11	5	K2+566	2	7,10%
12		K2+816	2	6,32%
13		K3+066	2	6,75%

Tabla 3. Valores de CBR para el tramo 1,2,3,4.

Para los tramos en estudio, mediante correlaciones a partir de los ensayos realizados en cada sondeo se calculará el valor del CBR de la subrasante.

NO se detectó presencia del nivel freático hasta la profundidad explorada.

Por último, cabe mencionar que una vez realizados los análisis geotécnicos se determinó que para las vías que conducen desde BONDIGUA-PASO EL MANGO en el municipio de SANTA MARTA, MAGDALENA, no se identificaron riesgos por movimientos en masa e inestabilidad de taludes, ni ningún otro riesgo geotécnico en general.

5. ESTUDIO DE TRANSITO

Para establecer el tráfico de diseño, se aplicó lo recomendado en el capítulo 4 del documento AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, en el cual se establecen los criterios y recomendaciones para los diseños de estructuras de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

$$(G)(Y) = \frac{(1+r)^r - 1}{r}$$

$$E_{equivalentes} = \sum_{t=1}^{t=m} FACTOR\ CAMION_t * TPD_t * G * Y * Fd * Fc * 365$$

Donde

r	Tasa de crecimiento
n	Periodo de diseño
G	Factor de crecimiento
Fd	Factor de dirección
Fc	Factor de distribución por carril

Ilustración 3. Expresión utilizada para el cálculo de ejes equivalentes.

LA ESTACION 1 contiene los valores que se utilizaron en este proyecto, con un tránsito promedio diario de 90 Vehículos y un valor de 553.006,4 ejes acumulados de 8.2t como se puede ver a continuación:

ESTACION #1 TRAMO 1										
FECHA	DIA	TIPO DE VEHICULO								
		AUTOS	BUSES	C2 P	C2 G	C3	C4	C5	>C5	TOTAL
9-oct-23	Lunes	37	6	19	4	10	3	0	0	79
10-oct-23	Martes	33	5	16	6	11	16	0	0	87
11-oct-23	Miércoles	37	3	13	5	11	3	0	0	72
12-oct-23	Jueves	36	1	18	11	17	9	0	0	92
13-oct-23	Viernes	42	2	21	7	11	0	0	0	83
14-oct-23	Sábado	45	5	22	8	18	8	0	0	106
15-oct-23	Domingo	61	3	26	8	12	4	0	0	114
TOTAL CONTEO		291	25	135	49	90	43	0	0	633
TOTAL TPD		42,0	4,0	19,0	7,0	13,0	6,0	0,0	0,0	**90,0**

Tabla 4. Distribución típica vehicular estación #1.

CÁLCULO DE TRÁSITO DIARIO EQUIVALENTE Y TOTAL	
OBRA:	MEJORAMIENTO DE VÍA TERCIARIA EN PAVIMENTO RIGIDO EN BONDIGUA-PASO DEL MANGO MUNICIPIO DE SANTA MARTA DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

TOTAL CONTEO	633
FACTOR SENTIDO	0,5
ESTACION	#1

TASA DE CRECIMIENTO %		3
FACTOR CARRIL		1
PERIODO DE DISEÑO (AÑOS)		20

VEHÍCULOS	PORCENTAJE	NUM VEHICULOS DIARIOS	FACTOR DAÑO	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO	NUMERO DE VEHÍCULOS ACUMULADOS
VEHÍCULO	%	633			
AUTOS	45,97%	291	0	0	0,0
BUSES	3,95%	25	1	25	17513,7
CAMIONES	50,08%	317			0,0
C2 PEQUEÑO	42,59%	135	1,01	136,35	95519,9
C2 GRANDE	15,46%	49	2,72	133,28	93369,2
C3-C4	41,96%	133	3,72	494,76	346603,6
C5	0,00%	0	4,88	0	0,0
	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO			**789,39**	

TRÁNSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO	**553006,4**	**5,53E+05**

Tabla 5. Calculo de tránsito diario equivalente y total #1.



Ilustración 4. Ubicación estaciones de aforo #1.

6. DISEÑOS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

El Pavimento es una estructura conformada por varias capas de materiales seleccionados, construida entre la subrasante y la superficie de rodamiento. Los materiales que constituyen el pavimento deben cumplir ciertas especificaciones con el fin de resistir adecuadamente los esfuerzos transmitidos por las cargas repetitivas del tránsito y la acción del intemperismo; igualmente debe proporcionar una circulación cómoda y segura a los usuarios de la vía. Por consiguiente, del buen dimensionamiento de cada una de las capas que conforman la estructura, dependerá básicamente el desempeño funcional y duración de éste durante su puesta en servicio.

Para el diseño de la estructura del pavimento rígido, se consideró la utilización de la metodología del Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, del Instituto Nacional de Vías, que establece un catálogo de estructuras en función de las variables más importantes que inciden en la determinación de espesores y cualidades de las capas de un pavimento. Estos catálogos de diseño se construyeron con base en los métodos de diseño más conocidos en el país como son el de la Portland Cement Association-PCA versión 1984 y el de la American Association of State Highway And Transportation Officials-AASHTO versión 1993.

Los parámetros de diseño que constituyen la metodología se relacionan a continuación:

- El tránsito y el periodo de diseño.
- Las características de resistencia de la subrasante.
- Tipo de material de soporte para el pavimento.
- Resistencia a la flexión del concreto a los 28 días (MR).
- Transferencia de carga entre losas y confinamiento lateral.

Los valores de cada uno de estos parámetros establecidos para este proyecto particular se describen a continuación:

6.1. TRÁNSITO DE DISEÑO

Esta variable, de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 5 del presente documento y considerando el valor del número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño de veinte (20) años que resulta menor de 1.000.000 de ejes equivalente para ambos grupos, nos muestra según la Tabla 3-1 del manual de diseño que la categoría de transito correspondiente es la T0. (Revisar estudio de tránsito)

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T_O	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1´000.000
T1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1´000.000 a 1´500.000
T2	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1´500.000 a 5´000.000
T3	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5´000.000 a 9´000.000
T4	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9´000.000 a 17´000.000
T5	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17´000.000 a 25´000.000
T6	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25´000.000 a 100´000.000

Tabla 3-1. Categorías de tránsito para la selección de espesores

Ilustración 5. Categorías de tránsito para la selección de espesores.

6.2. RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE

Para el diseño del pavimento, el manual considera cinco (5) tipos de suelos de subrasantes como se indica en la Tabla 3-2, en la cual la clasificación se hace con base en la Relación de Soporte de California del suelo-CBR- evaluada según la NormaINV-E-148-2013 función; estos valores se correlacionaron con el Módulo de reacción de la subrasante-K- que es el parámetro usado en las ecuaciones de diseño. Según el estudio de suelo, el CBR de diseño de la capa superior se adopta de 2.87% para el grupo 1 (el cual contiene el tramo 1)., por lo tanto, se clasifican en S2 como se observa en la tabla 3-2.

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm²)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 – 500
S3	5 - 10	500 – 1.000
S4	20 - 10	1.000 – 2.000
S5	> 20	> 2.000

Tabla 3-2. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.

Ilustración 6. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.

De acuerdo con el valor de CBR de la unidad de diseño, para la realización de los cálculos de la estructura de soporte; y de acuerdo con la metodología de diseño del Instituto clasifica como tipo S2, con módulos resilientes entre 200-5000 kg/cm2

6.3. TIPO DE MATERIAL DE SOPORTE

La metodología del Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de transito del Instituto Nacional de Vías, considera tres tipos de soporte para el apoyo de la losa de concreto. Estas se encuentran indicadas en la tabla 3-3 del referido manual y hacen referencia, al soporte como suelo natural (losa apoyada directamente sobre el terreno existente); Base Granular, cuando el soporte habilitado es un material granular seleccionado (características de sub-base granular y/o base granular, de acuerdo a los artículos 320 y 330 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto, versión 2013) y de Base Estabilizada con cemento.

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base Estabilizada con Cemento

Tabla 3-3. Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto.

Ilustración 7. Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto.

Para el caso puntual de este proyecto, tal como se anotó en el capítulo anterior, se recomienda un soporte de apoyo constituido por un material granular que cumpla las características de Base Granular Tipo B, en un espesor de 0.15 m, es decir que el soporte de apoyo de la losa de concreto hidráulico es de tipo BG, que cumplan con las especificaciones del INVIAS, además de esto se considera una capa con un material seleccionado de espesor de 15 cm como una sub base granular clase B para apoyo en la subrasante, con un material granular seleccionado el cual ayudara a estabilizar el terreno de una manera más adecuada puesto que el cbr se encuentra en promedio del 4.8%.

6.4. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO (MR)

La losa de concreto rígido sometida a la acción del tránsito experimenta esfuerzos de flexión mayores que los de compresión, por ello es necesario conocer la resistencia y la flexión a través del módulo de rotura del concreto (MR).

Calidad del Concreto	Número de camiones por día			
	> 300	150 –300	25 – 150	< 25
A flexión (MPa)	4.5	4.2	4.0	3.8

Tabla 3-1. Resistencia que debe alcanzar el concreto

Ilustración 8. Resistencia que debe alcanzar el concreto.

El Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito propone 4 calidades de concreto ideales para resistir el tránsito proyectado. Según los aforos realizados el flujo de camiones que transita por la vía es menor a 25 camiones, pero debido al tránsito que se estima que será generado y atraído por ser una vía nueva, se utiliza el concreto de resistencia a la flexo-tracción del concreto a los 28 días de 4.0 Megapascal, valor que se obtendrá por el método de la viga simple cargada en los tercios de la luz de acuerdo a la Norma INV E-414- 2013 generando protección y evitando que se incrementen los costos de mantenimientos.

Para el valor de Modulo de Rotura asumido, corresponde según la metodología de diseño, una clasificación de este parámetro como MR2 (40kg/cm2 de resistencia a la flexión).

Para el tramo 1,2,3,4, el valor de Modulo de Rotura asumido corresponde según la metodología de diseño, una clasificación de este parámetro como MR2 (40 kg/cm2 de resistencia a la flexión).

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm²)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Tabla 3-4. Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura).

Ilustración 9. Valores de resistencias a la flexotracción de concreto.

6.5. TRANSFERENCIA DE CARGA Y CONFINAMIENTO LATERAL

Hay dos factores que influyen en la determinación del espesor de las losas de

concreto y son la presencia de dovelas en las juntas de contracción y los confinamientos laterales que se establezcan en el pavimento.

La transferencia de carga es la aptitud de una junta para transmitir parte de la carga aplicada a una losa contigua, permitiendo reducir significativamente las tensiones y deflexiones generadas por acción de las solicitaciones. La misma puede efectuarse a través de las juntas transversales y los bordes de la calzada. Para este proyecto se asume la instalación de pasadores en acero (dovelas) para las juntas transversales y para los bordes confinamiento por intermedio de berma-cunetas. Por lo tanto, en los catálogos de diseño, se escoge la opción de **D y B,** representativo de utilización en el diseño y en la construcción de dovelas y berma-cunetas.

6.6. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LOSA

Para la determinación del espesor de la losa de concreto, a partir de las variables antes establecidas, se hizo uso del catálogo de diseño de la tabla 4.2, para transito seleccionado **T0**.

6.6. tramo 1,2,3,4

La losa del pavimento como BG, una capacidad de soporte del suelo de subrasante **S2** (teniendo en cuenta el reemplazo del material existente por un material seleccionado) y a la presencia de utilización de Dovelas, como elementos de transferencia de carga y confinamiento lateral respectivamente, así como una resistencia a la flexión del tipo **MR2**, el espesor de diseño de la losa de concreto corresponde a **0.21 m.** La consultoría, recomienda mantener el espesor de diseño en **0.21** m para la resistencia a la flexión y tipo de soporte propuesta.

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																				
Tránsito T0																				
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1			24	28	23	27	23	27	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2			23	27	22	26	22	26	20	24	20	24	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3			23	26	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			21	24	20	24	20	24	19	22	19	22	18	21	18	21	18	21	18	21
BG	MR1			23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR2			22	25	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR3			21	24	20	24	20	24	29	22	19	22	19	22	19	22	18	21	18	21
	MR4			20	23	19	23	19	23	28	21	18	21	18	21	18	21	17	20	18	20
BEC	MR1			20	23	19	22	19	22	18	21	18	21	18	20	18	20	17	20	17	20
	MR2			19	22	19	21	19	21	17	20	17	20	17	20	17	20	17	19	17	19
	MR3			18	21	18	21	18	21	17	19	17	19	16	19	17	19	16	19	17	19
	MR4			18	20	17	20	18	20	16	19	17	19	16	18	17	18	15	18	17	18

Tabla 4-1. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T0 como factor principal

Ilustración 10. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables.

7. MODULACIÓN DE LOSAS

La modulación de losas se refiere a definir la forma que tendrán los tableros de losas del pavimento. La modulación de losas va a estar regida por la separación de las juntas transversales que a su vez depende del espesor del pavimento.

Existe un criterio que nos permite dimensionar los tableros de losas para inducir el agrietamiento controlado bajo los cortes de losas, el cual establece que la separación entre juntas transversales debe estar entre 21 y 24 veces el espesor de la losa, sin que ese espaciamiento de juntas no deba exceder los 4,5 m, tal como lo estipula la Norma ACI 360 en el Capítulo 5-2, actualizando la anterior versión de 1992 de dicho documento.

Normalmente se utiliza el valor de 21, cuando tenemos mayor fricción entre la sub-base y el pavimento de concreto, como el caso de bases estabilizadas. El valor de 24 se utiliza cuando la fricción entre la sub-base y el pavimento corresponde a valores normales, como el caso de utilización de sub-bases granulares.

Para determinar la longitud de la losa, se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

1. Que la longitud de la losa no sea mayor a 24 veces su espesor de diseño. (criterio de la Portland Cement Association).
2. Que la relación largo/ancho, se encuentre comprendida entre 0.71 y 1.4, siendo un criterio ideal de 1.0 (losas cuadradas).

Para el criterio 1 de la PCA, teniendo en cuenta que la losa de concreto hidráulico se apoyará sobre una base granular, a fin de establecer un criterio de uniformidad de soporte y contribución a contrarrestar al fenómeno de bombeo, por presencia de finos en el material de la subrasante, la longitud máxima de la losa para el grupo 2 de acuerdo al espesor obtenido es de Longitud máxima = 24×20 = 440 centímetros, para el grupo 1 de acuerdo al espesor obtenido de Longitud máxima = 24×20 = 440 centímetros

Para el segundo criterio, considerando una sección de calzada promedio de 6.00 m, y un ancho de carril de 3,00 m, a partir de una relación largo/ancho asumida igual a 1.16, se obtiene una longitud máxima correspondiente de 3.00 m. Para este caso se adoptará esta longitud para el espaciamiento entre juntas para todos los tramos a intervenir.

7.1. DISEÑO DE JUNTAS

7.1.1. Juntas transversales de contracción.

Las juntas transversales de contracción, son aquellas que se construyen transversalmente a la línea central del pavimento y están debidamente espaciadas para controlar la figuración generada por la retracción y por los cambios de humedad y temperatura (alabeo). La configuración de este tipo de junta, es como se muestra en la siguiente figura.

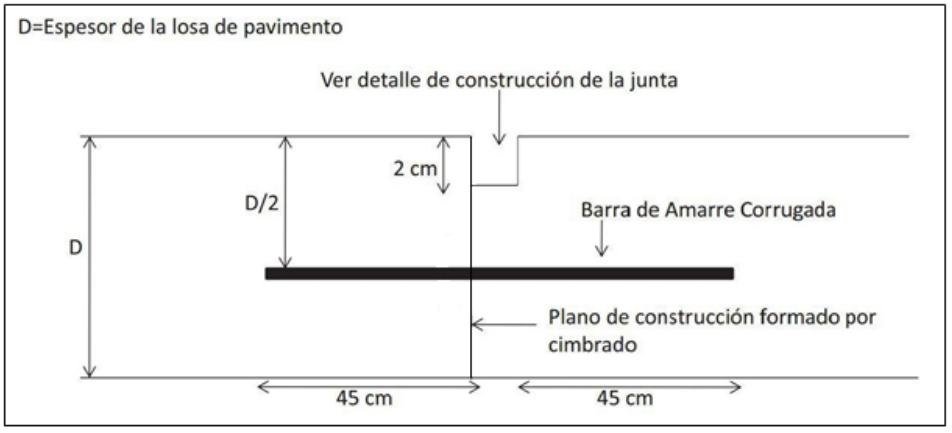


Ilustración 11. Configuración tipo de junta.

Es importante anotar, que al menos 2/3 partes de la longitud de las dovelas deben estar cubiertas con un material antiadherente, con el propósito de no restringir los desplazamientos horizontales de las losas. Estos pasadores deben colocarse en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía.
Para garantizar una adecuación colocación de las dovelas se recomienda el uso de canastas pasajuntas con atiesadores de 3/16", en el cual, en unos de sus extremos, debe llevar una soldadura de arco y el otro sin ningún tipo de soldadura. El ancho de la canastilla será ajustado a la sección del pavimento.

7.1.2. Juntas longitudinales de construcción.

Estas juntas se deben localizar y construir en el lugar planeado. Las juntas longitudinales de construcción se realizan cuando se emplean dos franjas de pavimentación. La configuración de las juntas longitudinales de construcción con barras de amarre (Tipo A).

Según el espesor de la losa de 210 mm y un ancho de carril máximo que se va a manejar en el proyecto de 3,00 m, se determina que las barras de anclaje a colocarse en las juntas longitudinales, como mínimo, son varillas de acero corrugado fy = 60.000 psi, de 12.7 mm (½") de 85 cm. de longitud y colocadas a una separación entre centros de 1 m.

Nota: la relación ancho/profundidad del sellador de silicón deberá ser como mínimo 1:1 y como máximo 2:1.

7.1.3. Juntas de expansión.

Sólo son necesarias alrededor de estructuras fijas, como son las cajas de inspección, sumideros y otras estructuras que presenten diferente comportamiento al pavimento que se construye. Así mismo, se deben utilizar donde se presenten cambios de dirección de la vía e intersecciones con otros pavimentos.
Al comienzo y al final de la calzada a rehabilitar, en donde el pavimento empalma con el existente, se recomienda la construcción de juntas de expansión, en la cual se aumenta el espesor de las losas en el sitio de empalme en un 20% para absorber los esfuerzos de borde ocasionados por el tráfico.

El propósito de una junta de expansión determina, de alguna manera, la necesidad o no de la transferencia de carga. En los casos donde se presentan variaciones de dirección de la vía, una empujará a la otra, produciéndose esfuerzos, que deben ser controlados con la ayuda de juntas de expansión. Con el fin de incrementar la transferencia de carga y la eficiencia de la junta, se deben usar dovelas como se observa en la figura siguiente, ubicadas en la mitad de la losa, totalmente engrasadas para facilitar el movimiento. Las dimensiones más comunes de estas varillas son: diámetro de 1/8 del espesor de la losa (25mm), 450 mm de longitud y con separación entre varillas de 300 mm.

Para este tipo de juntas, se pone un material compresible que llene el espacio entre las caras de las losas (poliestireno expandido).

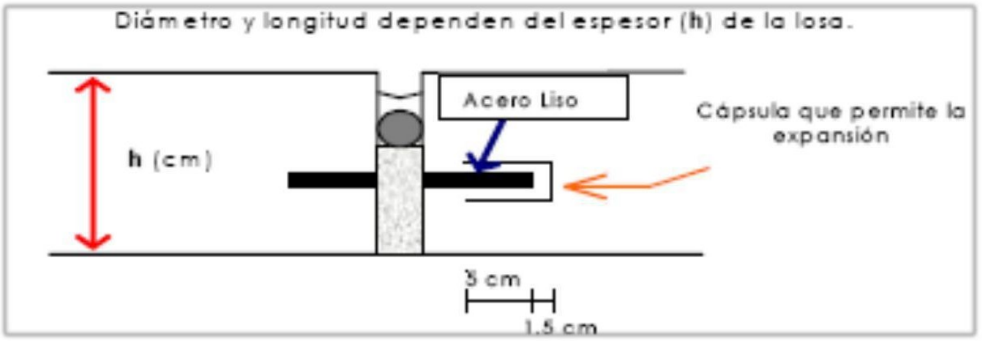


Ilustración 12. Diámetro y longitud depende del espesor de la losa.

Para el caso, de empalmes de las losas de concreto con estructuras fijas como obras de drenajes existentes, por ejemplo, se recomienda proyectar una junta de expansión, tal como se detalla en la siguiente gráfica:

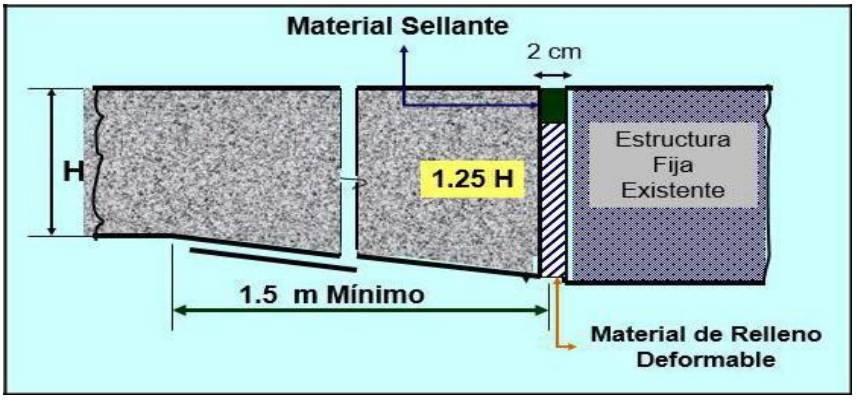


Ilustración 13. Junta de expansión.

En donde H, representa el espesor de diseño de la losa y 1.25 H, el incremento de espesor final sobre la estructura fija, a fin de contribuir a la disminución de los esfuerzos de borde generados por el tráfico sobre esa zona. Es de anotar que esa longitud de transición del espesor debe ser como mínimo de 1.50 m.

7.1.4. Recomendaciones para el corte y sellado de juntas.

Después de aplicarla membrana de curado de las losas, se procederá al corte de las juntas transversales y longitudinales, con discos adecuados para realizar los cortes en seco, o con discos de diamante que se refrigeren con agua. El corte de las juntas deberá comenzar por las transversales de contracción, e inmediatamente después continuar con las longitudinales. Este corte deberá realizarse cuando el concreto presente las condiciones de endurecimientos propicias para su ejecución y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados.

Se realizará un corte inicial con un ancho de 3 mm y a una profundidad de 1/3 del

espesor de la losa de concreto con el fin de inducir la falla controlada. Posteriormente se realiza un ensanchamiento del corte para poder alojar el material de sello.

En el caso de que se requiera realizar los cortes de juntas en dos etapas; es decir, efectuar los cortes cada dos juntas, dejando las juntas intermedias sin cortar para posteriormente realizar el corte de las intermedias, el segundo corte, o sea el de las intermedias, deberá realizarse antes de 48 horas después del colado y si existe un alto riesgo de fisuración antes de las 24 horas.

Las ranuras aserradas deberán inspeccionarse para asegurar que el corte se haya efectuado hasta la profundidad especificada. Con el fin de garantizar una perfecta adherencia del material sellante a las caras verticales de la caja, se deberá realizar una exhaustiva limpieza de toda materia extraña que se encuentre dentro de cualquier tipo de junta; para ello, se recurrirá al lavado con agua a presión, sistema de chorro de arena y aire a presión, los cuales deberán ser aplicados siempre en una misma dirección, de preferencia en el mismo sentido de pendiente de la junta.

El uso de este procedimiento deberá garantizar la limpieza total de la junta y la eliminación de todos los residuos de corte. El sistema de sellado de juntas para pavimentos de concreto debe garantizar la hermeticidad del espacio sellado, la adherencia del sello a las caras de la junta, que no exista arrastre del material de sello por acción de las llantas de los vehículos y adicionalmente deben cumplir con las condiciones especificadas anteriormente para los productos para juntas que se especifican.

El sello debe ser colocado siete (7) días después de la colocación del concreto, tiempo en el cual el pavimento de concreto no deberá ser abierto al tránsito ni se deberá colocar sobre el material que se pueda introducir en la junta. No se deberá transitar sobre el sello por lo menos 24 horas después de colocado. Previamente al vaciado del compuesto llenante, se coloca una tirilla de respaldo presionándola dentro de la junta con un insertador adecuado.

La profundidad para el disco insertador será 9 o15 mm, dependiendo si el material es silicona o un material de compuestos orgánicos respectivamente.

Al colocar el sello de silicona se debe cumplir con el factor de forma mínimo de 1/1 y máximo de 2/1 y si es de componentes orgánicos se deberá cumplir con el factor de forma de 172, como relación entre dimensiones ancho/profundidad, vaciándolo sin que quede menisco convexo, ni sobrantes rebosantes. La superficie del sello debe quedar 3 mm por debajo del borde de la junta, y en ningún caso debe haber adherencia en tres puntos, por lo cual se aísla el fondo de la caja del sello de la base

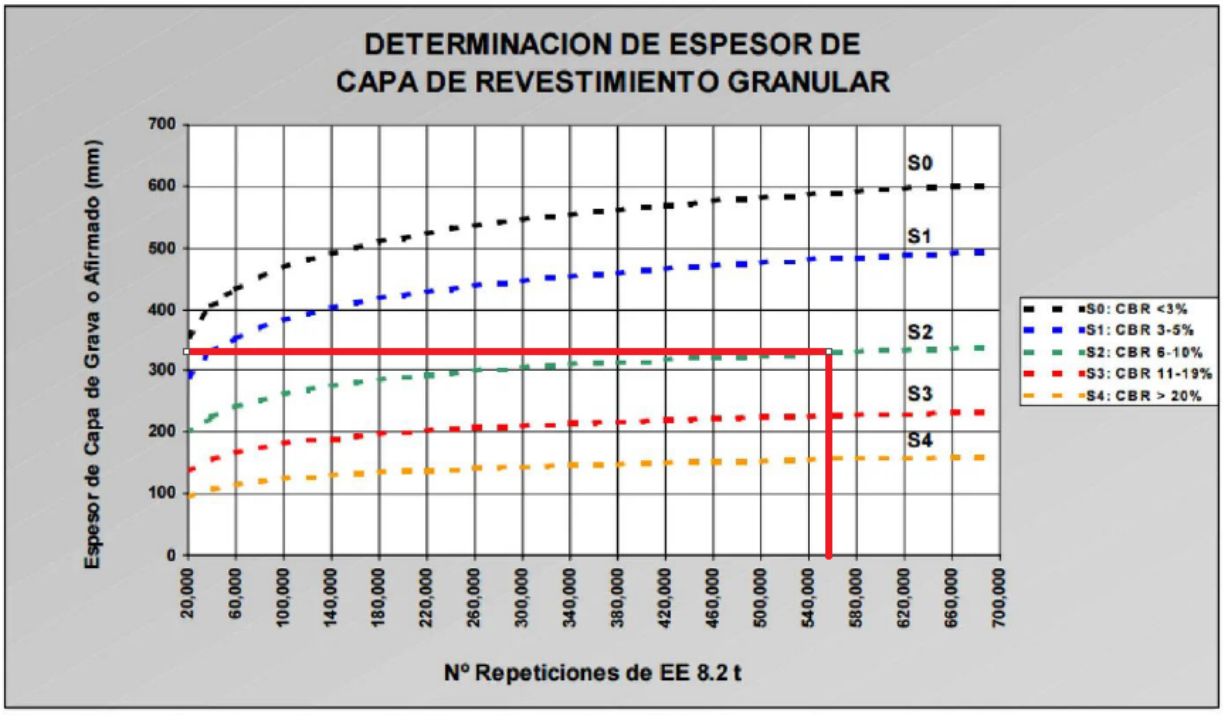
del sello con la tirilla de respaldo, lo cual controla el espesor del sello y produce economía evitando consumos innecesarios.

8.0 Selección del Espesor y tipo de material para el Afirmado

Teniendo en cuenta que por razones presupuestales se ha definido que los tramos 1 al 4 se intervendrán con estructura de pavimento rígido según se ha diseñado la alternativa correspondiente al tramo 5 (Inicia K2+316 - finaliza en el k3+336) ello implica una mejora con material seleccionado toda vez que debe determinarse el espesor de la capa en afirmado según las condiciones fisicomecánicas y de transito anteriormente descritas.

Por lo anterior se acude a la metodología propuesta por la national association of australian state road authorities (AUSTROADS) que ha sido ampliamente aplicada con eficiencia en diversos tratamientos realizados con suelos arcillo limosos en varias partes del país y que para este caso no es indiferente.

Así las cosas y teniendo claro que el transito de diseño es de 553.000 ejes equivalentes de 8.2 Ton, con un CBR promedio de 6-10% en el tramo 5 se especifica como espesor de la capa de tratamiento para el afirmado un espesor de 0.35 cms tal como se deduce de la iteración en el nomograma 1.



Fuente: Elaboración en base a la ecuación de diseño del método NAASRA

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Para el diseño de las estructuras de soporte, en la vía en estudio se considera un valor de CBR (california Bearing Ratio) de 4.8 % para el tramo 1,2,3,4.

- ✓ Para el tramo 1 de la vía en estudio, se obtuvo un tránsito de diseño acumulado en un sentido de circulación de 553.006,4 ejes equivalentes; y se clasifican con nivel de tránsito T0 de acuerdo con el INVIAS, que corresponde a tránsitos en el carril de diseño menores a 1.000.000 ejes equivalentes; tomando como periodo de diseño 20 años.

- ✓ Para el tramo 1,2,3,4, la estructura de pavimento proyectada, para la unidad de diseño establecida, corresponde a una losa de concreto hidráulico, de resistencia a la flexión a 28 días, de 4 MPa y un espesor libre de 21 centímetros, apoyada sobre una base granular de 0.2 m y una sub basegranular de 0.15 m. La estructura de pavimento queda de la siguiente manera:

CONCRETO MR 2 (4MPA) 0,21 MPA
BASE GRANULAR CLASE B 0,15 M

Así mismo para el tramo 5 se diseñó tratamiento mediante afirmado con material granular tipo invias de espesor 0.35 m como se especifica a continuación

Afirmado mediante GRANULAR 0,35 M que cumpla con tabla 311-INVIAS

- ✓ Cabe mencionar que los espesores obtenidos cumplen para las exigencias del tránsito, condiciones climáticas y propiedades de materiales, base, subbase y subrasante.
- ✓ Para que la vía tenga un buen funcionamiento se deben realizar actividades de mantenimiento por lo menos una vez al año, en donde se deben remover capa vegetal y material orgánico que se encuentre durante la inspección debida.

- ✓ Si se debe modificar algún diseño en la vía, por algún factor topográfico no contemplado en el diseño, por favor remitir el cambio para verificar que el nuevo diseño cumpla con las especificaciones dadas por el INVIAS.

- ✓ En la etapa constructiva, se requiere llevar un control para chequear que el proceso constructivo se cumpla de acuerdo a las especificaciones técnicas requeridas.

- ✓ La calidad y construcción de los materiales requeridos en la estructura de pavimento, deberán cumplir a cabalidad con las especificaciones para construcción de carreteras emitidas por el Instituto Nacional de Vías. Se debe adelantar la determinación de la resistencia del concreto a través de su módulo de rotura, para lo cual se elaborará el diseño de la mezcla de concreto en laboratorio, con los materiales previamente identificados y aprobados por la interventoría.

- ✓ Para este proyecto se decidió implementar la alternativa de pavimento rígido por un factor de importancia como lo es el periodo de diseño, caducidad que brinda la estructura, facilidad en la consecución de materiales para realizar el proyecto. hay que aclarar que una alternativa en pavimento flexible así sea más económica en una ciudad con facilidades de accesos para la consecución de materiales, su precio varía en torno a la distancia de transporte de las plantas de asfalto que se puedan usar para el desarrollo del proyecto, se aclara que la santa marta no cuenta con plantas de asfalto que cumpla las exigencias exigidas por el ente de control a cargo por lo que conseguir una planta de asfalto que cumpla los requisitos duplicaría o triplicaría su precio solo por el valor del transporte del material, hay que aclarar que el concreto es un material de más fácil acceso para esta región ya que la zona se encuentra con varias de estas plantas y canteras de materiales granulares. Ahora, el periodo de diseño de un pavimento flexible gira en torno de los 10-15 años y un concreto rígido de los 20-25 años, implementar el concreto rígido para un municipio como santa marta que se encuentra en pleno desarrollo se hace una alternativa muy viable, ya que es una inversión a largo plazo contemplando el deterioro de este por factor tiempo y daño por ejes equivalentes, por lo que su viabilidad depende directamente del periodo de diseño, es muy usual encontrar en el país vías terciarias o urbanas en concreto rígido por esta causa.

- ✓ Que se definió el diámetro del pasador según lo indica el manual para diseño de pavimentos del INVIAS quedando consignado en este informe un diámetro de 1-1/8" con longitud de 400 mm y separación transversal entre centros de 300 mm

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada	mm	mm
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

- ✓ Que se definió el diámetro y posición de las barras longitudinales según lo indica el manual para diseño de pavimentos del INVIAS según la tabla 6.1

Espesor de losa (mm)	Barras de ϕ 9,5 mm (3/8")				Barras de ϕ 12,7 mm (1/2")				Barras de ϕ 15,9 mm (5/8")			
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)
Acero de fy= 280 MPa (60.000 psi)												
150		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
175		1,05	0,95	0,85		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
200	0,65	0,90	0,80	0,75	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20	1,20
225		0,80	0,75	0,65		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
250		0,70	0,65	0,60		1,20	1,15	1,10		1,20	1,20	1,20

Recomendación para las barras de anclaje

JOSE JAVIER BELTRAN QUIÑONEZ
INGENIERO CIVIL
M.P 68202-414752 SDT

9. BIBLIOGRAFÍA

- Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto, Bajo Volúmenes de Transito. INVIAS.
- Lizarazo Rincon, L. P., & Serrano Parra, A. Y. (2017). Alternativa de diseño del pavimento rígido por el método invías, de la calle 19 entre las avenidas 4 y 10 del barrio Once de Noviembre, municipio de Los Patios.
- Montejo Fonseca, A. (2006). Ingeniería de pavimentos.
- Castro-Vásquez, M. G., Castro-Vásquez, L. A., & Castro-Vásquez, P. G. (2020). Aplicación práctica del método AASHTO-93 para el diseño de pavimento rígido. Polo del conocimiento, 5(9), 640-663.