


CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiable en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 1 de 85		

N° INFORME	1	FECHA INFORME:	24/NOVIEMBRE/2022
TIPO DE INFORME:	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO		
PROYECTO:	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN SEDE DEL SENA ALTO SINU, MUNICIPIO DE TIERRALTA.		
CLIENTE:	CLIENTE:	URRA SA E.S.P	
	DIRECCIÓN:	TIERRALTA - CÓRDOBA	

CONTROL DE CAMBIOS

VERSIÓN	MOTIVO DEL CAMBIO	RUTA DE ATENCIÓN A OBSERVACIONES	FECHA DEL CAMBIO

REVISADO	VERIFICADO	VALIDADO
FIRMA <i>José Sebastián Soto O.</i>	FIRMA <i>José Sebastián Soto O.</i>	FIRMA <i>Jesús Pizarro</i>
LIC. PROFESIONAL	LIC. PROFESIONAL	LIC. PROFESIONAL
NOMBRE: JOSÉ SEBASTIÁN SOTO OSPINO	NOMBRE: JOSÉ SEBASTIÁN SOTO OSPINO	NOMBRE: JESUS PIZARRO
PROFESION/ESPECIALIDAD: Especialista en vías y trasportes - Ingeniero Civil	PROFESION/ESPECIALIDAD	PROFESION/ESPECIALIDAD

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
 Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com


CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 3 de 85		

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN EJECUTIVO	9
2	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	11
3	RESULTADOS DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO	12
3.1	Clasificación primaria.....	12
3.2	CBR de laboratorio	13
3.3	Resultados de exploración y caracterización del subsuelo	14
4	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS.....	16
4.1	Clasificación del suelo.	16
4.2	Determinación del grado de expansión:.....	16
4.3	Presencia de nivel freático:.....	18
4.4	CBR de diseño	18
5	DESCRIPCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE	19
5.1	Condiciones de la subrasante:.....	19
5.2	Metodología de Ivanov para calcular CBR de diseño equivalente.....	20
5.3	Modelo seleccionado	22
6	DETERMINACIÓN DEL MODULO DEL CONJUNTO Y ESPESOR DE SUBBASE	23
6.1	Determinación del módulo de reacción de la subrasante.....	23
6.2	Determinación del módulo del conjunto y espesor de la subbase	25
7	ANÁLISIS DEL TRANSITO	28
7.1	Clasificación y peso vehicular	28
7.2	Transito promedio diario.....	29
7.3	Periodo de diseño	30
7.4	Distribución direccional y por carril de vehículos pesados	30
7.5	Tasa de crecimiento	31
7.6	Factor daño	31
7.7	Calculo transito equivalente al eje de referencia de 8.2 Tn.	32
8	DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ROTURA	35


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 4 de 85		

9	DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO	36
9.1	Parámetros de entrada software BS-PCAA.....	36
9.2	Pre-dimensionamiento de la losa de concreto por el método de la AASHTO	
	39	
9.3	Dimensionamiento de la losa de concreto por el método de la PCA.....	47
9.4	Variables para el dimensionamiento de la losa de concreto	47
9.5	Análisis de fatiga	50
9.6	Análisis de Erosión.....	54
10	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	60
11	DISEÑO DE JUNTAS	61
11.1	Juntas Longitudinales y barras de anclaje	62
11.2	Juntas de Expansión o aislamiento	64
11.3	Juntas Transversales y pasadores (Transferencia de cargas).	64
11.4	Sellado de Juntas	68
12	MODULACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO.....	69
12.1	Control esfuerzos por cambio uniforme de temperatura	69
12.2	Control esfuerzos internos por gradientes térmicos (alabeo)	70
12.3	Control geométrico.....	75
13	RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS	79
14	CONCLUSIONES.....	83

GRAFICAS


Grafica 1	Selección del módulo de reacción en función del CBR equivalente.	24
Grafica 2	Grafica para hallar factor de ajuste por efecto de ubicación del camión.	
	52
Grafica 3	Carta de Bradbury para hallar los coeficientes de alabeo Cx y Cy.....	73

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 5 de 85		

ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Localización general del proyecto.	11
Ilustración 2 Localización específica del proyecto.	12
Ilustración 3 Localización de los apiques.	14
Ilustración 4 Modelo estructural de mejoramiento de la subrasante metodología IVANOV.....	22
Ilustración 5 Modelo estructural de mejoramiento.	23
Ilustración 6 Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K.	25
Ilustración 7 Distribución de esfuerzos sobre una estructura de pavimento rígido. .	27
Ilustración 8 Esquema de los tipos de ejes y su carga máxima.	28
Ilustración 9 Esquema de clasificación de vehículos	29
Ilustración 10 Esquema de los vehículos de transporte de carga más comunes en Colombia.	33
Ilustración 11 Expresiones para hallar el E_c en función del tipo de agregado.	43
Ilustración 12 Carta para corregir el módulo de reacción efectivo de la subrasante por pérdida potencial de soporte de la subbase.	46
Ilustración 13 Pre-dimensionamiento espesor losa de concreto método de la AASHTO SBG 15 cm.....	47
Ilustración 14 Ajuste dimensionamiento espesor losa de concreto 17 cm.	58
Ilustración 15 Ajuste dimensionamiento espesor losa de concreto 20 cm.	59
Ilustración 16 Modelo seleccionado en dimensionamiento.	59
Ilustración 17 Ubicación de los tipos de juntas.	61
Ilustración 18 Esquema para construcción de juntas longitudinales.	62
Ilustración 19 Ubicación de juntas longitudinales.	62
Ilustración 20 Sección típica para la ubicación de las barras de anclaje y construcción de junta.	63
Ilustración 21 Posición de las juntas de expansión.....	64

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com


CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 6 de 85		

Ilustración 22 Sección típica ubicación de las barras de transferencia y construcción de junta.	66
Ilustración 23 Posición de las juntas transversales.	67
Ilustración 24 Isométrico colocación de barras de transferencia.	67
Ilustración 25 Isométrico losas de concreto y juntas.	68
Ilustración 26 Detalle construcción de juntas.	68
Ilustración 27 Comportamiento de alabeo teórico diurno y nocturno.	71
Ilustración 28 Losa con esfuerzos.	71
Ilustración 29 Representación gráfica de la construcción para pozos de inspección centrados.	76
Ilustración 30 Representación gráfica de la construcción para pozos de inspección sobre una losa.	77
Ilustración 31 Representación gráfica de la construcción para pozos de inspección sobre más de una losa.	77
Ilustración 32 Representación gráfica de la construcción de varios pozos de inspección sobre una losa.	78
Ilustración 33 Representación gráfica de del refuerzo de losas irregulares.	78
Ilustración 34 Representación gráfica de una óptima modulación de losas de concreto.	81
Ilustración 35 Representación gráfica de fisuras por alabeo.	81
Ilustración 36 Representación gráfica de del refuerzo de losas irregulares.	82

TABLAS

Tabla 1 Localización de los apiques.	13
Tabla 2 Resultados de la exploración del subsuelo en el apique ubicado en el punto.	15
Tabla 3 Predicción de la expansividad a partir del límite líquido.	17
Tabla 4 Predicción de la expansividad a partir del IP.	17

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com


CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 7 de 85		

Tabla 5 Verificación del grado de expansión de las muestras.	18
Tabla 6 Selección del CBR de diseño.	18
Tabla 7 Definición de la subrasante en función del % que pasa el tamiz No 200. ..	20
Tabla 8 Clasificación del suelo según el CBR de la subrasante.....	21
Tabla 10 Capacidad de soporte equivalente metodología IVANOV.....	22
Tabla 10 Selección del módulo del conjunto en función del espesor de la subbase y módulo de la subrasante.....	26
Tabla 11 Módulo de reacción y modulo del conjunto de los diferentes tramos viales.	26
Tabla 12 Categoría de tránsito para selección de espesores.	30
Tabla 13 Factor de distribución por carril.	31
Tabla 14 Tasas promedio de crecimiento del tránsito.	31
Tabla 15 Clasificación de vehículos según su carga y tipo de eje.	32
Tabla 16 Calculo de tránsito equivalente diario y total.	34
Tabla 17 Información para el cálculo de espectro de carga.	34
Tabla 18 Resistencia que debe alcanzar el concreto.....	35
Tabla 19 Calculo del radio de carga en función del radio de la llanta.	36
Tabla 20 Selección separación de las llantas.....	37
Tabla 21 Selección ancho de ejes.	37
Tabla 22 Selección separación de ejes.....	38
Tabla 23 Cargas patrón y exponenciales para el cálculo del Factor de equivalencia.....	38
Tabla 24 Factor de seguridad de carga.	38
Tabla 25 Niveles de confiabilidad.	40
Tabla 26 Valores de Zr en función de la confiabilidad.....	40
Tabla 27 Capacidad del drenaje para remover el agua.	42
Tabla 28 Valores de coeficiente de drenaje.	42

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com


CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 8 de 85		

Tabla 29 Coeficiente de transmisión de cargas.....	43
Tabla 30 Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.	43
Tabla 31 Calculo del módulo de elasticidad del concreto.	44
Tabla 32 valores del factor de perdida de soporte Ls en función del tipo de base o subbase.	45
Tabla 33 Valores del coeficiente de expansión térmica del concreto.	49
Tabla 34 Intervalos para el Análisis de Sensibilización.	60
Tabla 35 Análisis de Sensibilización.....	61
Tabla 36 Tabla para la selección de las barras de anclaje.	63
Tabla 37 Espaciamiento de juntas transversales, según el tipo de agregado del concreto.....	65
Tabla 38 Recomendaciones para la selección de barras de transferencia de carga.	66
Tabla 39 Valores del factor de fricción.....	70
Tabla 40 Variables para el cálculo de esfuerzos de bordes e internos.	73
Tabla 41 Línea de tendencia para cálculo de CX y CY.....	74
Tabla 42 Calculo y verificación de esfuerzos de borde.....	74
Tabla 43 Calculo y verificación de esfuerzos internos.....	75
Tabla 44 Uso típico de las diferentes subbases granulares.....	80
Tabla 45 Categoría de transito de acuerdo con INVIAS 2022.	80
Tabla 46 Estructura pre-dimensionamiento pavimento rígido.	83
Tabla 47 Estructura dimensionada pavimentos rígido.	84

ANEXOS

ANEXO 1 PLANOS DE DETALLES CONSTRUCTIVOS.


ANEXO 2 PLANO MODULACIÓN DE LOSAS.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 9 de 85		

1. RESUMEN EJECUTIVO

Para el desarrollo y mejoramiento de un municipio desde la infraestructura vial, es necesario diseñar tanto geométrica como estructuralmente las vías de un proyecto y sus alrededores. Este informe se centra en calcular y dimensionar la estructura de pavimento. A continuación, se hace un breve resumen que describe en términos generales el contenido y los parámetros de diseño empleados. Es necesario aclarar que el insumo principal para el diseño del pavimento rígido en proyectos urbanísticos es el estudio de suelos, el cual fue realizado por la entidad INGELABCON S.A.S, en calidad de subcontratista de esta consultoría. A continuación, se hace un breve resumen que describe en términos generales el contenido y los parámetros de diseño empleados.

En el **numeral 2** se realiza una descripción de la zona de influencia del proyecto, donde se describe la localización geográfica del proyecto ilustrando con imágenes satelitales de Google Earth la ubicación espacial de las vías a intervenir. Adicional en este apartado se realiza una descripción con la nomenclatura de la vía de estudio con su ancho y longitud por tramo.

En el **numeral 3 y 4** se describen los diferentes resultados y parámetros geotécnicos (CBR) considerados para el diseño de la estructura del pavimento rígido. Como primera medida se describe la exploración de campo como resultado de **4 apiques** a lo largo de todo el proyecto. Por último, se realiza una descripción de los parámetros geotécnicos a considerar durante el diseño de la estructura de pavimento, el cual es el CBR de la subrasante.

En el **numeral 5** se realiza la descripción y mejoramiento de la subrasante para la cual se utiliza metodologías que permiten dimensionar el espesor de la capa de mejoramiento y la protección más acorde al tipo de suelo y carga esperada, que permite determinar en función del módulo de la subrasante y el módulo del material de mejoramiento el espesor de la subrasante a mejorar.

En el **numeral 6** se realiza la determinación del módulo de reacción de la subrasante y del conjunto con el fin de definir el espesor de la subbase granular.


En el **numeral 7** se realiza el análisis de tránsito para el cálculo del número de ejes equivalentes. Con la información obtenida se realiza la determinación del tránsito promedio diario TPD, adicional se realiza una mayoración para aumentar la confiabilidad y se selecciona el periodo de diseño.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 10 de 85		

En el **numeral 8** se realiza la selección del módulo de rotura, el cual será seleccionado en función del número de camiones diarios que pasarán en la vía para los años de serviciabilidad y la funcionabilidad definida en el diseño geométrico.

Para el pre-dimensionamiento del espesor de la losa de concreto se utilizará la metodología de la AASHTO. Con el pre-dimensionamiento del espesor de la losa de concreto se procede a verificar los esfuerzos por fatiga y la deflexión por erosión para posteriormente verificar el porcentaje de consumo; este chequeo se realizará por la metodología de la PCA, si es necesario se cambiará el espesor de la losa de concreto para garantizar que el porcentaje de consumo sea inferior al 85%. Ver **numeral 9**.

Una vez dimensionada la losa de concreto se procede a realizar un análisis de sensibilidad cuya finalidad es presentar diferentes alternativas de diseño relacionando diferentes variables y así presentarle al contratante variables en función de los cambios constructivos que se puedan presentar. Ver **numeral 10**.

En el **numeral 11** se realiza el diseño de juntas longitudinales, transversales y de expansión, adicional se presentan los diferentes tipos de aceros a utilizar para la fundación de las losas de concreto.

En el **numeral 12** se puede evidenciar los chequeos para la modulación de las losas de concreto y las dimensiones seleccionadas para controlar los cambios uniformes de temperatura (esfuerzo por tracción admisible) y los esfuerzos que se generen por gradiente térmico (esfuerzos por alabeo).


Por último, en el **numeral 13 y 14** se consignan una serie de recomendaciones constructivas las cuales se recomienda respetar con el fin de garantizar un buen desarrollo de la estructura de diseño y una alta precisión de las cantidades de obra durante la ejecución del proyecto. También se consignan las conclusiones relacionadas con el tipo de estructura a emplear.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

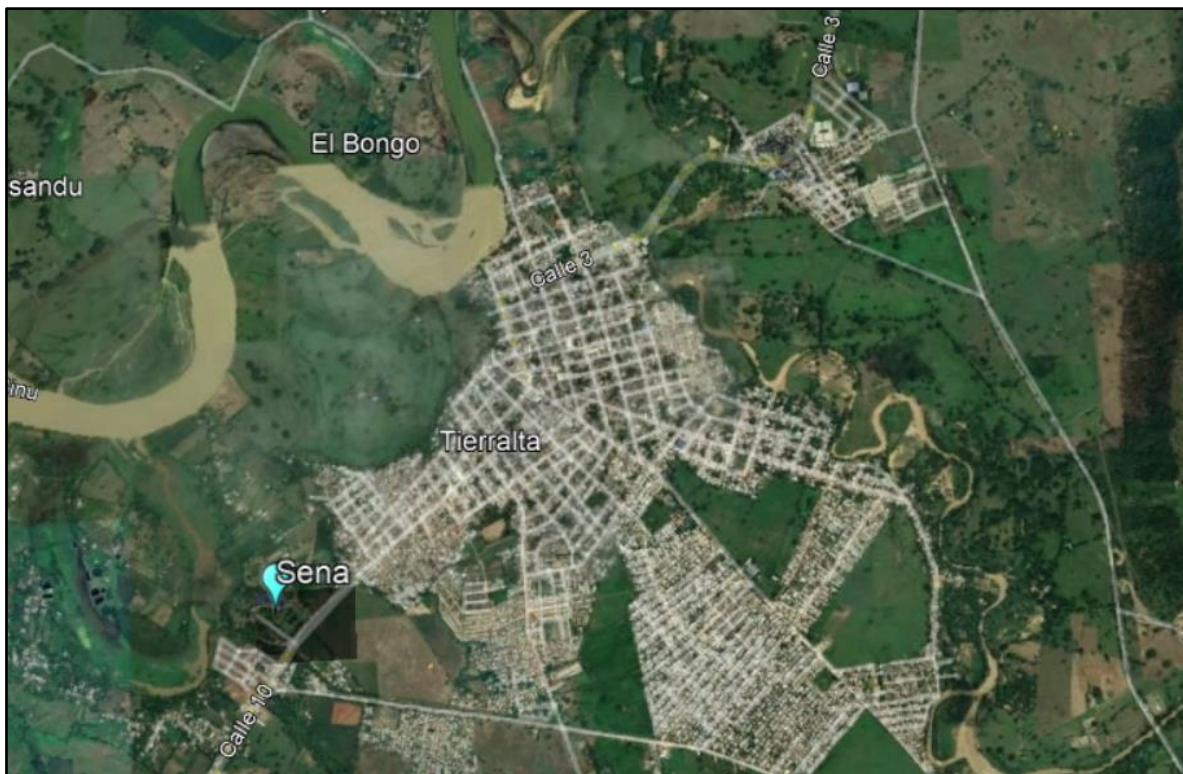
Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 11 de 85		

2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Tierralta es un municipio ubicado al sur del departamento de Córdoba, en la región Caribe de Colombia y a 78 kilómetros de Montería, capital departamental, conocido por tener uno de los parques nacionales naturales más grande del mundo llamado el Nudo de Paramillo, protegido por las Naciones Unidas. Tierralta es un municipio agrícola y ganadero.

El proyecto en estudio se localiza en zona urbano a las afuera del municipio de Tierralta. En las **ilustraciones 1 y 2** se observa la localización general y específica de la vía objeto de estudio respectivamente.




Fuente: Google Earth.
Ilustración 1 Localización general del proyecto.

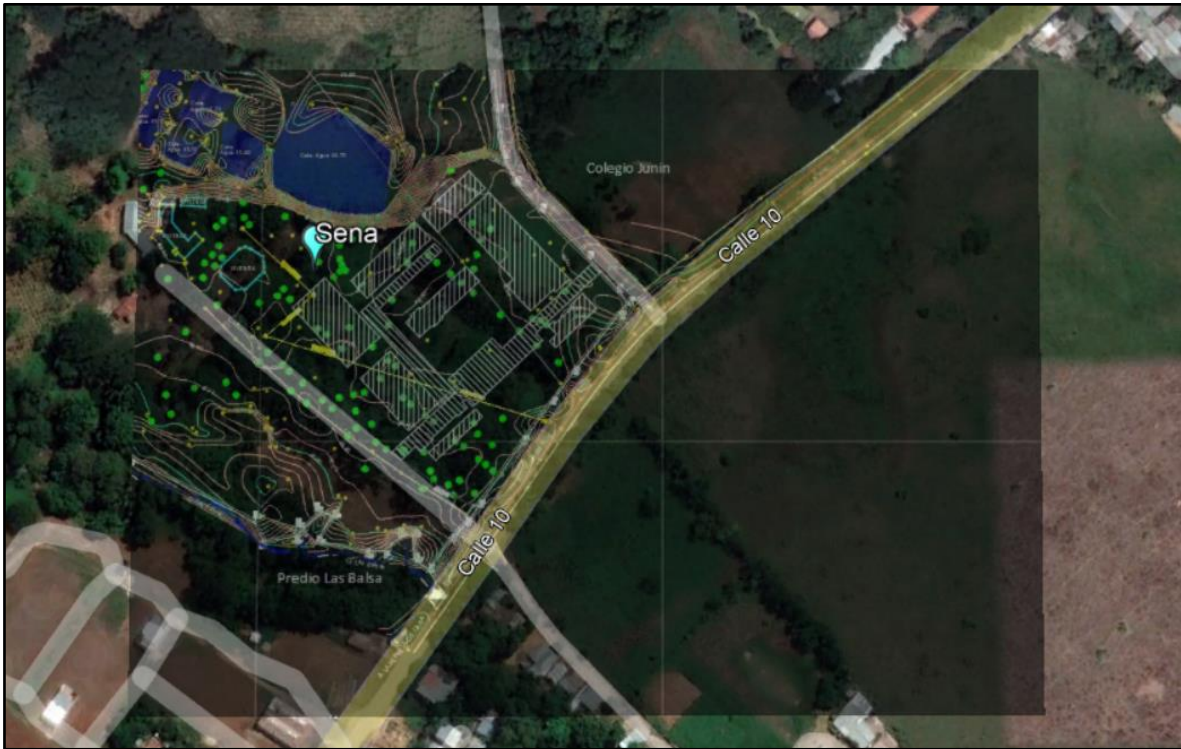
Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 12 de 85		



Fuente: Google Earth.
Ilustración 2 Localización específica del proyecto.

3. RESULTADOS DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO

La firma consultora "INGELABCON S.A.S.". La cual también realiza el estudio de suelos del cual se tomará como referencia los resultados encontrados los cuales serán de suma importancia para el análisis y diseño de pavimento.

3.1 Clasificación primaria


Con la finalidad de caracterizar el suelo de soporte fue necesario realizar **4 apiques** tomando diferentes muestras por cada apique. En el estudio geotécnico se puede observar los resultados de la clasificación primaria, la cual es de gran importancia para el diseño de pavimento. De esta clasificación serán de gran importancia algunas características geotécnicas que serán mencionadas y descritas más adelante.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 13 de 85		

3.2 CBR de laboratorio

Para el diseño de un pavimento rígido, la condición de la subrasante juega un papel fundamental para poder desarrollar un diseño óptimo, por tal motivo es necesario conocer su potencial expansivo y su capacidad portante la cual es expresada por medio de la resistencia al corte o rigidez bajo carga cíclica. Para este diseño se utiliza el ensayo desarrollado por Stanton y Porter en 1929 "CBR Californian Bearing Ratio". En Colombia este ensayo se realiza bajo los lineamientos que se especifican por INVIAS (INV. E-148-13), basado en AASHTO 193-72. En este ensayo el CBR se determina como parámetro mecánico y puede ser realizado in situ o en laboratorio. Cabe resaltar que, para caracterizar la subrasante en laboratorio, se debe realizar sobre muestras inalteradas, dicho de otra forma, no se puede cuantificar de manera directa este parámetro mecánico sobre suelos friccionantes o gruesos (gravas y arenas).

De los **4 apiques** realizados en campo, se obtuvieron **3 CBR** distribuidos espacialmente a lo largo de las vías, los cuales se tomaron para el cálculo del CBR de diseño, así se logró valorar el comportamiento de la subrasante a la compresión en función del módulo resiliente.

En la **tabla 1 e ilustración 3** se visualizan las localizaciones de los apiques

Localización	Apique N°	Muestra	Latitud	Longitud	CBR (%)
Sena Tierralta	A1	2	8° 9'55.37"N	76° 4'13.90"O	3.78
	A2	2	8° 9'55.57"N	76° 4'13.35"O	-
	A3	2	8° 9'54.96"N	76° 4'11.29"O	4.03
	A4	2	8° 9'56.73"N	76° 4'10.86"O	3.48

Fuente: Estudio de suelos.

Tabla 1 Localización de los apiques.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

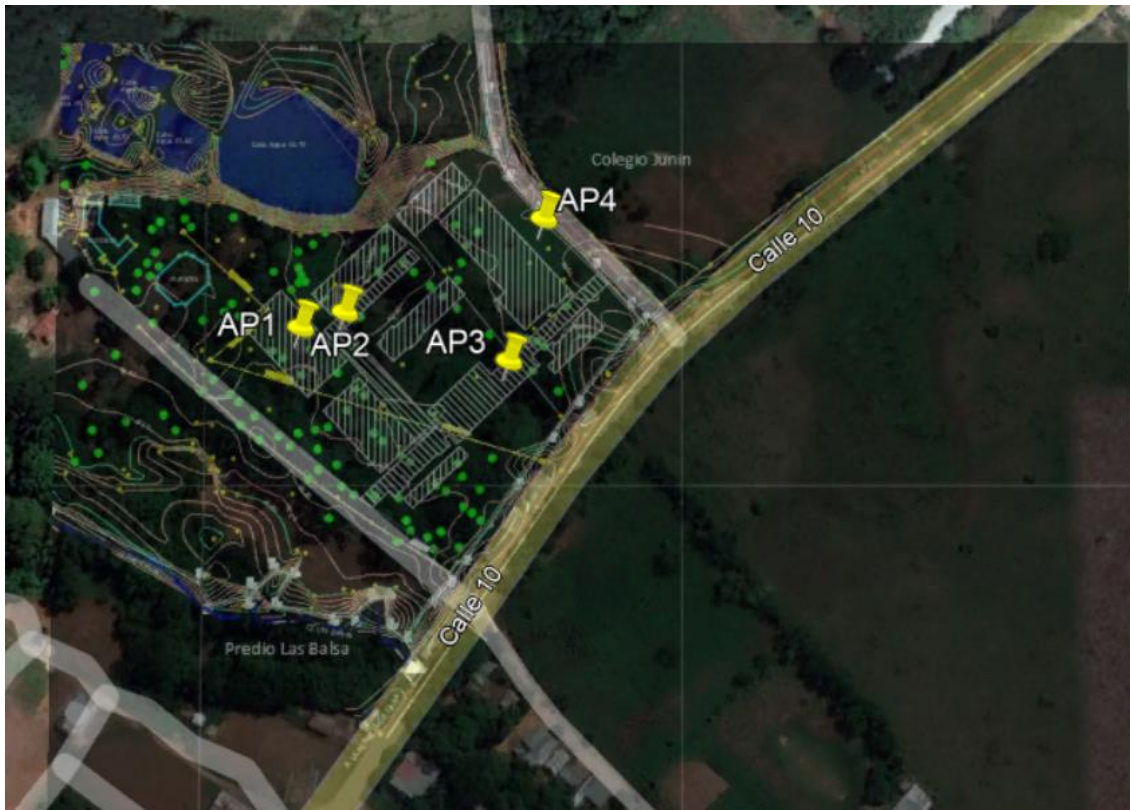
INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 14 de 85		



Fuente: Google Earth.
Ilustración 3 Localización de los apiques.

3.3 Resultados de exploración y caracterización del subsuelo


La exploración de campo permite identificar comportamientos y características de los suelos que se encuentran en la zona de influencia del proyecto, tales como los niveles freáticos que se presentan en la zona de estudio, características de los materiales a diferentes profundidades y estratos, contenido de humedad, límites de consistencia, granulometría y clasificación de los suelos. Los resultados de la exploración de cada apique se pueden observar en el estudio geotécnico. En la **tabla 2** se cita un ejemplo típico de los resultados de los apiques.


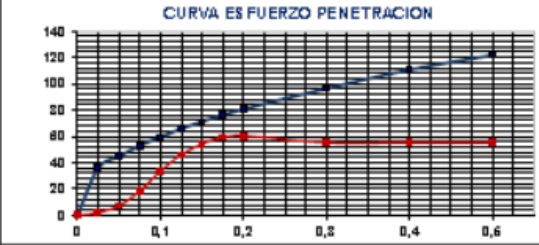


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8


Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 15 de 85		

CÓDIGO: EL-F-9007		FORMATOS		 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados																																																			
FECHA: 12/08/2019		ENSAYO CBR MUESTRA INALTERADA																																																					
VERSIÓN: 00		INV-E-148-13																																																					
PÁGINA: 1 DE 1																																																							
CLIENTE:		ARQ ALVARO ESCOBAR																																																					
PROYECTO:		CONDICIÓN DE TRÁFICO EN LA CARRETERA DE PAVIMENTOS DE CORDOBA																																																					
UBICACIÓN DEL PROYECTO:		BARRIO - CORDOBA																																																					
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:		CBR J		MUESTRA N°: 2																																																			
TAMAÑO MAX. DE PARTICULAS:		IN	COLOR:	PESO																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Grado N.</th> <th>De sumeje</th> <th>Sumeje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.03pulg</td><td>33.7</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.03pulg</td><td>44.3</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.07pulg</td><td>37.7</td><td>18.3</td></tr> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.1pulg</td><td>37.3</td><td>33.6</td></tr> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.123pulg</td><td>63.7</td><td>45.8</td></tr> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.13pulg</td><td>71.7</td><td>34.1</td></tr> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.173pulg</td><td>76.1</td><td>37.3</td></tr> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.3pulg</td><td>88.6</td><td>60.3</td></tr> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.3pulg</td><td>96.5</td><td>33.1</td></tr> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.4pulg</td><td>119.3</td><td>33.1</td></tr> <tr><td>El (b/pulg) pen.0.3pulg</td><td>121.7</td><td>33.1</td></tr> <tr><td>CBR 0.1"</td><td>3.95</td><td>356</td></tr> <tr><td>CBR 0.2"</td><td>3.38</td><td>483</td></tr> <tr><td>CBR 0.4"</td><td>3.95</td><td>356</td></tr> <tr><td>CBR 0.8"</td><td>3.38</td><td>483</td></tr> <tr><td>VALOR CBR</td><td>3.93</td><td>4.83</td></tr> </tbody> </table>		Grado N.	De sumeje	Sumeje	El (b/pulg) pen.0.03pulg	33.7	7.0	El (b/pulg) pen.0.03pulg	44.3	7.5	El (b/pulg) pen.0.07pulg	37.7	18.3	El (b/pulg) pen.0.1pulg	37.3	33.6	El (b/pulg) pen.0.123pulg	63.7	45.8	El (b/pulg) pen.0.13pulg	71.7	34.1	El (b/pulg) pen.0.173pulg	76.1	37.3	El (b/pulg) pen.0.3pulg	88.6	60.3	El (b/pulg) pen.0.3pulg	96.5	33.1	El (b/pulg) pen.0.4pulg	119.3	33.1	El (b/pulg) pen.0.3pulg	121.7	33.1	CBR 0.1"	3.95	356	CBR 0.2"	3.38	483	CBR 0.4"	3.95	356	CBR 0.8"	3.38	483	VALOR CBR	3.93	4.83			
Grado N.	De sumeje	Sumeje																																																					
El (b/pulg) pen.0.03pulg	33.7	7.0																																																					
El (b/pulg) pen.0.03pulg	44.3	7.5																																																					
El (b/pulg) pen.0.07pulg	37.7	18.3																																																					
El (b/pulg) pen.0.1pulg	37.3	33.6																																																					
El (b/pulg) pen.0.123pulg	63.7	45.8																																																					
El (b/pulg) pen.0.13pulg	71.7	34.1																																																					
El (b/pulg) pen.0.173pulg	76.1	37.3																																																					
El (b/pulg) pen.0.3pulg	88.6	60.3																																																					
El (b/pulg) pen.0.3pulg	96.5	33.1																																																					
El (b/pulg) pen.0.4pulg	119.3	33.1																																																					
El (b/pulg) pen.0.3pulg	121.7	33.1																																																					
CBR 0.1"	3.95	356																																																					
CBR 0.2"	3.38	483																																																					
CBR 0.4"	3.95	356																																																					
CBR 0.8"	3.38	483																																																					
VALOR CBR	3.93	4.83																																																					
Humedad: 23.3% Expansión (%): 0.33		PEROS UNITARIOS (Fuerza) HUMEDOS: 1.37 SECO: 1.47		DESCRIPCIÓN DEL SUELO C-1 ARELLA ARENOSA DE ALTA PLASTICIDAD A-7-6 (25)																																																			
Observaciones:																																																							
 JESON ARIAS AGUIRRE LABORATORIO			 ING. CAMILO HERNANDEZ MOYANO COORDINADOR DE ENLACE DE LABORATORIO																																																				
Los informes generados por la organización son realizados con base en los mismos entregados al laboratorio -INGELABCON S.A.S., los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.																																																							
INGELABCON S.A.S. NIT. 901.124.673-8 Oficina: Calle 44 # 1a-60 Barrio Sucre - Montería - Córdoba Cel. 3146317410 - Email: ingelabcon@gmail.com																																																							

Fuente: Estudio de suelos.
 Tabla 2 Resultados de la exploración del subsuelo en el apique ubicado en el punto.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 16 de 85		

4. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Es necesario resaltar que la subrasante corresponde al suelo de soporte de la estructura de pavimento para lo cual se debe tener en cuenta y evaluar los parámetros geotécnicos que serán descritos en este numeral. Cabe resaltar que la evaluación de los parámetros geotécnicos se realizara en las muestras más relevantes de cada apique en función de la profundidad, ya que estas muestras serán de evaluación para soporte de la subrasante; las muestras más superficiales no serán de gran importancia ya que generalmente estas capas serán retiradas y reemplazadas.

4.1 Clasificación del suelo.

La clasificación del suelo se debe realizar según las especificaciones de la norma INV E-180-13 "sistema AASHTO" para mezclas de suelos y agregados de construcción y la norma INV E-181-13 "sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)" para clasificación de suelos con base en determinar en laboratorio la distribución granulométrica, límites y índice de plasticidad.

Se puede evidenciar en los resultados de los apiques que el suelo está compuesto por un material fino compuestos por limos o arcillas de mediana plasticidad en la parte superior de la subrasante.

Del estudio de suelo se puede deducir que el subsuelo entre **1.20 m y 1.50 m** de profundidad está compuesto también por *suelo tipo limo y arcilla arenosa alta plasticidad* por lo cual la interpenetración de partículas se debe considerar como variable fundamental.

4.2 Determinación del grado de expansión:

Una vez realizada la clasificación del suelo por el método de la AASHTO y el método unificado USC, se evalúa el potencial de expansión de la subrasante, ya que en función de esta variable se puede decidir si se realiza mejoramiento de la subrasante para controlar los cambios volumétricos. Generalmente la expansión se presenta en suelos limo-arcillosos donde se debe controlar la estabilidad volumétrica ya que tienden a ser colapsables.

La metodología planteada en la norma INV E-132-07, presenta la importancia de tratar suelos que se expanden y contraen a medida que pasan del estado seco a húmedo o viceversa, generando cambios volumétricos creando movimientos


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 17 de 85		

diferenciales en las estructuras del pavimento que se ven transformadas en agrietamiento de placas.

El potencial de expansión se puede controlar desde el límite líquido y el índice de plasticidad como se muestra en la **tabla 3 y 4** respectivamente. Los parámetros presentados en las tablas mencionadas sirven de referencia para el análisis de los resultados de los apiques existentes y de los cuales se puede deducir según el estudio de suelos que el suelo de la subrasante presenta un grado de expansión alto en función del índice de plasticidad y un grado de expansión medio en función del límite líquido, ver **tabla 5**.

Dicho lo anterior, se considera que el suelo de estudio de la subrasante presenta un material altamente expansivo con riesgo de colapso. Sin embargo, se debe prever el potencial de cambio volumétrico.

GRADO DE EXPANSIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	
	CHEN	NORMA IS 1498
Bajo	< 30	20 – 35
Medio	30 – 40	35 – 50
Alto	40 – 60	50 – 70
Muy alto	> 60	70 – 90

Fuente: Tabla 132-1 norma INV E-132-13 INVIAS.
Tabla 3 Predicción de la expansividad a partir del límite líquido.

GRADO DE EXPANSIÓN	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
	HOLTZ Y GIBBS	CHEN	NORMA IS 1498
Bajo	< 20	0 – 15	< 12
Medio	12 – 34	10 – 35	12 – 23
Alto	23 – 45	20 – 55	23 – 32
Muy alto	> 32	> 35	> 32


Fuente: Tabla 132-2 norma INV E-132-13 INVIAS.
Tabla 4 Predicción de la expansividad a partir del IP.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 18 de 85		

Apique N°	Muestra	Profundidad (m)	IP (%)	Grado de Expansión	LL (%)	Grado de Expansión
A1	2	1.20 - 1.50	22	MEDIO	45	MEDIO
A2	2	1.20 - 1.50	24	ALTO	52	ALTO
A3	2	1.20 - 1.50	27	ALTO	55	ALTO
A4	2	1.20 - 1.50	20	MEDIO	48	MEDIO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5 Verificación del grado de expansión de las muestras.

4.3 Presencia de nivel freático:

Las exploraciones realizadas demuestran que en la zona de estudio las vías no se encuentran en presencia del nivel freático, pero a la hora de determinar la capacidad de soporte de la subrasante, es necesario considerar condiciones sumergidas ya que en época de invierno se puede generar una ascensión del nivel freático.

4.4 CBR de diseño

Con el fin de determinar la capacidad portante del suelo de subrasante se realizaron **4 apiques**, a los cuales se les pudo realizar la inmersión de 4 días para determinar el CBR de diseño

La necesidad de utilizar el CBR sumergido obedece a que los niveles freáticos no son existentes en la zona en estudio, pero en época de invierno pueden ser superficiales, adicional a esto se busca contemplar el escenario más desfavorable al cual puede llegar a ser sometida la estructura. En la **tabla 1** se puede observar los resultados obtenidos por cada apique y en la **tabla 6** se define el CBR de diseño tomando el promedio, esto se realizó debido a que se tienen 5 valores o menos de CBR, en caso contrario se puede usar el criterio del percentil 75 planteado por el instituto del asfalto.

Localización	Apique N°	Muestra	Profundidad (m)	CBR (%)	CBR (%) Seleccionado
Sena Tierralta	A1	2	1.20 - 1.50	3.78	3.76
	A2	2	1.20 - 1.50	-	
	A3	2	1.20 - 1.50	4.03	
	A4	2	1.20 - 1.50	3.48	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6 Selección del CBR de diseño.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 19 de 85		

5. DESCRIPCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE

Según el estudio geotécnico y lo descrito en el numeral anterior, el suelo de la vía de estudio se presenta problemas de capacidad de soporte por baja resistencia al corte, un grado de expansión alto, por lo cual es necesario realizar un reemplazo de la subrasante. Ya que la composición geotécnica de la subrasante está dada por suelos arenosos de grano fino y gruesos presentando una buena resistencia la cual no afecta la capacidad portante.

Como se puede observar en los resultados que se obtuvieron en los estudios de suelo, el suelo de soporte no cumple en muchos de los casos, con el valor mínimo requerido de una subrasante (CBR = 5%) ya que el CBR de diseño hallado es **3.762%** $\approx Mr = 419.48 \text{ Kg/cm}^2$, correlación obtenida de la ecuación $Mr = 2555 * (CBR^{0.64}) * 0.0703$, presentada por Lister y Powell (1987), la cual es la utilizada en la metodología mecánico - empírica para el método de diseño INVIAS 2013.

5.1 Condiciones de la subrasante:

Este parámetro es de gran importancia a la hora de evaluar condiciones de mejoramiento o reemplazo de la subrasante, definir si son suelos granulares de los cuales nos interesa conocer la resistencia o si son suelos finos de los cuales nos interesa la estabilidad volumétrica. Adicional se puede evaluar la alternativa de la instalación de un geotextil, ya sea tejido o no tejido en función del CBR de diseño y la granulometría.


Generalmente los suelos de subrasante son suelos arcillosos, limosos o materiales finos con alta plasticidad, los cuales tienden a ser colapsables. Los resultados geotécnicos, permiten observar dentro del análisis granulométrico de las muestras estudiadas en función del porcentaje que pasa el tamiz No 200 que tipo de material es: una arcilla arenosa de alta plasticidad. Ver **tabla 7**.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 20 de 85		

Localización	Apique N°	Muestra	Profundidad (m)	% Que Pasa Tamiz No 200 (%)	Tipo de Suelo
Sena Tierralta	A1	2	1.20 - 1.50	50.00	Limo arenoso de alta plasticidad (MH)
	A2	2	1.20 - 1.50	79.00	Arcilla arenosa de alta plasticidad (CH)
	A3	2	1.20 - 1.50	70.00	Arcilla arenosa de alta plasticidad (CH)
	A4	2	1.20 - 1.50	27.00	Arcilla arenosa con presencia de grava (SC)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7 Definición de la subrasante en función del % que pasa el tamiz No 200.

A continuación, se presenta una metodología para calcular CBR de diseño equivalente para cumplir la relación en función del espesor del material de mejoramiento y CBR del material de mejoramiento que en este caso sería el mínimo valor del CBR mínimo de 10%.

5.2 Metodología de Ivanov para calcular CBR de diseño equivalente.

Esta metodología permite calcular el espesor del refuerzo de mejoramiento de la subrasante, en este caso el material de espesor se calcula por sobrecargas por tanto se puede calcular CBR de diseño equivalente garantizando que en todo el tramo vial se cumpla los valores de espesor de mejoramiento y CBR de material de mejoramiento, el cual plantea una ecuación en función del espesor del material de mejoramiento y su módulo, el módulo de resiliencia de las condiciones actuales de la subrasante y el radio del área cargada.

Como se mencionó anteriormente es necesario garantizar que en todo el tramo vial el material encontrado en campo cumpla con un valor mínimo requerido para una subrasante de buenas condiciones. Según la **tabla 8** esta consultoría contempla un valor de CBR mínimo de 5% para Afirmado y subbases y además debe cumplir con las especificaciones del artículo **230-22** de la norma INVIAS.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 21 de 85		

CBR [%]	Clasificación general	Usos
0 – 3	Muy pobre	Subrasante
3 – 7	Pobre a regular	Subrasante
7 – 20	Regular	Afirmados y subbase
20 – 50	Bueno	Subbase y base
> 50	Excelente	Base

Fuente: Tabla 8.12 Pavimentos (Materiales, Construcción y Diseño), Hugo Rondón y Freddy Reyes.

Tabla 8 Clasificación del suelo según el CBR de la subrasante.

Para determinar el módulo resiliente de la subrasante y del material de mejoramiento se utilizó la correlación con el valor de CBR cuya expresión es $Mr=2555*(CBR^{0.64}) *0.0703$, adicional a esto para obtener el CBR de diseño equivalente se plantea el cálculo del modelo resiliente equivalente, mediante la formulación propuesta por IVANOV:

$$E_e = \frac{E_0}{1 - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right) \arctan \left(\frac{ns}{2a} \right)}$$

$$n = 2.5 \sqrt{\frac{E_1}{E_0}}$$

EC 1

Donde:

E_e : Módulo resiliente equivalente (kg/cm²)

E_0 : Módulo resiliente del material de la subrasante (kg/cm²)

E_1 : Módulo resiliente del material de mejoramiento (kg/cm²)

n : Módulo ponderado de las capas

s : Espesor del material de mejoramiento (cm)

a : Radio del área cargada (cm)

La **ecuación 1** permite encontrar una equivalencia del módulo de resiliencia y CBR de diseño, el cual según especificaciones y experiencia debe estar limitado a 5.0%, para lo cual se considera que el CBR del material de reemplazo equivale a 10% según el resultado de estudio de suelo, de esta forma podemos conservar la relación a la compresión entre el módulo del material de reemplazo y el módulo


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

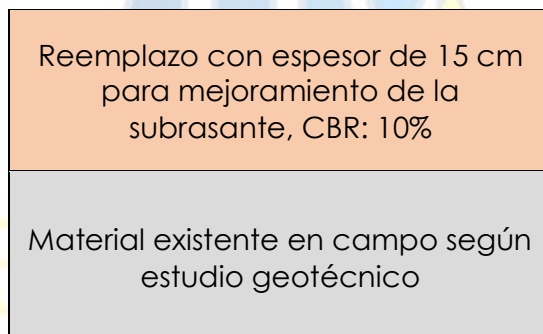
CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 22 de 85		

equivalente. En la **tabla 10** se reporta el resultado de la modelación utilizando la teoría de Ivanov.

Metodología Ivanov		
CBR Subrasante (%)	3.76	CBR suministrado estudio geotécnico
CBR Material de mejoramiento (%)	10	CBR del material de remplazo
MR subrasante (Kg/cm ²)	419.29	módulos resilientes por correlación (MR=2555*CBR ^{0.64}) *0.070307. Lister y Powell (1987)
MR Mejoramiento (Kg/cm²)	784.13	
n	1.28	Modulo ponderado de las Capas
2a (cm)	30.14	Radio del área cargada (15.07)
s (cm)	15	Espesor del material de mejoramiento
MR Equivalente (Kg/cm²)	531.67	Modulo resiliente equivalente (Ivanov)
MR Equivalente (PSI)	7562.13	
CBR de Diseño Equivalente (%)	5.49	CBR de diseño

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9 Capacidad de soporte equivalente metodología IVANOV.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 4 Modelo estructural de mejoramiento de la subrasante metodología IVANOV.

De lo anterior se infiere que el espesor del material encontrado en campo que actuará como mejoramiento de la estructura de pavimento para las vías del Sena Tierralta es de **15 cm** a lo largo de todo su trayecto, además de presentar un **CBR de 10%**, para garantizar un CBR de Diseño Equivalente mínimo de 5.49%.

5.3 Modelo seleccionado

Una vez evaluado el espesor de mejoramiento de la subrasante por la metodología IVANOV se selecciona el modelo más acorde a las circunstancias actuales de la vía:


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

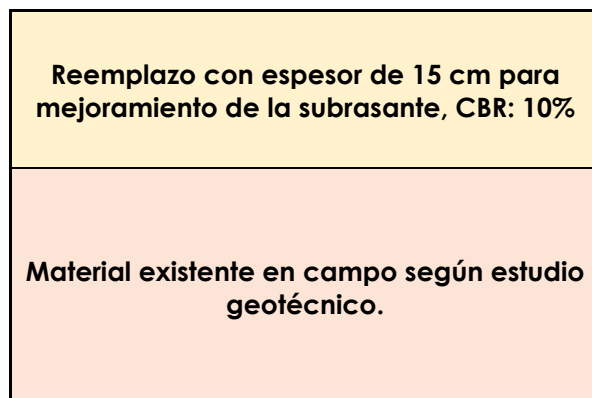
NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 23 de 85		

Se selecciona el mejoramiento recomendado por la metodología de IVANOV. **Ver ilustración 5.**



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 5 Modelo estructural de mejoramiento.

6. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DEL CONJUNTO Y ESPESOR DE SUBBASE

6.1 Determinación del módulo de reacción de la subrasante

Dada la dificultad de realizar el ensayo de placa para determinar el módulo de reacción de la subrasante, y teniendo en cuenta que para el diseño de los pavimentos de concreto se admiten aproximaciones en la determinación de la capacidad de soporte del suelo, se puede recurrir a correlaciones entre el valor K con el del CBR.

Con base en el CBR equivalente se determina el valor del módulo de reacción (K) de la subrasante según correlaciones representadas en la **gráfica 1**. La ecuación que más se ajustó a la serie de datos fue la polinómica cuya forma es:

$$K = -0.0005CBR^2 + 0.2547CBR + 2.7713 \quad EC 4$$

Donde:

- ✓ CBR corresponde al CBR de diseño.
- ✓ K corresponde al módulo de reacción de la subrasante.


Los valores representados en la **gráfica 1**, corresponden a los correlacionados en la **ilustración 6**, los cuales fueron graficados para hallar un modelo que permita calcular el valor del módulo de reacción de la subrasante de forma analítica y más precisa por medio de la ecuación 4.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

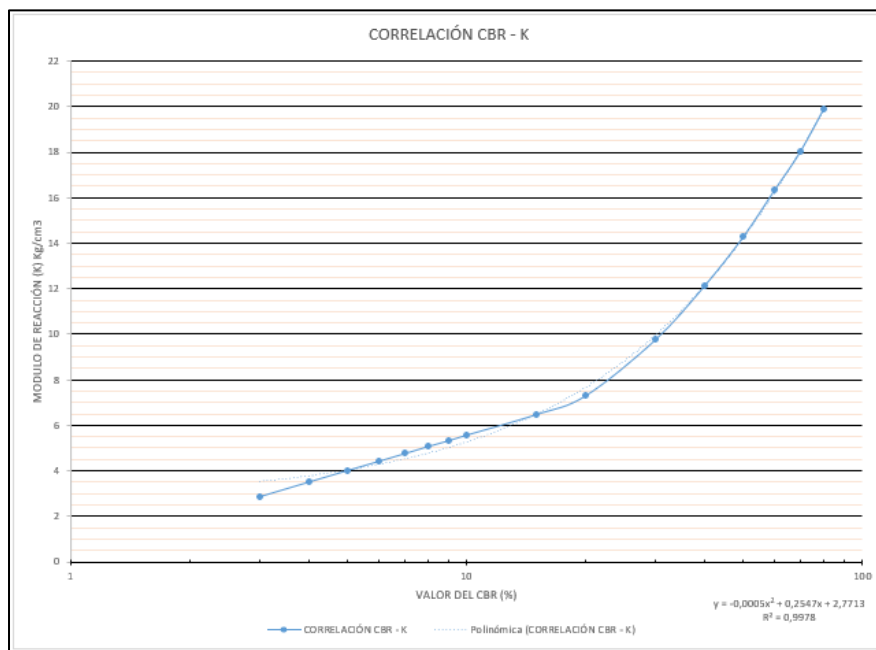
INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 24 de 85		

El valor calculado del módulo de reacción K de la subrasante para un CBR equivalente de 5.49% es igual a ($K = 4.155 \text{ Kg/cm}^3 \approx 41.55 \text{ Mpa/m}$).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 1 Selección del módulo de reacción en función del CBR equivalente.

INGELABCON S.A.S.
Confiabilidad en nuestros resultados

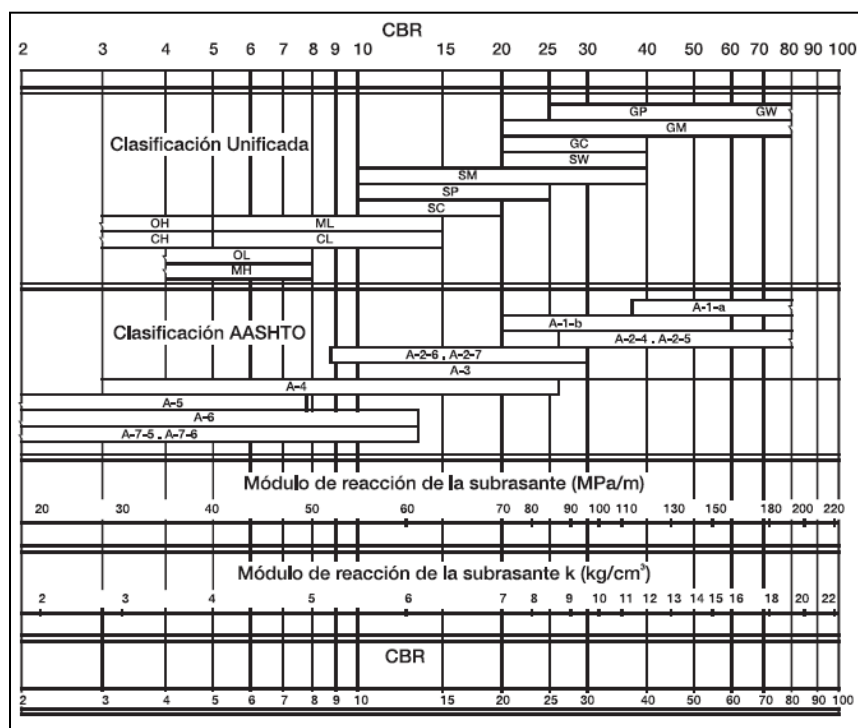
Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com



Fuente: Tabla 2.12 M.D.C INVIAS.

Ilustración 6 Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K.

6.2 Determinación del módulo del conjunto y espesor de la subbase

Una vez calculado el módulo de reacción de la subrasante, se calcula el módulo de reacción del conjunto para el cual se debe seleccionar el espesor de la subbase granular. Para este caso será seleccionado un espesor de subbase granular de 15 cm para verificar los esfuerzos y deflexiones equivalentes de la losa de concreto en función del consumo vehicular. El espesor seleccionado de subbase granular es de 15 cm. El cálculo se realiza con base en la tabla **2.15** del M.D.C en cada tramo vial. Ver **tabla 10**.

En la **tabla 11** se observa el resumen del módulo del conjunto para cada espesor de subbase y para cada tramo de vía.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 26 de 85		

Modulo K Subrasante		Modulo K de Subbase/Subrasante									
		100		150		200		250		300	
Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci
20.00	73.00	23.0	85.0	26.0	96.0	30.0	110.0	34.0	124.7	38.0	140.0
30.00	109.50	34.0	124.5	37.5	137.4	42.2	154.4	47.0	172.5	52.0	191.8
35.00	127.75	39.5	144.2	43.3	158.1	48.3	176.6	53.5	196.4	59.0	217.7
40.00	147.00	45.0	165.0	49.0	180.0	54.3	200.0	60.0	221.7	66.0	245.0
41.55	151.64	46.5	169.4	50.3	184.1	55.7	204.3	61.6	226.4	67.9	250.4
60.00	220.00	64.0	235.0	66.0	245.0	72.7	268.3	80.7	296.7	90.0	330.0
80.00	295.00	87.0	320.0	90.0	330.0	96.7	356.7	105.7	390.0	117.0	430.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10 Selección del módulo del conjunto en función del espesor de la subbase y módulo de la subrasante.

Módulo de Reacción (K)						Espesor de Subbase (cm)
Subrasante Mejorada (K) (Kg/cm3)	Subrasante Mejorada(K) (Mpa/m)	Subrasante Mejorada(K) (pci)	Conjunto (Kg/cm3)	Conjunto (Mpa/m)	Conjunto (pci)	
4.155	41.55	151.64	5.031	50.31	184.13	15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11 Módulo de reacción y modulo del conjunto de los diferentes tramos viales.

El proceso de compactación y colocación de la subbase granular debe realizarse según las especificaciones del artículo **INV 320 – 22** (Subbase granular) de la norma INVIAS. La finalidad de la construcción de la capa en subbase granular, es que funcione como suelo de soporte para la losa de concreto rígido, ya que en el proceso de distribución de cargas la losa de concreto absorbe más del 97 % de las solicitudes.


A continuación, se puede observar el comportamiento de distribución de cargas en la estructura del pavimento, donde se observa como el espesor de la placa de pavimento en función del módulo de elasticidad del concreto $E=250000 \text{ Kg/cm}^2$ y el coeficiente de Poisson = 0.15, absorbe la mayoría de los esfuerzos verticales con relación a la carga y el radio de la llanta, garantizando que los esfuerzos que llegaran a la subrasante son mínimos (< 3%).

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 27 de 85		

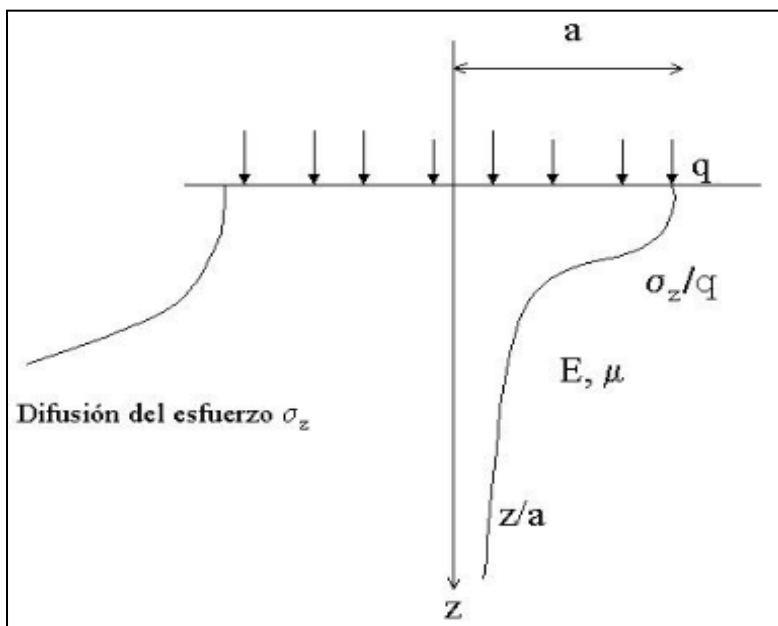


Ilustración 7 Distribución de esfuerzos sobre una estructura de pavimento rígido.


INGELABCON S.A.S.
 Confiabilidad en nuestros resultados

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
 Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 28 de 85		

7. ANÁLISIS DEL TRANSITO

Durante la etapa de diseño es necesario conocer la cantidad de vehículos que pasan actualmente por la vía (TPD), de igual forma se debe conocer el tránsito o número de ejes que pasaran durante el periodo de diseño, sin dejar a un lado que esta variable genera mucha incertidumbre ya que no se conoce a ciencia cierta el número de ejes exactos que pasaran por la vía en el periodo de diseño; la proyección permite hallar un acercamiento.




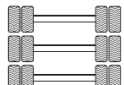
El análisis de tránsito se debe realizar por medio de conteos vehiculares que permitan calcular el número de ejes equivalentes asociados al periodo de diseño, sin embargo, cuando este conteo no se puede realizar, se puede categorizar la vía según su funcionalidad y geometría, con el fin de utilizar aproximaciones definidas en el manual de diseño de concreto de bajos volúmenes de tránsito de INVIAS. A continuación, se desglosan los diferentes parámetros o variables para definir el tránsito equivalente asociado a un periodo de diseño.

7.1 Clasificación y peso vehicular

El instituto nacional de vías ha designado la siguiente terminología para los vehículos que circulan en el país:

- ✓ A = vehículos livianos
- ✓ B = Buses
- ✓ C = Camiones.

Además, ha clasificado el tipo de vehículo de acuerdo con el número y disposición de sus ejes como se muestra en la **ilustración 8 y 9**.

Descripción	Configuración	Peso, t
Eje simple direccional		6,0
Eje simple llanta doble		11,0
Eje tandem llanta doble		22,0
Eje tridem llanta doble		24,0


Fuente: Figura 1.2 Manual de diseño de pavimentos de concreto.
Ilustración 8 Esquema de los tipos de ejes y su carga máxima.




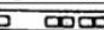

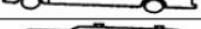
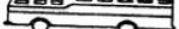









Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 29 de 85		

TIPO DE VEHÍCULO		ESQUEMA
AUTOS		
		
		
		
BUSES	BUSETA	
	BUS	
	BUS METROPOLITANO	
C2-P	CAMIÓN DE DOS EJES PEQUEÑOS	
C2-G	CAMIÓN DE DOS EJES GRANDES	
C3 Y C4	CAMIÓN C3	
	CAMIÓN C4	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S1	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S2	
	TRACTOR CAMIÓN C3-S1	
C5	TRACTOR CAMIÓN C3-S2	
> C5	TRACTOR CAMIÓN C3-S3	

Fuente: Figura 2.1 Manual de diseño pavimentos asfálticos vías con bajos volúmenes de tránsito.

Ilustración 9 Esquema de clasificación de vehículos

7.2 Transito promedio diario

La determinación de la variable tránsito se puede hacer con diferentes grados de aproximación, en este caso se tendrá en cuenta la categoría de tránsito según la tabla 3.1 del M.D.C donde se tiene en cuenta la categoría de la vía, tipo de la vía, TPDs y ejes acumulados de 8.2 ton ver **tabla 12**.

Como no se pudo realizar el conteo vehicular, se tiene en cuenta el transito según la categorización de la **tabla 12**, la cual se obtuvo de los espectros de carga


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 30 de 85		

obtenidos con la distribución de pesos para los diferentes tipos de eje por cada 1000 camiones, en diferentes estaciones de pesaje del país. Para lo cual se obtuvo que las vías a intervenir son de categoría T0, vías terciarias, estrecha, para un TPD de 100 vehículos.

Esta consideración se realiza ya que, por las vías diseñadas, solo llegaran camiones C2P o C3 pocas veces a la semana a prestar servicio de recolección de basuras o abastecimiento de enceres y alimentos.

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T ₀	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1'000.000
T ₁	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T ₂	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T ₃	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T ₄	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T ₅	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T ₆	(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

En la Tabla 3-1 las siglas tienen el siguiente significado:	
M: Medias	
Vt: Vía terciaria	A: Anchas
Vs: Vía secundaria	CC: Carreteras de 2 direcciones
Vp: Vía principal	MC: Carreteras multicarriles
E: Estrechas	AP: Autopistas

Fuente: Tabla 3.1 M.D.C.
Tabla 12 Categoría de tránsito para selección de espesores.

7.3 Periodo de diseño

Los periodos de diseño pueden variar entre 10 y 30 años según la categoría de la vía seleccionada, para este caso consideramos un periodo de diseño de 20 años, el cual bajo premisas teóricas debe coincidir como mínimo con la vida útil del pavimento rígido, en el caso que exista una buena certidumbre en el análisis de las variables de diseño.

7.4 Distribución direccional y por carril de vehículos pesados


Mediante observación, se determina la distribución direccional (Fd) de los vehículos comerciales o bien se adopta una distribución del 50% en cada dirección.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 31 de 85		

Posteriormente, se corrige el número de vehículos comerciales en cada dirección por un factor de distribución por carril (Fca) en función del número de carriles en cada sentido, para lo cual se recomienda la **tabla 13**.

De acuerdo con la **tabla 14** se infiere que el factor direccional es igual a 0.50, y el factor carril es igual a 1.

Clasificación de la vía	% por dirección	% para el carril de diseño	% del Tpd en el carril de diseño
Autopistas y vías multicarril con tres carriles por dirección	50	75	37,5
Autopistas y vías multicarril con dos carriles por dirección	50	90	45,0
Carreteras anchas y de dos direcciones	50	100	50
Carreteras de dos direcciones y con ancho medio	100	75	75
Carreteras estrechas y de dos direcciones	100	100	100

Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos de concreto.

Tabla 13 Factor de distribución por carril.

7.5 Tasa de crecimiento

En caso de no disponer de una serie histórica, para determinar el pronóstico del tránsito futuro se puede establecer la tasa de crecimiento con base a la información registrada en la **tabla 14**.

Nivel de tránsito	Tasa de crecimiento
T1	2.0
T2	3.0

Fuente: Tabla 2.3. Manual de diseño pavimentos asfálticos para vías bajos volúmenes de tránsito.

Tabla 14 Tasas promedio de crecimiento del tránsito.

7.6 Factor daño

Para realizar el cálculo del factor daño de un vehículo se utilizó el método de la AASHTO simplificado o método de la cuarta potencia, por lo que es necesario conocer la clasificación, peso máximo bruto, cargas por ejes en toneladas y el tipo de eje como se muestra en la **tabla 15**.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 32 de 85		

Tipo	Peso Bruto Máximo (Ton)	Carga (Ton)			Carga (Ton)			Calculo FD
		Eje Delantero	Eje Trasero	Eje Remolque	Eje Delantero	Eje Trasero	Eje Remolque	
Bus	10	4	6		0.13	0.29		0.42
Camion C2 Pequeño	8.5	2.5	6		0.02	0.29		0.31
Camion C2 Grande	17	6	11		0.68	3.24		3.92
Camion C3	28	6	22		0.68	4.63		5.31
Camion C5	48	6	21	21	0.68	3.84	3.84	8.37
Camión C3-S3	52	6	22	24	0.68	4.63	1.19	6.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Clasificación de vehículos según su carga y tipo de eje.

7.7 Calculo transito equivalente al eje de referencia de 8.2 Tn.

Para el cálculo del tránsito equivalente la variable de tránsito se considera como una de las variables más subjetivas durante el diseño de pavimentos. El número de ejes equivalentes de 8.2 Tn se puede hallar por medio de la **ecuación 5**. De igual forma se calcula el espectro de cargas por cada eje según el número de vehículos diarios por medio de la **ecuación 6**.

$$N = Nd * 365 * Fs * Fc * \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \quad EC 5$$

$$N = Nvdi * 365 * Fs * Fc * \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \quad EC 6$$

Donde

N = Numero de ejes equivalentes de 8.2 Tn.

Nd = Transito equivalente diario = $\sum(Nvdi * Fdi)$

Nvd = Numero de vehículos diarios según distribución de vehículos.

Fd = Factor daño de cada vehículo.

Fs = Factor sentido.

Fc =factor carril.

r = Tasa de crecimiento.

n = Periodo de diseño en años.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.





INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	<p style="text-align: center;">FORMATO</p> <p style="text-align: center;">INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS</p>	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 33 de 85		

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletrque
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Fuente: Figura 1.1 Manual de diseño de pavimentos de concreto.
Ilustración 10 Esquema de los vehículos de transporte de carga más comunes en Colombia.

A continuación, se presenta los cálculos obtenidos de tránsito equivalente diario y total que no es más que el número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 tn en el carril de diseño durante el periodo de diseño, adicional se presenta el espectro de carga ver **tabla 16**.


Una vez calculado el número de ejes equivalentes de 8.2 Tn en la **tabla 17**, se puede categorizar la vía para selección de espesores, específicamente conociendo el número de camiones que pasan por la vía, ya que estos son los que van transmitir cargas significativas a la estructura de pavimento.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 34 de 85		

Calculo Transito Equivalente Diario y Total				
TPD	100	Tasa de Crecimiento	3	
Factor Sentido	0.5	Factor Carril	1	
		Periodo de Diseño (Años)	20	
Vehiculos	Porcentaje (%)	Numero de Vehiculos Diarios	Factor Daño	Transito Equivalente Diario
Vehiculos		100		
Autos	89	89	0.00	0
Buses	2	2	0.42	1
Camiones	9	9		
C2P	33	3	0.31	1
C2G	33	3	3.92	12
C3	33	3	5.31	16
C3S2	0	0	8.37	0
C3S3	0	0	6.50	0
Transito Equivalente Diario				29
Transito Equivalente Total Acumulado				144467

Fuente: Elaboración propia.
 Tabla 16 Calculo de tránsito equivalente diario y total.

Información por Calculo Espectro de Carga											
Vehiculos	Numero de Vehiculos Acumulados	Simples de Rueda Simple (Tn)				Simple de Rueda Doble (Tn)		Tandem (Tn)			Tridem
		2.5	4	6	7	6	11	20	21	22	24
Vehiculos											
Autos	436442										
Buses	9808		9808			9808					
Camiones											
C2P	14712	14712				14712					
C2G	14712			14712			14712				
C3	14712			14712						14712	
C3S2	0			0					0		
C3S3	0			0						0	0
TOTAL	490384	14712	9808	29423	0	24519	14712	0	0	14712	0

Fuente: Elaboración propia.
 Tabla 17 Información para el cálculo de espectro de carga.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 35 de 85		

8. DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ROTURA

La resistencia a la flexión o módulo de rotura es utilizada en pavimentos rígidos ya que los esfuerzos a la compresión generados por las diferentes cargas en la superficie del pavimento son equivalentes a la presión de inflado, por lo cual la resistencia a la compresión se considera muy baja. De lo mencionado anteriormente se deduce que el parámetro de control en un pavimento rígido es la resistencia a la flexión influenciada por la temperatura, la geometría de las losas y principalmente el paso de los vehículos. Sin embargo, existen correlaciones que permiten calcular el módulo de rotura en función de la resistencia a la compresión, siendo la más utilizada la presentada en la **ecuación 7**.

$$MR = k\sqrt{F_c} \quad EC 7$$

Donde:

MR = Modulo de rotura (Kg/cm²)

k = Coeficiente que varía entre 2.0 y 2.7, siendo 2.67 el más aproximado

F_c = Resistencia a la compresión (Kg/cm²)

Para la determinación del módulo de rotura se tendrán en cuenta para el diseño cuatro niveles de resistencia a la flexión de acuerdo con el nivel de tránsito, según lo indica la **tabla 16**. Una vez calculado el TPD se debe conocer el número de camiones que pasan por día sobre la vía en estudio, con base en este valor se determina el módulo de rotura del concreto.

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

Fuente: Tabla 3.1 M.D.C.

Tabla 18 Resistencia que debe alcanzar el concreto.

Una vez calculado el TPD y apoyado en la **tabla 17**, se puede determinar el módulo de rotura de la losa de concreto: número de **camiones = 9**, **MR = 3.8 Mpa**.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 36 de 85		

9. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO

Una vez determinadas los parámetros de control; se procedió a diseñar la estructura de pavimento correspondiente a las vías estudiadas, para el diseño de la estructura de pavimento se utilizó el software BS-PCA Diseño de pavimentos rígidos.

9.1 Parámetros de entrada software BS-PCAA

Como primera medida es necesario definir una serie de parámetros para hacer uso efectivo del software, la primera ventana solicita la variable tránsito donde se debe definir el tránsito por eje, radio de carga, separación de las llantas, ancho de eje, separación de ejes, carga de referencia y exponente, factor de seguridad de carga y factor mayoración de repeticiones.

✓ Tránsito por eje

El tránsito por eje se selecciona de la **tabla 17 y 17**, donde se visualiza el espectro de carga por cada eje.

✓ Radio de carga (cm)

El radio de carga se determina como la relación de la presión de inflado y el peso de la llanta como se muestra en la **tabla 19**.

Tipo de Eje	SRS	SRS	SRD	SRD	Tandem
# De Llantas	2	2	4	4	8
Peso por Eje (Tn)	4	6	6	10	22
Peso por Llanta (P) (Tn)	2	3	1.50	2.50	2.75
Peso por Llanta (P) (Kn)	19.6	29.4	14.72	24.53	26.98
Presión de inflado por Llanta (Q) Kg/cm ²	7.73	7.73	7.73	7.73	7.73
Radio de la Llanta (a) cm	9.07	11.11	7.86	10.14	10.64

Fuente: Elaboración propia.


Tabla 19 Calculo del radio de carga en función del radio de la llanta.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 37 de 85		

✓ Separación de las llantas (cm)

La separación de las llantas se determina según los vehículos que circulan por las carreteras colombianas como se muestra en la **tabla 20**. Este valor obedece a 3 veces el radio de la llanta.

Tipo de Eje	Separación de las Llantas (cm)
Eje Simple de Rueda Simple	28
Eje Simple de Rueda Doble	24
Eje Tandem Rueda Simple	34
Eje Tandem Rueda Doble	31
Eje Tridem	32

Fuente: Elaboración propia.
Tabla 20 Selección separación de las llantas.

✓ Ancho de eje (cm)

El ancho de eje se determina según los vehículos que circulan por las carreteras colombianas como se muestra en la **tabla 21**.

Tipo de Eje	Ancho de Eje (cm)
Eje Simple de Rueda Simple	170
Eje Simple de Rueda Doble	141
Eje Tandem Rueda Simple	182.8
Eje Tandem Rueda Doble	182.8
Eje Tridem	182.8


Fuente: Elaboración propia.
Tabla 21 Selección ancho de ejes.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 38 de 85		

✓ **Separación de ejes (cm)**

La separación de ejes se determina según los vehículos que circulan por las carreteras colombianas como se muestra en la **tabla 22**.

Tipo de Eje	Separacion de Eje (cm)
Eje Simple de Rueda Simple	0
Eje Simple de Rueda Doble	0
Eje Tandem Rueda Simple	127
Eje Tandem Rueda Doble	127
Eje Tridem	127

Fuente: Elaboración propia.
Tabla 22 Selección separación de ejes.

✓ **Carga de referencia y exponente**

Eje	Direccional	Sencillo de llanta doble	Tándem	Trídem
Carga patrón (kN)	60.00	81.81	132.14	184.00
Exponencial	4	4,5	4,2	4,3

Fuente: Manual de diseño de concreto INVIAS.
Tabla 23 Cargas patrón y exponenciales para el cálculo del Factor de equivalencia.

✓ **Factor de seguridad de carga**

Tipo de Vía y Condiciones de Transito	Factor de Seguridad de Carga
Vías de Tránsito Pesado (Autopistas de Varios Carriles)	1.20
Carreteras y Arterias Urbanas con Transito Medio	1.10
Carreteras Secundarias, Calles Residenciales y Otras Vías con Transito Liviano	1.00


Fuente: Elaboración propia.
Tabla 24 Factor de seguridad de carga.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 39 de 85		

✓ Factor de mayoración

El factor de mayoración se considera como 1 ya que durante el cálculo del tránsito equivalente implícitamente se mayoran las cargas.

9.2 Pre-dimensionamiento de la losa de concreto por el método de la AASHTO

Este método fue desarrollado por la AASHTO en 1986 y tiene como esencia la determinación del espesor de un pavimento de concreto rígido que pueda soportar el número de ejes equivalentes sin producir una disminución en la capacidad de servicio. El espesor de la losa de concreto se determina por medio de la **ecuación 8**.

$$\log_{10}(E18) = \left\{ \begin{aligned} &Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D + 1) - 0.006 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} \\ &+ (4.22 - 0.32 \times Pt) \times \log_{10} \left[\frac{S'c \times Cd \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{Ec}{K} \right)^{0.25}} \right]} \right] \end{aligned} \right\} \quad EC 8$$

Donde:

E18=W82=Numero de ejes equivalentes de 8.2Tn

Zr = Desviación normal estándar

So = Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento

D = Espesor del pavimento de concreto

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final

Pt = índice de servicio final

S'c = MR = Resistencia a la flexión a los 28 días (Modulo de rotura)

Cd = Coeficiente de drenaje

J = Coeficiente de transmisión de cargas

Ec = Modulo de elasticidad del concreto en (Mpa)

K = Modulo de reacción del conjunto en (Mpa/m)

A continuación, se define el valor de las diferentes variables mencionadas para luego ser ingresadas al software BS-PCAA (diseño de pavimentos rígidos).


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 40 de 85		

✓ **Numero de ejes equivalentes (E18).**

El número de ejes equivalentes de 8.2 ton en el carril de diseño durante el periodo de diseño es igual a **144,467 = E18**. Ver **tabla 16**.

✓ **Desviación normal estándar (Zr)**

La desviación normal estándar se define en función de la confiabilidad y considerando una serie de variables como espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje y el tránsito que pueda soportar. Todo lo mencionado en función de la serviciabilidad de la vía. Ver **tabla 25 y 26**. El nivel de confianza seleccionado es **80%** para un valor de **Zr = -0.841**.

Tipo de Carretera	Niveles de Confiabilidad	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Software BS – PCAA.
Tabla 25 Niveles de confiabilidad.

Confiabilidad	Z _R	Confiabilidad	Z _R
50	0	92	-1,405
60	-0,253	94	-1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327

Fuente: Tabla 8.32 Ingeniería de Pavimentos. Alfonso Montejó Fonseca.
Tabla 26 Valores de Zr en función de la confiabilidad.

✓ **Error estándar combinado (So)**


Este parámetro se define como el error de la predicción del tránsito y la predicción del comportamiento estructural, este valor varía de 0.30 a 0.40 para pavimentos rígidos, específicamente 0.35 para una construcción nueva y 0.40 para

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 41 de 85		

construcción sobre capas existentes. Adicional a esto tiene en cuenta los errores o desviaciones de diseño debido a:

- Variaciones en propiedades de los materiales.
- Variaciones en las propiedades de la subrasante.
- Variaciones en la estimación del tránsito.
- Variaciones en las condiciones climáticas.
- Variaciones en la calidad de la construcción.

Para efectos de este diseño se tomará un valor de **So=0.35**.

✓ **Diferencia entre la serviciabilidad inicial y final (ΔPSI)**

Para conocer la diferencia de serviciabilidad se debe conocer inicialmente el índice de serviciabilidad inicial el cual depende de la calidad de la construcción; el valor obtenido en los ensayos realizados por la AASHTO es de 4.5 en pavimentos de concreto rígido. El valor del índice de serviciabilidad final se considera como el índice más bajo antes que la vía deba ser intervenida para algún tipo de rehabilitación o refuerzo estructural; para este tipo de vía la cual cuenta con un tránsito bajo por ser de carácter urbano se considera un valor 2.0. Por último, el diferencial de la serviciabilidad final con la inicial es igual a **2.5 = (ΔPSI)**.

✓ **Módulo de rotura (MR)**

El módulo de rotura se definió en el **numeral 8** en función del número de camiones que pasan por la vía en un día el cual es equivalente a **3.8 Mpa = MR**.

✓ **Coefficiente de drenaje (Cd)**


Los valores de los coeficientes de drenaje dependen de la calidad de drenaje la cual está en función del tiempo en que demora el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento y del porcentaje del tiempo a lo largo del año en que está expuesto el pavimento a la humedad o a niveles cercanos de saturación; este último parámetro depende de la ubicación del proyecto y de la presencia o niveles freáticos. A continuación, se relaciona la calidad del drenaje con el tiempo para remover el agua. Ver **tabla 27**.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 42 de 85		

Calidad de drenaje	Término para remoción del agua
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	(el agua no drena)

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structures.
Tabla 27 Capacidad del drenaje para remover el agua.

CALIDAD DE DRENAJE	PORCENTAJE DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION			
	< 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
EXCELENTE	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
BUENO	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
REGULAR	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
POBRE	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
MUY POBRE	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structures.
Tabla 28 Valores de coeficiente de drenaje.

De acuerdo con lo anterior, tenemos que el valor del coeficiente de drenaje es **Cd = 1**. Se espera que el tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad próximos a la saturación es mayor al 25%.

✓ **Coeficiente de transmisión de cargas (J)**


Este parámetro se considera para tener en cuenta la capacidad del concreto para transmitir las cargas a través de las discontinuidades, dicho de otra forma, la capacidad de transmitir cargas según la modulación de las losas de concreto. Para este proyecto se considera un tipo de pavimento no reforzado con juntas en concreto para un valor de **3.9 = J**.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 43 de 85		

Berma :	De Asfalto		De Concreto	
Dispositivos de transmisión de cargas :	Si	No	Si	No
Pavimento No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Reforzado continuo	2.9 - 3.2	-	2.3 - 2.9	-

Fuente: Software PCA.

Tabla 29 Coeficiente de transmisión de cargas.

✓ Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

El módulo de elasticidad se recomienda determinarlo en función del tipo de agregado como lo menciona la Norma ASTM C49. A continuación se presenta en la **tabla 30** unas expresiones que correlacionan el módulo de elasticidad en función del tipo de agregado.

De igual forma en la Norma Técnica Colombiana NSR – C (CR8.5 — Módulo de elasticidad) presentan unas ecuaciones para el cálculo del módulo de elasticidad cuando no se dispone valor de masa unitaria. **Ilustración 11.**

Tabla 8.38 Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad	
Tipo de agregado y origen	Módulo de elasticidad E_c (MPa - kg/cm ²)
Grueso - ígneo	$E_c = 5.500 \sqrt{f'_c} - 17.500 \sqrt{f'_c}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4.700 \sqrt{f'_c} - 15.000 \sqrt{f'_c}$
Grueso - Sedimentario	$E_c = 3.600 \sqrt{f'_c} - 11.500 \sqrt{f'_c}$
Sin información	$E_c = 3.900 \sqrt{f'_c} - 12.500 \sqrt{f'_c}$

Fuente: Tabla 8.38 Ingeniería de Pavimentos. Alfonso Montejó Fonseca.

Tabla 30 Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.

Para agregado grueso de origen ígneo:
$E_c = 5\,500 \sqrt{f'_c}$ en MPa
Para agregado grueso de origen metamórfico:
$E_c = 4\,700 \sqrt{f'_c}$ en MPa
Para agregado grueso de origen sedimentario:
$E_c = 3\,600 \sqrt{f'_c}$ en MPa

Fuente: Título C NSR 10 CR8.5.1.

Ilustración 11 Expresiones para hallar el E_c en función del tipo de agregado.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 44 de 85		

En el **numeral 8** se determinó el módulo de rotura con un valor de 4.0 Mpa = 40 Kg/cm², despejando la **ecuación 7** se obtiene el valor de la resistencia a la compresión (F_c). Ver **ecuación 9**. El valor obtenido de la resistencia a la compresión y el valor seleccionado del módulo de elasticidad (**Ec**) se observa en la **tabla 31**.

$$F_c = \left(\frac{MR}{2.67} \right)^2 \quad EC \ 9$$

(MR) Modulo de Rotura (Mpa)	(MR) Modulo de Rotura (Kg/cm ²)	(Fc) Resistencia a la Compresión (Mpa)	(Ec) Modulo de Elasticidad (Kg/cm ²)	(Ec) Seleccionado (Kg/cm ²)	Tipo de Agregado Seleccionado
3.8	38	20	247534	250000	Agregado Grueso de Origen Ígneo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31 Calculo del módulo de elasticidad del concreto.

✓ Factor de Perdida (LS)

Según el libro "Ingeniería de pavimentos, Alfonso Montejo Fonseca". Este parámetro viene a indicar la pérdida de apoyo potencial de las losas debido bien a la erosionabilidad de la subbase o bien a asentamientos diferentes de la subrasante; y aunque no aparece de forma explícita en la fórmula de diseño para la obtención del espesor, sí interviene de forma directa a través de una reducción del módulo de reacción efectivo de la superficie en la que se apoyan las losas. En la **tabla 32** se indica los valores de L_s recomendados para distintos tipos de bases y subbases.


Tipo de base o subbase	Factor de perdida de Soporte L_s
Bases granulares tratadas con cemento (E: 7 000 a 14000 Mpa)	0.0 a 1.0
Subbases tratadas con cemento (E: 3500 a 7000 Mpa)	0.0 a 1.0
Bases estabilizadas (E: 2500 - 7000 Mpa)	0.0 a 1.0
Subbases estabilizadas con asfaltos (E: 300 - 2000 Mpa)	0.0 a 1.0
Estabilización con cal (E: 150 - 1000 Mpa)	1.0 a 3.0

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 45 de 85		

Tipo de base o subbase	Factor de perdida de Soporte Ls
Materiales granulares sin tratar (E: 100 - 300 Mpa)	1.0 a 3.0
Suelos finos y subrasante naturales (E: 20 - 300 Mpa)	2.0 a 3.0
En esta tabla, E es el módulo elástico o el de resiliencia del material (Mpa = 10.1971 kgf/cm ²)	

Fuente: Ingeniería de Pavimentos Alfonso Montejó Fonseca.

Tabla 32 valores del factor de perdida de soporte Ls en función del tipo de base o subbase.

El valor seleccionado por la presente consultoría es: Ls=2

✓ **Módulo de reacción del conjunto (K)**

El módulo de reacción del conjunto fue calculado previamente en el numeral 6.2, su resultado se puede observar en la tabla 11. Para 15 cm de SBG K = 50.3 Mpa/m, con este valor se entra al nomograma para encontrar el valor corregido.

INGELABCON S.A.S.
Confiabilidad en nuestros resultados


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

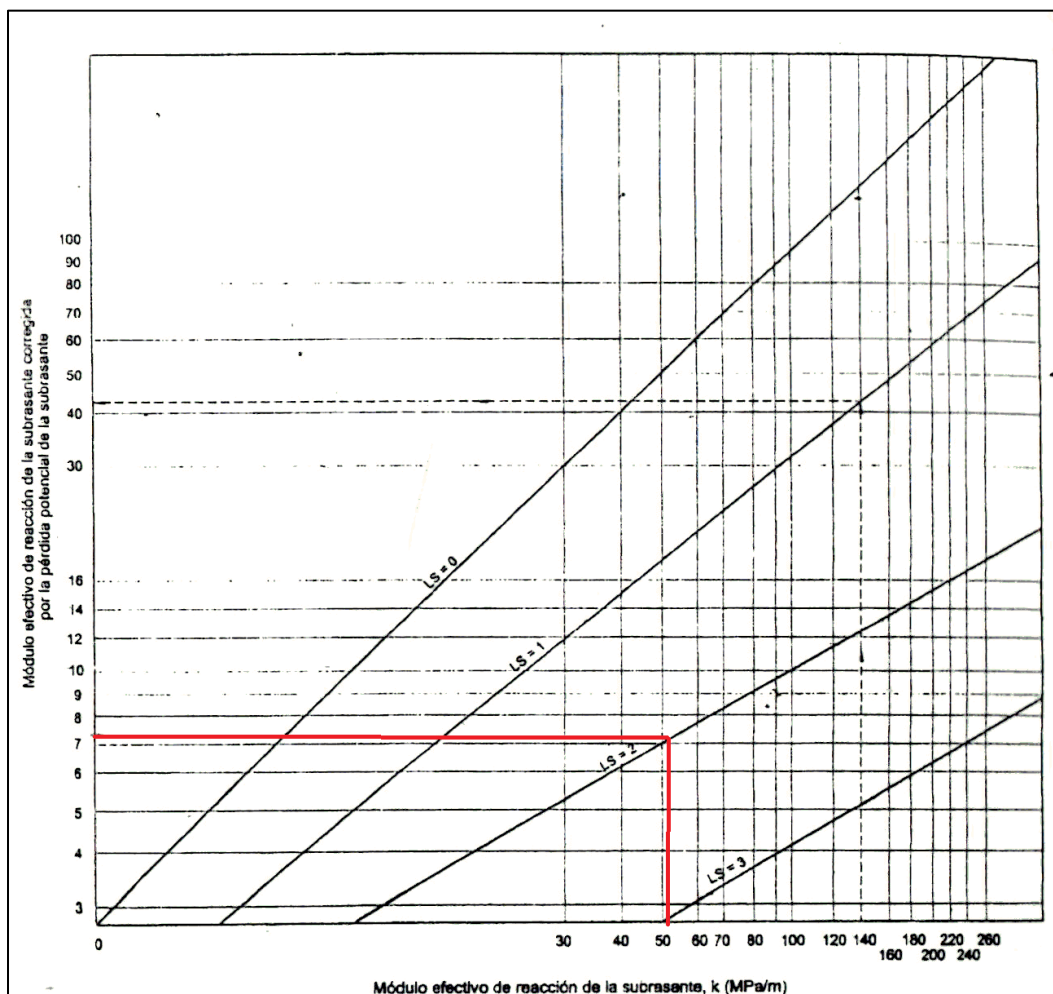
INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 46 de 85		



Fuente: Ingeniería de Pavimentos Alfonso Montejo Fonseca.

Ilustración 12 Carta para corregir el módulo de reacción efectivo de la subrasante por pérdida potencial de soporte de la subbase.

Por tal motivo realizado el respectivo castigo de la perdida por capacidad de soporte de soporte (LS) este valor da como resultado= 7.3 Mpa/m

Una vez determinados los diferentes parámetros, se procede a calcular el espesor de la losa de concreto haciendo uso del software BS-PCAA por la metodología de la AASHTO. El valor obtenido se presenta en la **ilustración 13**.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 47 de 85		

Una vez realizado el pre-dimensionamiento de la losa de concreto por el método de la AASHTO, se deduce que el espesor mínimo de la losa de concreto debe ser igual a 16 cm.

<p style="text-align: center;">DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO AASHTO UNIVERSIDAD DEL CAUCA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Software : BS-PCAA</p> <p>Proyecto: [6.1 Verificacion Estructural 15 cm SBG] Diseño Pavimento rigido Sena Tierralta</p> <p>Datos :</p> <p>Ejes Equivalentes 8.2 Tn Carril de Diseño [w82]: 144,467 Resistencia K del Apoyo [k]: 7.3 Mpa/m Modulo de Elasticidad [Ec]: 250000 kg/cm2 Modulo de Rotura [Mr] : 3.8 Mpa Confiabilidad : 80% Zr : -0.8416 Error Estandar Transito [So]: 0.35 Indice de Servicio Inicial [Po]: 4.5 Delta Indice de Servicio [dPSI]: 2.5 Coeficiente de Drenaje [Cd] : 1 Coeficiente Transmision Cargas Juntas [J] : 3.9</p> <p style="text-align: right;">Espesor Losa [D] : 15.8984 cm</p>	
--	--

Fuente: Calculo Software BS – PCAA.

Ilustración 13 Pre-dimensionamiento espesor losa de concreto método de la AASHTO SBG 15 cm.

9.3 Dimensionamiento de la losa de concreto por el método de la PCA

Esta metodología es aplicable para el dimensionamiento de la losa de concreto, ya sea concreto simple, concreto simple con pasadores o concreto reforzado. La finalidad del método es realizar un análisis de fatiga donde se determina el esfuerzo de borde por cada carga, esfuerzo de tracción en la fibra inferior de la losa y un análisis de erosión para controlar la deflexión en las esquinas de la losa. Para el dimensionamiento de la losa de concreto, es necesario considerar los siguientes parámetros:

9.4 Variables para el dimensionamiento de la losa de concreto


- ✓ **Módulo de rotura:** Valor previamente hallado en el **numeral 8**, donde se seleccionó un valor de **3.8 Mpa (38 Kg/cm²)**.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 48 de 85		


- ✓ **Módulo de reacción del conjunto:** Como se mencionó en el **numeral 6.2**, se obtuvo el siguiente valor: **50.3 Mpa/m** para un espesor de subbase de **15 cm**.
- ✓ **Espectro de carga:** Esta variable se obtuvo en el análisis de tránsito específicamente en el **numeral 7.7**.
- ✓ **Periodo de diseño:** Esta variable se obtuvo en el análisis de tránsito específicamente en el **numeral 7.3**, obteniéndose un periodo de diseño de **20 años**.
- ✓ **Factor seguridad de carga:** Valor obtenido del **numeral 9.1**, factor seleccionado **1**.
- ✓ **Densidad del concreto:** Variable que depende de las propiedades físicas del concreto **2.4 Tn/m3**.
- ✓ **Relación de Poisson:** Comúnmente el valor más utilizado para una losa de concreto hidráulico es **0.15**.
- ✓ **Dimensiones de la losa:** Para este caso las vías tienen un ancho de **3.00 m** y una longitud de **3.60 m**. Las dimensiones seleccionadas se pueden observar en el **numeral 12**.
- ✓ **Coefficiente de variación (CV):** Variable que está relacionada directamente con una reducción de la resistencia del concreto para el análisis de fatiga. Se busca considerar una variación en la resistencia a la flexión del material y se logra por medio del **CV=15%**. "PCAWIN Program for Jointed Concrete Pavement Desing Vol 4, 2001".
- ✓ **Factor de trabazón de agregados (AGG):** Está relacionado directamente con la resistencia al corte entre las partículas del agregado y las caras de las juntas, el valor seleccionado es de **25000 PSI (1758 Kg/cm2)**. "PCAWIN Program for Jointed Concrete Pavement Desing Vol 4, 2001".

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
 Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 49 de 85		

- ✓ **% de camiones al borde:** Valor relacionado directamente con el análisis de fatiga, el cual genera esfuerzos en los bordes. "PCAWIN Program for Jointed Concrete Pavement Desing Vol 4, 2001". Recomienda un valor de **6%**.
- ✓ **Diferencial de temperaturas (Δt):** Este valor hace parte de las variables para el control de los esfuerzos por gradiente térmico y se halla mediante la **ecuación 10. $\Delta t = 10.56^{\circ}\text{C}$** .

$$\Delta T = \delta t * H \quad EC 10$$

Donde

ΔT = Diferencial de temperaturas $^{\circ}\text{C}$.

δt = Gradiente de temperatura durante el día 0.055 a 0.077 $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ (0.066).

H = Espesor de la losa pre-dimensionamiento en mm (160).

- ✓ **Coefficiente térmico (α):** Valor que depende del tipo de agregado de la subbase granular. En este caso se utiliza grava para un coeficiente de expansión térmica del concreto de **$1.08 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$** . Ver **tabla 33**.

Tipo de Agregado Grueso	Coeficiente de Dilatación	
	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$
Cuarzo	11,9	(6,6)
Arenisca	11,7	(6,5)
Grava	10,8	(6,0)
Granito	9,5	(5,3)
Basalto	8,6	(4,8)
Caliza	6,8	(3,8)

Fuente: Guide for Desing of Pavement Structures, AASHTO, 1993.
 Tabla 33 Valores del coeficiente de expansión térmica del concreto.


En esta metodología no se considera la resistencia a la compresión ya que el valor generado por las cargas a la placa de concreto rígido generalmente es equivalente a la presión de inflado (**$7.73 \text{ Kg}/\text{cm}^2$**), de lo cual se deduce que el pavimento no falla por resistencia la compresión y se controla por la resistencia a la flexión. Para el diseño del pavimento se consideraron bordillos ya que la vía se

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
 Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 50 de 85		

encuentra en un área urbanizada, adicional el confinamiento se realizará con bordillos y andenes.

En el diseño de espesores de los sectores o tramos viales estudiados se determinó la misma carga de tránsito (T), se consideró el uso de dovelas para el mecanismo de transferencia de carga. Con relación al módulo de rotura a flexión (MR) de la mezcla de concreto se recomienda que sea de **3.8 Mpa (38 Kg/cm²)**, esto debido a que los pavimentos rígidos para bajos volúmenes de tránsito el diseño está controlado por el criterio de fatiga y el número de camiones.

9.5 Análisis de fatiga

Para el dimensionamiento de la losa de concreto se tiene como primer parámetro de diseño el análisis por fatiga, el cual se realiza para proteger el pavimento contra la acción de los esfuerzos para la acción repetida de las cargas. En el análisis de fatiga se analiza el comportamiento del esfuerzo de borde y esfuerzo interno contra el módulo de rotura del concreto y se determina el esfuerzo de borde e interno por cada carga (σ_b) por tracción en la fibra inferior de la losa de concreto. La falla por fatiga en una losa de concreto rígido se representa por medio de una fisura transversal.

✓ Esfuerzo equivalente (σ_e):

Como primera medida se calcula el esfuerzo equivalente, el cual se halla mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_e = \frac{6Me}{h^2} f_1 * f_2 * f_3 * f_4 \quad EC 11$$

Donde:

σ_e = Esfuerzo equivalente (Kg/cm²)

M_e = Factor de carga.

h = Espesor de la losa pre-dimensionamiento.

f_1 = Factor de ajuste debido al efecto de las cargas del eje y áreas de contacto.

f_2 = Factor de ajuste para condiciones de borde (Borde protegido = 1)

f_3 = Factor de ajuste por efecto de ubicación del camión en los esfuerzos de borde.

f_4 = Factor de ajuste incremento en la resistencia del concreto a través del tiempo, y afectar la resistencia por el CV.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 51 de 85		

Como se mencionó anteriormente se consideran bordillos en la vía por ser de carácter urbano – residencial, por tal motivo las vías son con borde protegido. A continuación, se expresan las ecuaciones para hallar el factor de carga para los diferentes ejes.

➤ **Factor de carga (Me)**

El cálculo del factor de carga está en función del radio de rigidez relativa y del módulo de reacción del conjunto.

$$M_{e=}(1202.6 * \text{Log}(\rho) + 53.587 * \rho - 970.4) * (0.8742 + 0.01088K_k^{0.447}) \text{ EJE SENCILLO EC 12}$$

$$M_{e=}(2005.4 - 1980.9 * \text{Log}(\rho) + 99.008 * \rho) * (0.8742 + 0.01088K_k^{0.447}) \text{ TANDEM EC 13}$$

En las **expresiones 12 y 13** se observa la dependencia en las ecuaciones del radio de rigidez relativa de la losa (ρ), el cual se calcula por medio de la **ecuación 14**.

$$\rho = \sqrt[4]{\frac{Ec * h^3}{12(1 - \mu^2) * K_{eff}}} \text{ EC 14}$$

Donde

ρ = Radio de rigidez relativa Westergaard (pul)

E_c = Modulo del concreto (PSI)

h = Espesor de la losa (pul)

μ = Relación de Poisson

K_{eff} = Módulo de Reacción del Apoyo de la losa (pci)

➤ **Factor de ajuste debido al efecto de las cargas del eje y áreas de contacto (f1)**

Las expresiones para calcular los diferentes factores de ajustes son las siguientes.

$$f1 = \left(\frac{24}{CES}\right)^{0.06} * \left(\frac{CES}{18}\right) \text{ EJE SENCILLO EC 15}$$

$$f1 = \left(\frac{48}{CET}\right)^{0.06} * \left(\frac{CET}{18}\right) \text{ EJE TANDEM EC 16}$$

Donde:

CES = Carga eje sencillo según espectro de carga en (Kips)

CET =Carga eje tándem según espectro de carga en (Kips)


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

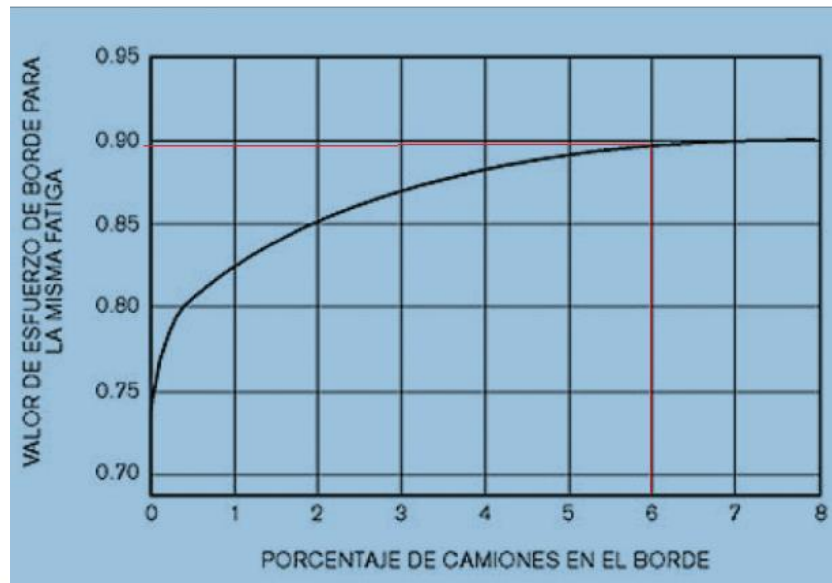
Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 52 de 85		

- **Factor de ajuste por efecto de ubicación del camión en los esfuerzos de borde (f3).**

El factor de ajuste para efecto de ubicación del camión en los esfuerzos de borde es equivalente al porcentaje de camiones al borde equivalente al 6% y su factor se extrae de la **gráfica 2**. El valor de **f3 = 0.894**.



Fuente: Elaboración propia.

Grafica 2 Grafica para hallas factor de ajuste por efecto de ubicación del camión.

- **Factor de ajuste incremento en la resistencia del concreto a través del tiempo, y afectar la resistencia por el CV (f4).**

El factor de ajuste incremento en la resistencia del concreto a través del tiempo después de los 28 días, además de una reducción de la resistencia por un coeficiente de variación se calcula mediante la **ecuación 17**.

$$f4 = \frac{1}{[1.235 * (1 - CV)]} \quad EC 17$$

- ✓ **Relación de esfuerzos (Rσ):**

Una vez calculado el esfuerzo equivalente, se calcula la relación de esfuerzos por medio de la **ecuación 18**.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 53 de 85		

$$R\sigma = \frac{\sigma_e}{MR} \quad EC 18$$

Donde

$R\sigma$ = Relación de esfuerzos

σ_e = Esfuerzo equivalente (PSI)

MR = Modulo de rotura en (PSI)

✓ **Numero de repeticiones admisibles bajo criterio de fatiga (N_i):**

Conociendo la relación de esfuerzos se calcula el número de repeticiones admisibles bajo criterios de fatiga (N_i). Para lo cual se tienen las siguientes consideraciones:

- Cuando la relación de esfuerzos es menor igual a 0.45 N_i tiende al infinito.
- Cuando la relación de esfuerzos es $0.4325 < R\sigma < 0.55$ se utiliza la **ecuación 19**.

$$N_i = \left(\frac{4.2577}{R\sigma - 0.4325} \right)^{3.268} \quad EC 19$$

- Cuando la relación de esfuerzos es mayor a 0.55 se utiliza la **ecuación 20**.

$$N_i = 10^{(11.737 - 12.077 R\sigma)} \quad EC 20$$

✓ **Cálculo de consumo de fatiga parcial ($D_{r(i)}$):**

El cálculo de consumo de fatiga parcial se calcula para cada eje, en este caso se consideran los ejes simples y ejes tándem. El cálculo se realiza mediante la **ecuación 21**.

$$D_{r(i)} = \frac{n_i}{N_i} * 100 \quad EC 21$$

Donde:

$D_{r(i)}$ = Efecto de fatiga generado por cada carga o eje

n_i = Número de repeticiones esperadas por cada carga o espectro de carga.

N_i = Numero de repeticiones admisibles por cada carga o espectro de carga.

✓ **Cálculo de consumo de fatiga total acumulada (D_T):**

Conociendo el cálculo de fatiga parcial por cada carga, se procede a calcular el cálculo de fatiga total acumulada, la cual debe ser inferior al 100%. El cálculo se realiza mediante la **ecuación 22**.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 54 de 85		

$$D_r = \sum_{i=1}^m D_{r(i)} \quad EC 22$$

Donde:

$D_{r(i)}$ = Efecto de fatiga que genera cada grupo de cargas.

D_r = Daño acumulado total por fatiga.

m = Numero de grupo de carga de diseño.

9.6 Análisis de Erosión

El segundo criterio para el dimensionamiento de la losa de concreto es el análisis por erosión que se presenta en el soporte de la losa de concreto, en este caso la subbase granular. En este análisis se busca limitar los efectos de deflexión del pavimento en los bordes de la losa, juntas y esquinas. A continuación, se expresan las variables para el análisis de erosión.

✓ Cálculo de la deflexión equivalente (δ_{eq}):

El cálculo de deflexión equivalente se considera en la esquina de la losa y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\delta_{eq} = \frac{P_c * f_5 * f_6 * f_7}{K_{eff}} \quad EC 23$$

Donde

δ_{eq} = Deflexión equivalente

P_c = Factor de presión

f_6 = Factor de transferencia de carga

f_5 = Factor de carga

f_7 = Factor de perdida de soporte.

K_{eff} = Modulo de reacción del conjunto.

➤ Factor de presión (P_c):

Para el cálculo de este factor se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- P_c para pavimentos sin barras de transferencia de carga y sin borde protegido
- P_c para pavimentos sin barras de transferencia de carga y con borde protegido
- P_c para pavimentos con barras de transferencia de carga y sin borde protegido


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 55 de 85		

- P_c para pavimentos con barras de transferencia de carga y con borde protegido

Para el caso de este estudio el factor de presión se calcula para pavimentos con barras de transferencia de carga y borde protegido. El cálculo se realiza para cada eje por medio de la **ecuación 24 y 25**.

$$P_c = 0.018 + \frac{72.99}{\rho} + \frac{323.1}{\rho^2} + \frac{1620}{\rho^3} \quad \text{EJE SENCILLO} \quad \text{EC 24}$$

$$P_c = 0.0345 + \frac{7146.25}{\rho} + \frac{2385.6}{\rho^2} + \frac{23848}{\rho^3} \quad \text{TANDEM O TRIDEM} \quad \text{EC 25}$$

Donde

P_c = Factor de presión.

ρ = Radio de rigidez relativa (pul).

➤ **Factor de transferencia de carga (f_6):**

El factor de ajuste de transferencia de carga se considera con barras de transferencia de carga. El factor de transferencia para esta consideración es **$f_6 = 1$** .

➤ **Factor de pérdida de soporte (f_7):**

El factor de pérdida de soporte se considera con borde protegido. El factor de pérdida para esta consideración es **$f_6 = 1$** .

➤ **Factor de carga (f_5):**

El factor de carga se calcula en función del tipo de eje como se expresa en las siguientes expresiones:

$$f_5 = \frac{Q_{eje}}{18} \quad \text{EJE SENCILLO} \quad \text{EC 26}$$

$$f_5 = \frac{Q_{eje}}{36} \quad \text{EJE TANDEM} \quad \text{EC 27}$$

$$f_5 = \frac{Q_{eje}}{54} \quad \text{EJE TRIDEM} \quad \text{EC 28}$$

✓ **Cálculo del factor de erosión (FE):**

El cálculo del factor de erosión se calcula mediante la siguiente expresión:


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 56 de 85		

$$FE = \log \left(\frac{11111 * (0.896 * P)^2 * C_1}{h * K_{eff}^{0.73}} \right) \quad EC 29$$

Donde

P = Factor de potencia del suelo

h = Espesor de la losa (pul)

K_{eff} = Modulo de reacción del conjunto (pci)

➤ **Factor de ajuste por erosionabilidad de la base de apoyo (C_1):**

Este factor está relacionado al módulo de reacción de la base de apoyo la cual en este caso es la subbase granular. El factor de ajuste se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_1 = 1 - \left[\left(\frac{K_{eff}}{2000} \right) * \left(\frac{4}{h} \right) \right]^2 \quad EC 30$$

Donde

K_{eff} = Modulo de reacción de la subrasante (pci)

H = Espesor de diseño de la losa de concreto (pul)

➤ **Factor de potencia del suelo (P):**

Factor que depende directamente de la deflexión equivalente la cual se halla con la **ecuación 31**. La expresión para hallar P es la siguiente:

$$P = 268.7 \left(\frac{(K_{eff})^{1.27} * (\delta_{eq})^2}{h} \right) \quad EC 31$$

✓ **Numero de repeticiones admisibles bajo criterio de erosión ($N_{i(e)}$):**

A continuación, se calcula el número de repeticiones admisibles bajo el criterio de erosión para cada carga o espectro de carga. El cálculo se realiza mediante la **ecuación 32** teniendo en cuenta dos consideraciones:

- Si $C_1 * P > 9$ se utiliza la **ecuación 32**.

$$\log(N_{i(e)}) = 14.524 - 6.777 * (C_1 * P - 9)^{0.103} - \log(C_2) \quad EC 32$$

- Si $C_1 * P \leq 9$ $N_{i(e)} = \infty$

Donde


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 57 de 85		

$C2 = 0.06$ (Sin borde protegido)

$C2 = 0.94$ (Con borde protegido) Valor seleccionado

✓ **Determinación de la erosión total ($D_{k(i)}$):**

Se realiza la suma de las repeticiones admisibles por erosión para cada espectro de cargas mediante la **ecuación 33**. La sumatoria del consumo por erosión debe ser inferior al 100%.

$$D_{k(i)} = \sum \frac{ni}{N_{i(e)}} \quad EC 33$$

Donde

$D_{k(i)}$ = Efecto de daño por erosión acumulado del espectro de cargas.

$.ni$ = Numero de repeticiones esperadas por cada grupo de cargas.

N_i = Numero de repeticiones admisibles de cada grupo de cargas.

Una vez analizadas las diferentes variables y descrito las expresiones necesarias para el cálculo del consumo por **esfuerzos (fatiga)** y el cálculo del consumo por **erosión (deflexión)**, se asume un espesor igual al obtenido en la metodología de la AASHTO de la losa de concreto de **17 cm**, se realiza nuevamente el análisis con el software BS-PCAA para un espesor de subbase de **15 cm ($K = 50.3 \text{ Mpa/m}$)**. Ver **ilustración 14**.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	<p style="text-align: center;">FORMATO</p> <p style="text-align: center;">INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS</p>	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 58 de 85		

<p style="text-align: center;">DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO : PCA-84 UNIVERSIDAD DEL CAUCA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Software : BS-PCAA</p>							
<p>Proyecto: [6.1 Verificacion Estructural 15 cm SBG] Diseño Pavimento rígido Sena Tierralta</p>							
Resultados :							
Carga Tn	Carga FS Tn	Repeticiones Esperadas	Esfuerzo Equival. psi	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE							
Esfuerzo Equivalente: 2.4 Factor Esfuerzo: 0.6256 Factor Erosion: 3.1148							
2.50	2.50	14,712	110.3	Inf	0.00	Inf	0.00
4.00	4.00	9,808	171.6	Inf	0.00	Inf	0.00
6.00	6.00	29,423	251.2	25,607,324	0.11	16,130,945	0.18
EJES SIMPLES RUEDA DOBLE							
Esfuerzo Equivalente: 2.4 Factor Esfuerzo: 0.6256 Factor Erosion: 3.1148							
6.00	6.00	24,519	251.2	25,607,324	0.10	16,130,945	0.15
11.00	11.00	14,712	444.1	103 4333.47		352,128	4.18
EJES TANDEM RUEDA DOBLE							
Esfuerzo Equivalente: 2.0 Factor Esfuerzo: 0.5164 Factor Erosion: 3.2046							
22.00	22.00	14,712	364.4	5,732	256.68	199,097	7.39
Total : 1000.00				PCA-84: 11.90			

Fuente: Calculo Software BS – PCAA.

Ilustración 14 Ajuste dimensionamiento espesor losa de concreto 17 cm.

Se concluye que el espesor de la losa de concreto de **16 cm** para un espesor de subbase granular de **15 cm** y un módulo de rotura de **3.8 Mpa**, Genera un porcentaje de consumo por fatiga (**Esfuerzo 1000%**) y un porcentaje de consumo por erosión (**Deflexión 11.9%**). Los valores obtenidos no son tolerables ya que el porcentaje de consumo por fatiga es superior al **85%** valores que se obtienen de la relación del número de repeticiones esperadas con el número de repeticiones admisibles por cada eje de carga.


Como el espesor de la losa de concreto de **16 cm** no cumple con las condiciones de consumo por esfuerzos (fatiga), procedemos a aumentarlo a **20 cm**, realizando nuevamente el análisis con el software BS-PCAA. En la **ilustración 15**, se puede observar que, para una losa de concreto de **20 cm**, el consumo es inferior al 85 % por lo cual, tal espesor es adecuado a las condiciones de diseño.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 59 de 85		

Por último, en la **ilustración 16** se obtienen los modelos estructurales del pavimento rígido, el cual se puede integrar al diseño geométrico y con el cual se puede calcular las cantidades de obra.

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO : PCA-84 UNIVERSIDAD DEL CAUCA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Software : BS-PCAA									
Proyecto: [6.1 Verificación Estructural 15 cm SBG] Diseño Pavimento rígido Sena Tierralta									
Datos :									
	Resistencia K del Apoyo :	50.3	Mpa/m						
	Espesor Losa :	20	cm						
	Longitud Losa :	3	m						
	Ancho Losa :	2.5	m						
	Modulo de Elasticidad :	250000	kg/cm ²						
	Densidad :	2.4	Tn/m ³						
	Relacion de Poisson :	0.15							
	Modulo de Rotura :	3.8	Mpa						
	Coefficiente de Variación :	15%							
	Ancho de Berma :	0	cm						
	Factor de Trabazon de Agregados :	1758	kg/cm ²						
	Camiones al Borde :	6%							
	Pasadores :	SI							
	Diferencial de Temperaturas :	11.22	oC						
	Coefficiente Termico :	1.08E-05	1/oC						
	Trafico para Alabeo :	0%							
	Factor de Seguridad Cargas :	1							
	Factor de Mayoración Repeticiones :	1							
Resultados :									
	Carga	FS	Repeticiones	Esfuerzo	Repeticiones	Consumo	Repeticiones	Consumo	
	Tn	Tn	Esperadas	Equival.	Admisib_Fatiga	Fatiga	Admisi_Erosion	Erosion	%
				psi		%			
EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE									
	Esfuerzo Equivalente: 1.7		Factor Esfuerzo: 0.4561		Factor Erosion: 2.8248				
	2.50	2.50	14,712	80.7	Inf	0.00	Inf	0.00	
	4.00	4.00	9,808	125.5	Inf	0.00	Inf	0.00	
	6.00	6.00	29,423	183.7	Inf	0.00	3,780,822,289	0.00	
EJES SIMPLES RUEDA DOBLE									
	Esfuerzo Equivalente: 1.7		Factor Esfuerzo: 0.4561		Factor Erosion: 2.8248				
	6.00	6.00	24,519	183.7	Inf	0.00	3,780,822,289	0.00	
	11.00	11.00	14,712	324.7	42,361	34.73	2,525,907	0.58	
EJES TANDEM RUEDA DOBLE									
	Esfuerzo Equivalente: 1.5		Factor Esfuerzo: 0.3941		Factor Erosion: 2.9546				
	22.00	22.00	14,712	276.9	689,188	2.13	1,074,497	1.37	
	Total :		36.86		PCA-84: 1.95				

Fuente: Calculo Software BS – PCAA.

Ilustración 15 Ajuste dimensionamiento espesor losa de concreto 20 cm.

Losa de Concreto Hidráulico e = 20 cm MR = 3.8 Mpa
Subbase Granular e = 15 cm K = 50.3 Mpa/m
Material de mejoramiento, CBR=10% e=15 cm
Material existente en campo según estudio geotécnico.

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 16 Modelo seleccionado en dimensionamiento.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 60 de 85		

10. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Durante el proceso de diseño se realiza un análisis de sensibilidad de la estructura seleccionada, con el fin de garantizar que cualquier cambio que se genere durante el proceso constructivo, la preparación e instalación de la subbase granular, algún cambio en las propiedades de la mezcla de concreto que alteren o disminuyan el módulo de rotura y cambios que se puedan presentar en el espesor de la losa de concreto no terminen afectando el desarrollo del proyecto. El análisis de sensibilidad permite manejar unos intervalos de confianza.

Dicho de otra forma, si durante la etapa de construcción se presentan cambios en los parámetros presentados en la **tabla 34**, se puede verificar la combinación de estos en la **tabla 35** y verificar si cumple los factores de esfuerzos y erosión.

Intervalos para el análisis de sensibilidad		
K Conjunto (Mpa/m)	Espesor (mm)	Módulo de Rotura (Mpa)
51 - 53	180 - 200	3.8 - 4.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34 Intervalos para el Análisis de Sensibilización.

Análisis de Sensibilidad							
K Conjunto (Mpa/m)	Espesor (mm)	Módulo de Rotura (Mpa)	Factor de Mayoración Repetición	Consumo de Esfuerzo	Consumo de Erosión	Verificación de Consumo de Esfuerzo	Verificación de Consumo de Erosión
51	180	3.80	1	471.63	4.61	NO CUMPLE	OK
51	180	3.90	1	291.23	4.61	NO CUMPLE	OK
51	180	4.00	1	184.15	4.61	NO CUMPLE	OK
51	190	3.80	1	120.01	2.97	NO CUMPLE	OK
51	190	3.90	1	76.38	2.97	OK	OK
51	190	4.00	1	49.53	2.97	OK	OK
51	200	3.80	1	35.31	1.96	OK	OK
51	200	3.90	1	22.93	1.96	OK	OK
51	200	4.00	1	15.17	1.96	OK	OK
52	180	3.80	1	441.10	4.57	NO CUMPLE	OK
52	180	3.90	1	272.84	4.57	NO CUMPLE	OK
52	180	4.00	1	172.74	4.57	NO CUMPLE	OK
52	190	3.80	1	112.70	2.95	NO CUMPLE	OK
52	190	3.90	1	71.80	2.95	OK	OK
52	190	4.00	1	46.60	2.95	OK	OK
52	200	3.80	1	33.24	1.94	OK	OK
52	200	3.90	1	21.61	1.94	OK	OK
52	200	4.00	1	14.32	1.94	OK	OK
53	180	3.80	1	413.15	4.54	NO CUMPLE	OK
53	180	3.90	1	255.96	4.54	NO CUMPLE	OK
53	180	4.00	1	162.25	4.54	NO CUMPLE	OK


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 61 de 85		

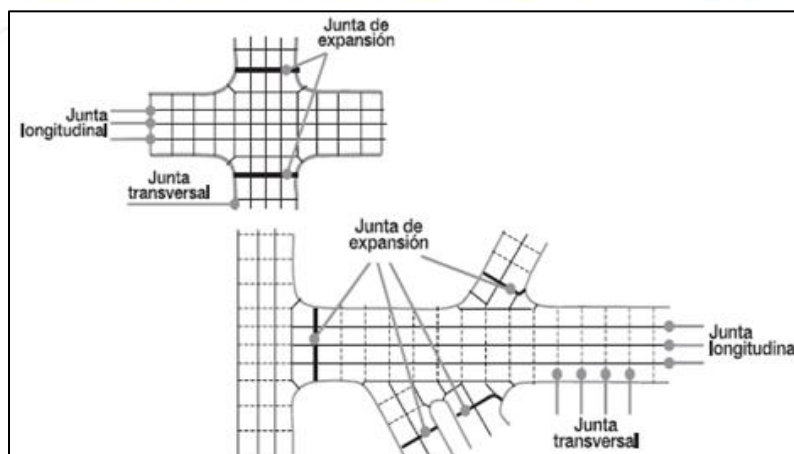
Análisis de Sensibilidad							
K Conjunto	Espesor	Módulo de Rotura	Factor de Mayoración	Consumo de Esfuerzo	Consumo de Erosión	Verificación de Consumo de Esfuerzo	Verificación de Consumo de Erosión
(Mpa/m)	(mm)	(Mpa)	Repetición				
53	190	3.80	1	105.98	2.92	NO CUMPLE	OK
53	190	3.90	1	67.58	2.92	OK	OK
53	190	4.00	1	43.90	2.92	OK	OK
53	200	3.80	1	31.33	1.92	OK	OK

Fuente: Elaboración propia.
Tabla 35 Análisis de Sensibilización.

11. DISEÑO DE JUNTAS

En las losas que conforman un pavimento rígido se presentan diferentes clases de esfuerzos generados por el paso de vehículos a lo largo del periodo de diseño, adicional se presentan esfuerzos de contracción y expansión del concreto causados por el movimiento de este, estos esfuerzos se controlan con la modulación o dimensionamiento de las losas por medio de juntas.

Los esfuerzos que se generan en los bordes y esquinas de las losas son mayores a los esfuerzos analizados en otras coordenadas de las losas, para lo cual las juntas ayudan a contrarrestar el riesgo a la fractura de las losas de pavimento, adicional en losas irregulares se recomienda usar refuerzo para mejorar la calidad integral de la losa y garantizar el número de repeticiones para el cual se calculó en el periodo de diseño seleccionado.




Fuente: Figura 6.4 y 6.5 M.D.C.
Ilustración 17 Ubicación de los tipos de juntas.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

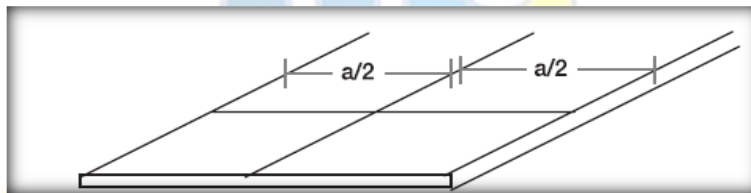
CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 62 de 85		

11.1 Juntas Longitudinales y barras de anclaje

Las juntas longitudinales se definen teniendo en cuenta la dimensión de los equipos de construcción, el ancho de la vía a pavimentar y las restricciones constructivas, se deben evitar siempre que la separación entre dos juntas longitudinales (ancho de las losas), sea mayor que cuatro metros.

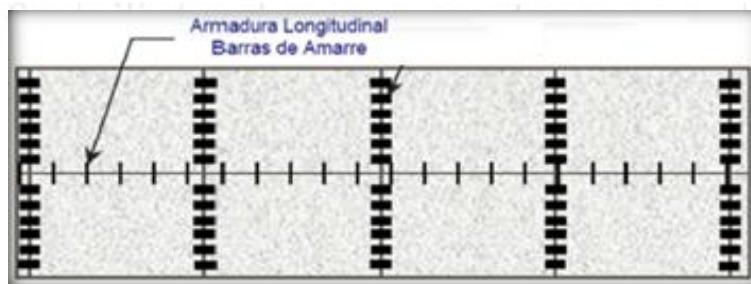
- ✓ Si durante el proceso constructivo el ancho de la losa supera los 4.5m, las juntas longitudinales permiten controlar el fenómeno del alabeo.
- ✓ Si se conserva una relación de losa con una geometría largo = ancho, las juntas longitudinales se convierten en juntas de construcción.

Para la vía en estudio, que es una vía de doble sentido vehicular y el ancho del pavimento es de 5.00 m, se debe construir una junta longitudinal para dividir el pavimento en dos franjas o carriles, recomendando que el ancho de las dos franjas sea igual.



Fuente: Figura 6.4 y 6.5 M.D.C.

Ilustración 18 Esquema para construcción de juntas longitudinales.



Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 19 Ubicación de juntas longitudinales.

Para la vía en estudio donde se realizará confinamiento lateral con bordillos, el Artículo INV 500-13 se especifica el mecanismo a utilizar para emplear las barras de amarre en este tipo de juntas. Las barras por emplear deben ser en acero


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 63 de 85		

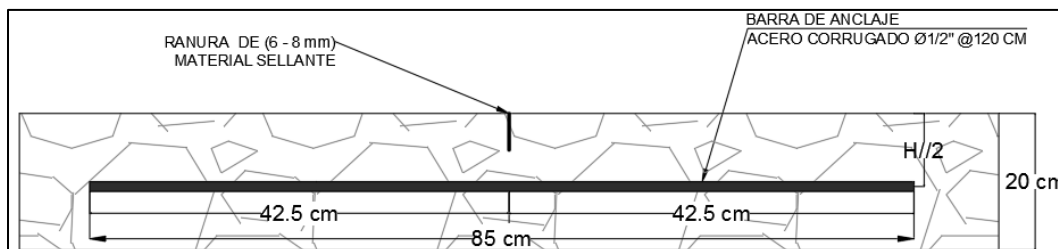
corrugado con límite de fluencia (f_y) de 280 Mpa (60000 PSI). El diámetro de 1/2", espaciamiento cada 120 cm y en longitudes de 85 cm para una losa de 20 cm de espesor. **Ver tabla 36.**

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 $f_y = 187,5$ MPa (40.000 psi)												
150	0,45	0,80	0,75	0,65	0,60	1,20	1,20	1,20	0,70	1,20	1,20	1,20
175		0,70	0,60	0,55		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20
200		0,60	0,55	0,50		1,05	1,00	0,90		1,20	1,20	1,20
225		0,55	0,50	0,45		0,85	0,85	0,80		1,20	1,20	1,20
250		0,45	0,45	0,40		0,85	0,80	0,70		1,20	1,20	1,10
Acero de $f_y = 280$ MPa (60.000 psi)												
150	0,65	1,20	1,10	1,00	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	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		0,90	0,80	0,75		1,20	1,20	1,20		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

Fuente: M.D.C Tabla 6.1.

Tabla 36 Tabla para la selección de las barras de anclaje.

Independiente el largo de la losa se recomienda como mínimo 3 barras. Adicional durante el proceso constructivo es recomendable que la posición de las barras de anclaje y la construcción de la junta se haga según la **Ilustración 17**. Las barras de acero corrugado no deben ser instaladas a menos de 40 cm de la junta transversal para evitar que interfieran con el movimiento de las juntas.



Fuente: Elaboración propia.


Ilustración 20 Sección típica para la ubicación de las barras de anclaje y construcción de junta.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

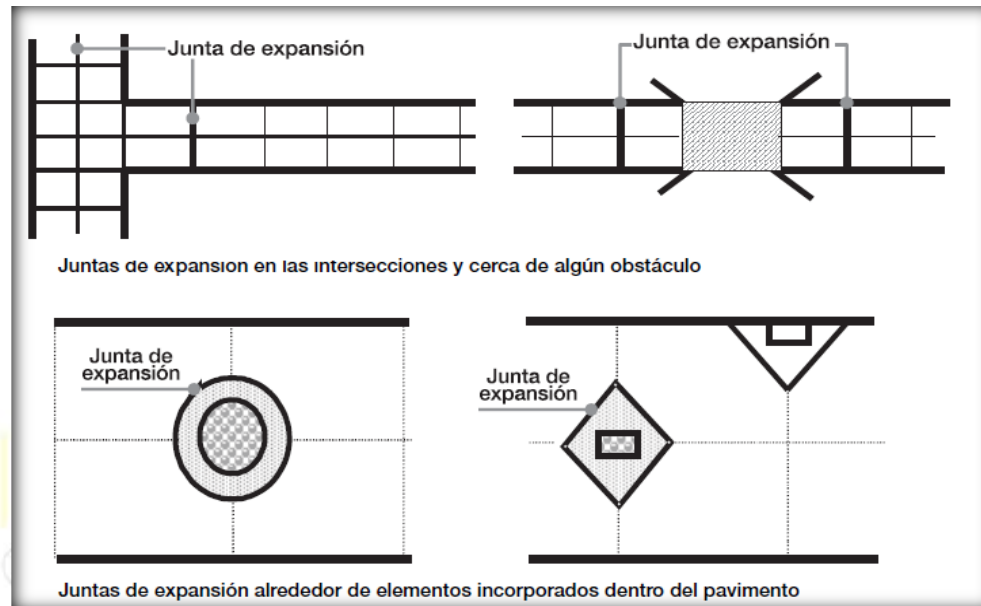
NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 64 de 85		

11.2 Juntas de Expansión o aislamiento

Las juntas de expansión se deben construir para aislar pavimentos existentes del pavimento nuevo, adicional cuando se presentar cambios fuertes de dirección como en intersecciones viales; para la construcción de pozos de inspección ya sean de geometría circular o en forma de rombo se recomienda utilizar estas juntas. Las juntas de expansión se deben diseñar con un ancho de 10 a 15 mm y transversales en las losas lo cual permite con las dos condiciones mencionadas anteriormente el movimiento longitudinal de las losas. En la **Ilustración 21** se puede observar posibles casos de construcción de juntas de aislamiento.



Fuente: Figura 6.1 y 6.2 M.D.C.
Ilustración 21 Posición de las juntas de expansión.

11.3 Juntas Transversales y pasadores (Transferencia de cargas).


Estas juntas de contracción son juntas que permiten controlar la fisuración del concreto por contracción y alabeo, adicional permite controlar los efectos climáticos de temperatura y humedad cumpliendo una función mecánica de transferencia de carga por lo cual son denominadas juntas de alabeo. La separación entre juntas transversales como primera medida está en función del tipo de agregado como lo muestra la **tabla 37**. Según la tabla mencionada, el

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 65 de 85		

espaciamiento entre las juntas transversales no debe ser mayor a 4.5m, permitiendo controlar todas las fisuras considerando como agregados grava.

Es necesario mejorar la eficiencia de la trabazón de agregados haciendo uso de varillas de transferencia de carga conocidas como pasadores de carga o dovelas que son barras de acero cortas y lisas con un límite de fluencia (f_y) mínimo de 280 Mpa (280 kg/cm² o 60000 psi), incrustadas dentro del concreto fresco. Los pasadores se instalan en las juntas de tal manera que les permitan a las losas separarse y unirse entre sí, pero no desplazarse verticalmente y su función es absorber los esfuerzos de cortante generados por las cargas del tránsito al cruzar las juntas y transmitir a la losa adyacente entre el 40 y 45% de la carga de diseño cuando esta se coloca cerca de la junta. Artículo INV 500-22.

Para el buen funcionamiento de las barras de transferencia, estas deben ser lisas y se recomienda que toda la barra este recubierta de un material antiadherente para permitir los desplazamientos o movimientos horizontales de las losas; tal recomendación se hace ya que la vía a construir tiene flujo vehicular en ambos sentidos y es muy probable que se presente adelantamiento vehicular. En la **tabla 38** se puede observar las diferentes barras de transferencia según el espesor de la losa.

Tipo de agregado grueso	Separación máxima entre juntas (m.)
Granito triturado	7.5
Caliza triturada	6.0
Grava calcárea	6.0
Grava silíceo	4.5
Grava menor de 19 mm (3/4")	4.5
Escorias	4.5

Fuente: Tabla 8.42 Ingeniería de Pavimentos Alfonso Montejo.

Tabla 37 Espaciamiento de juntas transversales, según el tipo de agregado del concreto.

Se seleccionan barras de transferencia de fluencia mínima de 280 Mpa (60000 PSI), diámetro de 1", espaciamiento cada 30 cm y en longitudes de 35 cm. Los pasadores se deben colocar en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía y a la superficie del pavimento, con una tolerancia medida en el extremo del pasador que no sobrepase los 10 mm respecto a la posición teórica. La manera más eficiente de lograr esto, es la de colocar los


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

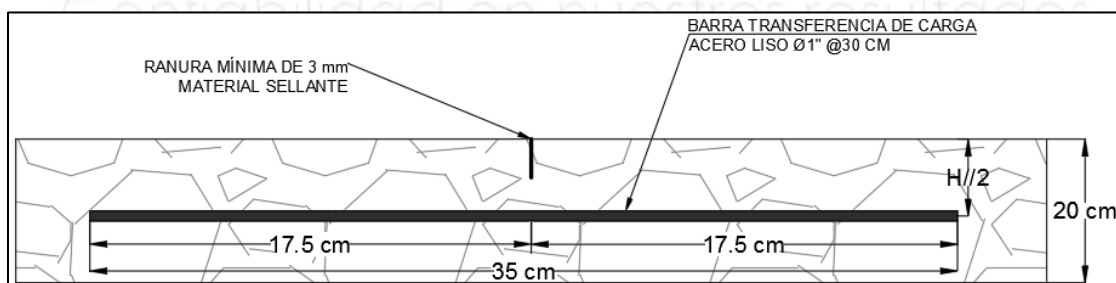
CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 66 de 85		

pasadores sobre unos soportes hechos con varillas, que quedan embebidos en el concreto. El concreto alrededor de los pasadores debe tener la misma compactación que en el resto del pavimento, para evitar la creación de zonas en las cuales la resistencia a la tracción sea más baja y por ende se convierta en un área que se puede fisurar. Durante el proceso constructivo se recomienda que la posición de las barras de transferencia de carga y la construcción de la junta se haga según la **Ilustración 19**.

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: M.D.C Tabla 6.2.

Tabla 38 Recomendaciones para la selección de barras de transferencia de carga.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 22 Sección típica ubicación de las barras de transferencia y construcción de junta.


En la **Ilustración 23** se puede observar posibles casos de construcción de juntas transversales.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

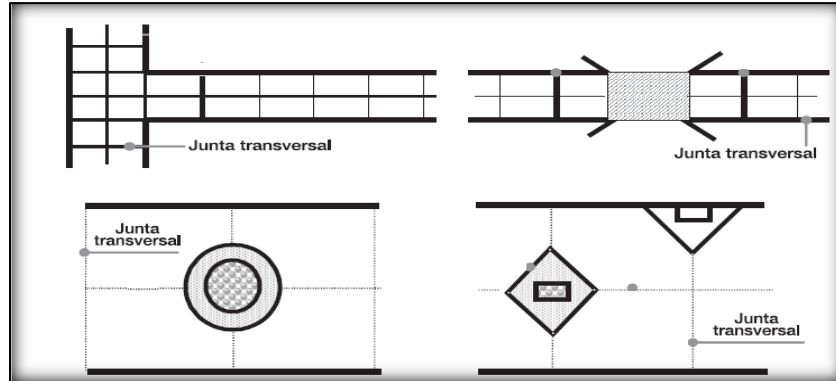
INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

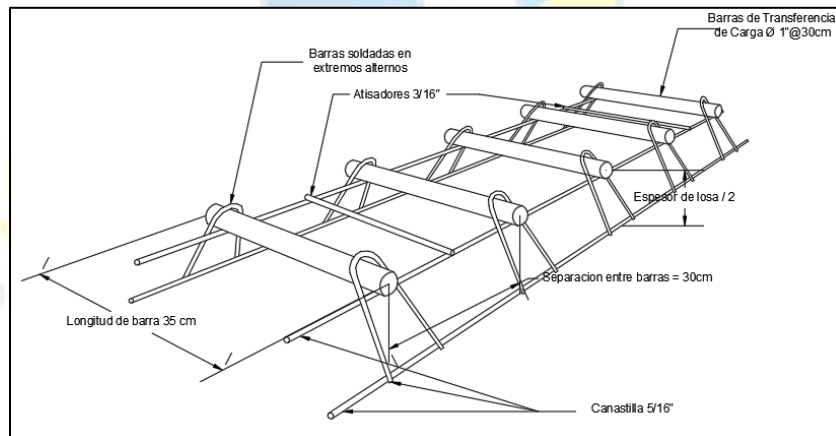
Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 67 de 85		

Por último, en la **ilustración 25** se pueden observar las diferentes juntas mencionadas anteriormente, las cuales deben cumplir con las especificaciones expuestas para garantizar el buen funcionamiento de la losa de concreto y así garantizar su durabilidad.



Fuente: Figura 6.1 y 6.2 M. D.C
Ilustración 23 Posición de las juntas transversales.



Fuente: Elaboración Propia.
Ilustración 24 Isométrico colocación de barras de transferencia.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 68 de 85		

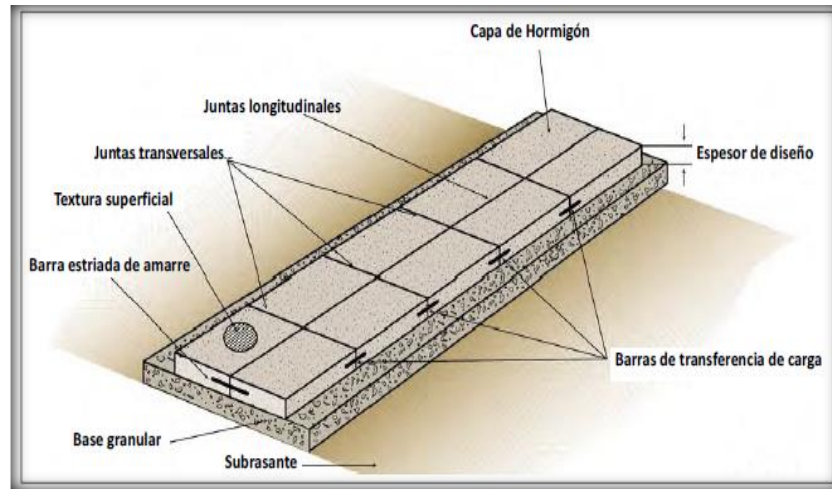


Ilustración 25 Isométrico losas de concreto y juntas.

11.4 Sellado de Juntas

Las juntas transversales se deben cortar con un equipo autopropulsor de disco diamantado cumpliendo con las siguientes dimensiones:

Corte inicial de 1/3 del espesor de la losa desde la superficie de esta con un ancho mínimo de 3 mm. Adicional un corte de ensanche de 3mm de ancho y profundidad de 30mm también medido desde la superficie de la losa. El ancho total de la junta será aproximadamente de 9mm. Para la construcción de la junta se debe seguir el siguiente esquema.

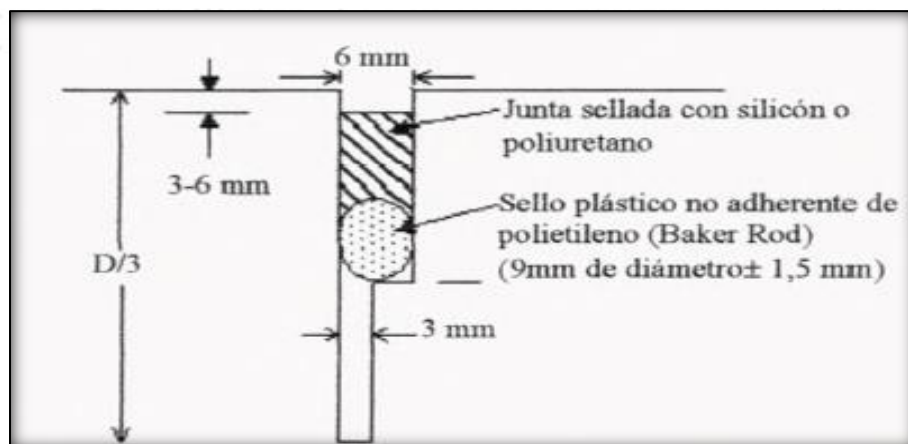


Ilustración 26 Detalle construcción de juntas.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 69 de 85		

12. MODULACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO

La modulación de las losas de concreto juega un papel muy importante en la durabilidad y eficiencia de las placas, por tal motivo se debe conservar una relación entre el ancho y el largo de la placa para lo cual se plantean las siguientes alternativas de control:

12.1 Control esfuerzos por cambio uniforme de temperatura

Con este método se debe controlar el agrietamiento por fraguado y el esfuerzo por tracción admisible del concreto en las primeras horas de colocado en obra, tal esfuerzo debe ser inferior a 0.8 Kg/cm² o 8000 Kg/m².

En el **numeral 11.3** se definió la longitud máxima de la losa de concreto en función del tipo del agregado del concreto, el valor seleccionado fue 4.5 m. Con la **ecuación 34** se verifica el valor máximo de la losa de concreto en función del cambio uniforme de temperatura.

$$\sigma_{ta} \times H \times B = B \times H \times \frac{L}{2} \times \mu_{cto} \times f \quad EC 34$$

Donde

L = Longitud de la losa

H = Altura de la losa = 20 cm

A = Ancho de la losa = 2.50 m

σ_{ta} = Esfuerzo máximo de tracción admisible del concreto a las primeras horas de colocado en obra = 8000 kg/m²

μ_{cto} = Peso unitario del concreto = 2400 Kg/m³.

f = Valor de factor de fricción = 1.5

Despejando **ecuación 34** tenemos la **ecuación 35**.

$$L \leq \frac{2 \times (\sigma_{ta})}{(\mu_{cto}) \times f} \quad L \leq \frac{2 \times \left(8000 \frac{Kg}{m^2}\right)}{\left(2400 \frac{Kg}{m^3}\right) \times 1.5} = L = 4.44 m \leq 4.50 m \quad OK \quad EC 35$$

Por otra parte, se puede verificar el esfuerzo máximo de tracción admisible del concreto para una longitud de 3.00 m, dimensión con el cual se verificó el porcentaje de consumo por fatiga y erosión. El cálculo se realiza con la **ecuación 36**.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 70 de 85		

$$(\sigma_{ta}) = \frac{(\mu_{cto}) * L * f}{2} = \frac{2400 * 4.44 * 1.5}{2} = 7.992 \frac{Kg}{m^2} < 8000 \frac{Kg}{m^2} \quad OK \quad EC 36$$

Se puede concluir que por este método de control para una losa de 4.44 m de longitud el esfuerzo máximo de tracción admisible será inferior al máximo.

VALORES DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)	
TIPO DE MATERIAL BAJO LA LOSA	FACTOR DE FRICCIÓN (f)
TRATAMIENTO SUPERFICIAL	2.2
ESTABILIZACION CON CAL	1.8
ESTABILIZACION CON ASFALTO	1.8
ESTABILIZACION CON CEMENTO	1.8
GRAVA DE RIO	1.5
PIEDRA PARTIDA	1.5
ARENISCA	1.2
SUBRASANTE NATURAL	0.9

Tabla 39 Valores del factor de fricción.

12.2 Control esfuerzos internos por gradientes térmicos (alabeo)

Con esta metodología se busca controlar los esfuerzos internos por gradiente térmico en función de la longitud de la losa ya que al cambiar la temperatura ambiente durante el día y la noche también cambia la temperatura del pavimento lo que genera el fenómeno del alabeo en la losa de concreto. También se debe considerar que el peso propio de la losa soportada en la superficie de apoyo sobre el área de contacto genera esfuerzos en los bordes de la losa y en la parte interior de la misma. En la **ilustración 27** se puede observar el comportamiento de la losa tanto en el día como la noche.

En la **ilustración 28** se pueden observar los diferentes esfuerzos que se deben hallar en la losa de concreto.

Donde

σ_{bx} = Esfuerzo de borde en x lado ancho (A)

σ_{by} = Esfuerzo de borde en y lado largo (L)

σ_i = Esfuerzo interno


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 71 de 85		

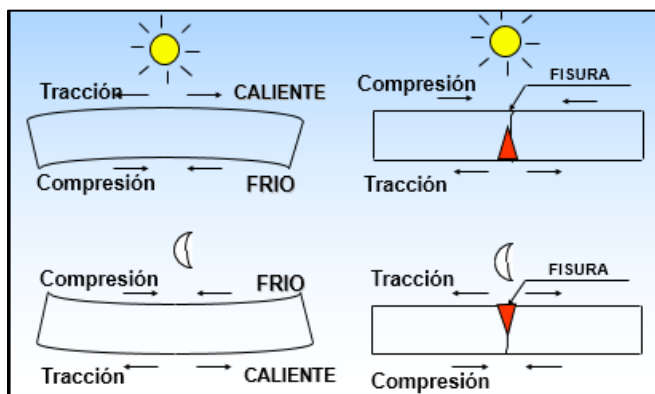
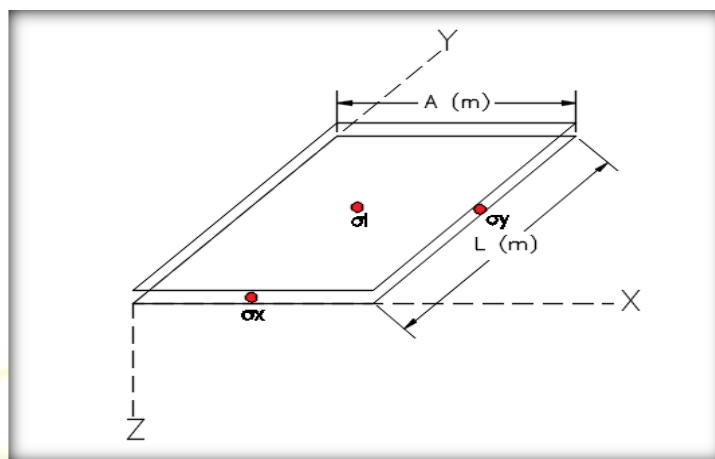


Ilustración 27 Comportamiento de alabeo teórico diurno y nocturno.



Fuente: Elaboración propia.
Ilustración 28 Losa con esfuerzos.

✓ **Cálculo de los esfuerzos de borde en X (σ_x) y en Y (σ_y).**

$$\sigma_{bx} = \left[\frac{E * \alpha * \Delta t}{2} \right] * Cx \quad \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \quad EC 37$$

$$\sigma_{by} = \left[\frac{E * \alpha * \Delta t}{2} \right] * Cy \quad \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \quad EC 38$$

Donde:

σ_{bx} = Esfuerzo de borde en la losa sobre el eje x.

σ_{by} = Esfuerzo de borde en la losa sobre el eje y.

Δt = Diferencia temperatura.


α = Coeficiente térmico (α).

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 72 de 85		

E_c = Módulo del concreto (E_c) en función norma **ASTM C49**
 Coeficiente de Bradbury

$$C_x = \frac{L_x}{\rho} \quad y \quad C_y = \frac{L_y}{\rho}$$

Donde:

C_x = Coeficiente de Bradbury en x.

C_y = Coeficiente de Bradbury en y.

L_x = Ancho de la losa

L_y = Longitud de la losa

$\rho = l$ = Radio de rigidez relativa Westergaard (m).

$$\rho = \sqrt[4]{\frac{E_c * H^3}{12(1 - \mu^2) * K_{eff}}}$$

Donde:

ρ = Radio de rigidez relativa.

H = Espesor de la losa

K_{eff} = Modulo de reacción del conjunto

μ = Relación de Poisson.

Para hallar los coeficientes de Bradbury (C_x y C_y), esta consultoría grafico la carta de Bradbury encontrando tres líneas de tendencia. Una vez calculado el valor de (L_x/l y L_y/l), se pueden ingresar estos valores a una de las tres líneas de tendencia encontradas como se observa en la **gráfica 3**.

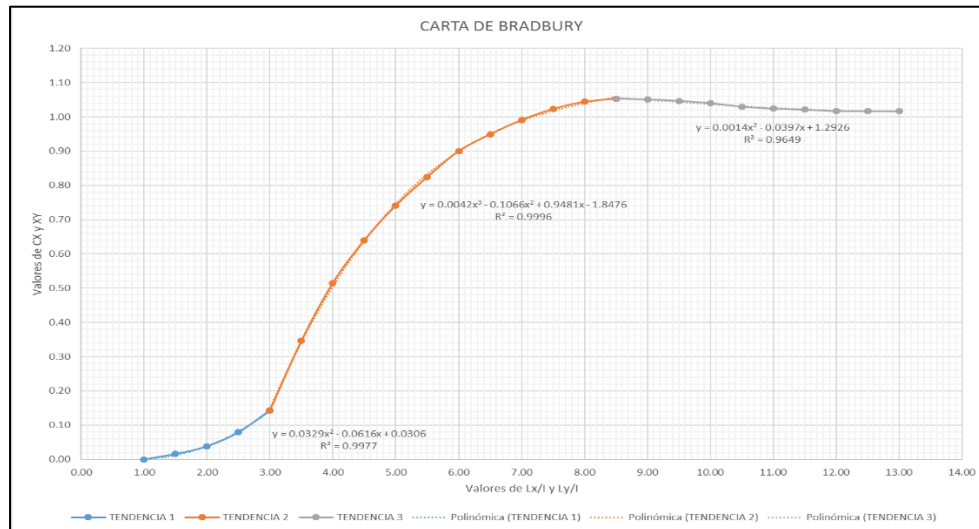
Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com



Fuente: Elaboración propia.

Grafica 3 Carta de Bradbury para hallar los coeficientes de alabeo Cx y Cy.

En la **tabla 40** se pueden observar los valores de las diferentes variables mencionadas anteriormente. Igualmente, en la **tabla 41**, se pueden observar los valores calculados de **Cx** y **Cy** después de remplazar los valores de **Lx/l** y **Ly/l** en la ecuación polinómica de grado 3 encontrada por la línea de tendencia que más se ajustó a los datos de la carta de Bradbury. Los valores encontrados se remplazan en la **tabla 42** para poder encontrar los esfuerzos de borde en la placa de concreto rígido.

E = Modulo de Elasticidad del concreto	250000	Kg/cm2
H = Espesor de la Losa	0.20	m
μ = Relación de Poisson	0.15	
Keff = Modulo del Conjunto	5.978	Kg/cm3
I = Radio de Rigidez Relativa	73.08	cm
α = Coeficiente de Exp Term	1.08E-05	°C
Δt = Diferencia de Temperatura	13.20	°C
MR = Modulo de Rotura del Concreto	3.80	Mpa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40 Variables para el cálculo de esfuerzos de bordes e internos.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 74 de 85		

Línea de Tendencia 2 Valores de Lx/l y Ly/l de 3 a 9 Para Losa de 3.00 m x 3.60 m								
CX/ CY	K1	(LX/l / LY/l) ^3	K2	(LX/l / LY/l) ^2	K3	LX/l / LY/l	K4	
CY 0.69	0.0042	4.72	-0.1066	4.72	0.9481	4.72	-1.8476	
CX 0.49		3.93		3.93		3.93		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41 Línea de tendencia para cálculo de CX y CY.

Posteriormente con las **ecuaciones 37 y 38** se calculan los esfuerzos de borde en **X** y en **Y**. Por último, se debe realizar una verificación de esfuerzos donde se debe garantizar que los esfuerzos de borde deben ser inferiores a **0.45MR**. Ver **tabla 42**.

Cálculo de Esfuerzos de Borde en X y Y								
Dirección	Geometría de la Losa (m)		Lx/l	Ly/l	Por Grafica		Cálculo de Esfuerzo	
	Ly	Lx			CX	CY	σb Y	σb X
Sena Tierralta	3.60	3.00	3.93	4.72	0.49	0.69	12.36	8.69
Dirección	σC (Kg/cm2) = 0.45MR		σb Y	σb X	Chequeo en Y		Chequeo X	
Sena Tierralta	17.10		12.36	8.69	OK		OK	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42 Calculo y verificación de esfuerzos de borde.

✓ Cálculo de los esfuerzos internos (σi) en X y en Y.

Para el cálculo de los esfuerzos internos en la losa de concreto, se utiliza la misma metodología que para el cálculo de los esfuerzos de borde, pero cambian las ecuaciones; en este caso se utilizan las **ecuaciones 39 y 40**. Los resultados se pueden observar en la **tabla 43**.

$$\sigma_{ix} = \left[\frac{E x \alpha x \Delta t}{2} x \frac{CX + \mu CY}{1 - \mu^2} \right] Kg/cm^2 \quad EC 39$$

$$\sigma_{iy} = \left[\frac{E x \alpha x \Delta t}{2} x \frac{CY + \mu CX}{1 - \mu^2} \right] Kg/cm^2 \quad EC 40$$

Donde:

$\sigma_i x$ = Esfuerzo interno de la losa en la mitad de la placa por el lado ancho.

$\sigma_i y$ = Esfuerzo interno de la losa en la mitad de la placa por el lado largo.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 75 de 85		

Cálculos de Esfuerzo Internos en X y Y								
Dirección	Geometría de la Losa (m)		Lx/l	Ly/l	Por Grafica		Cálculo de Esfuerzo	
	Ly	Lx			CX	CY	σi Y	σi X
Sena Tierralta	3.60	3.00	3.93	4.72	0.49	0.69	13.98	10.79
Dirección	σC (Kg/cm2) = 0.45MR		σi Y	σi X	Chequeo en Y		Chequeo X	
Sena Tierralta	17.10		13.98	10.79	OK		OK	

Fuente: Elaboración propia.
 Tabla 43 Calculo y verificación de esfuerzos internos.

De lo anterior se concluye que las dimensiones seleccionadas garantizan que las losas de concreto no sufrirán agrietamiento por alabeo, por lo cual se recomienda se respeten las dimensiones dadas, en el **Anexo 2** del presente informe de pavimento se puede ver el plano con las modulaciones de la vía en estudio, con sus respectivas dimensiones tanto en los tramos rectos como en los tramos curvos, también se enumeraron las placas y se identificaron las juntas longitudinales, transversales y de expansión las cuales tienen características y funciones diferentes, adicional a eso se proyectaron las losas que deberán ser reforzadas debido a su geometría o cualquier otro parámetro que justifique el refuerzo.

12.3 Control geométrico

✓ Losas de concreto:

Este método permite garantizar la durabilidad y funcionalidad de las placas de concreto ya que abarca los dos métodos mencionados anteriormente donde la longitud máxima por geometría debe estar entre $0.8 \leq L/B \leq 1.2$, lo más recomendable es utilizar losas con geometría cuadrada, pero también se puede conservar una longitud de losas donde $L = 1.2(A)$. Donde L= Longitud y A = Ancho de la losa.

✓ Pozos de inspección céntricos


Para los pozos de inspección céntricos se debe ajustar la modulación de las losas manteniendo la relación de esbeltez, con el fin que la intersección de la Junta transversal y la junta longitudinal coincidan con el centro del pozo, adicional en lo posible utilizar estructuras en forma de rombo para aislar la estructura del pozo a la losa de concreto mediante una junta de expansión y así prevenir las fisuras que

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

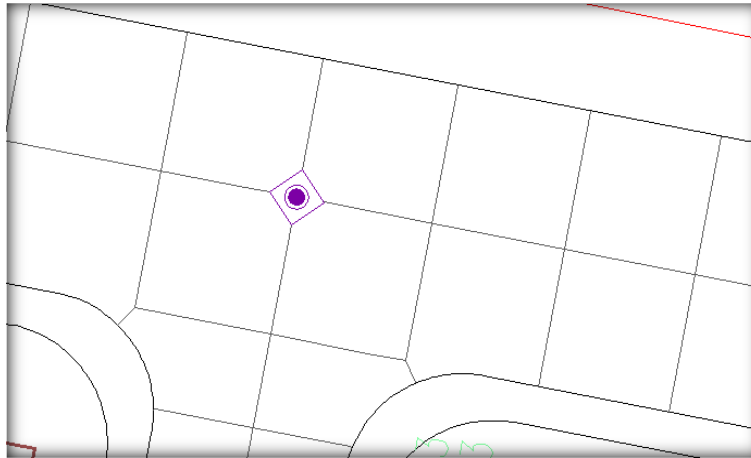
INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
 Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	<p style="text-align: center;">FORMATO</p> <p style="text-align: center;">INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS</p>	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 76 de 85		

aparecerán por retracción del concreto, de esta forma no es necesario reforzar las placas involucradas, solo si son placas irregulares. Cuando la junta de expansión alrededor de las tapas de los pozos coincide con la junta transversal y la junta longitudinal se construye como se describe en la **ilustración 29**.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 29 Representación gráfica de la construcción para pozos de inspección centrados.

✓ Pozos de inspección excéntricos


Cuando los pozos de inspección son excéntricos o la junta de expansión alrededor de las tapas de los pozos no coincide con la junta longitudinal, se puede emplear una estructura circular para aislar el pozo de la losa y dilatar con una junta de expansión, adicional es necesario reforzar la losa o las losas involucradas como lo muestra la siguiente **ilustración 30**. En caso de que el pozo de inspección involucre dos o más placas, es necesario reforzarlas. **Ilustración 31**, adicional las losas que se ven intervenidas por los pozos de inspección deben ser reforzadas por su irregularidad, utilizando una sola parrilla con varilla de $\frac{1}{2}$ ", cuando la losa se ve involucrada en un 50% se debe colocar doble parilla con las mismas especificaciones. **Ilustración 32**.

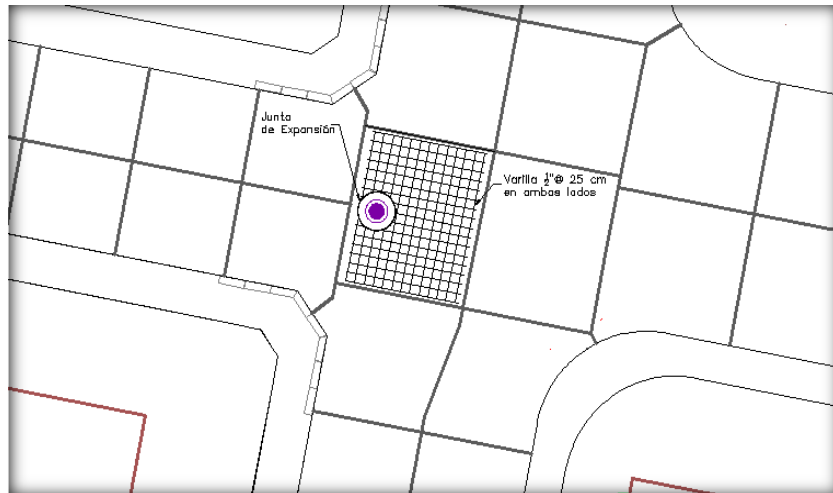
Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

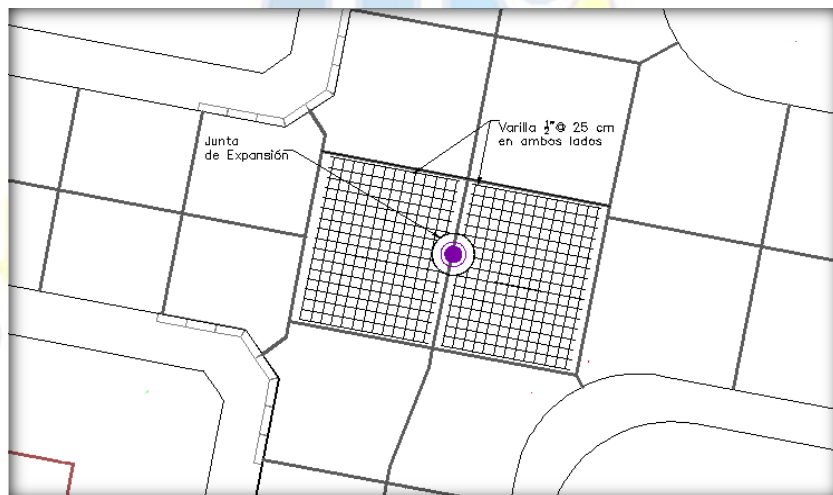
Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 77 de 85		



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 30 Representación gráfica de la construcción para pozos de inspección sobre una losa.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 31 Representación gráfica de la construcción para pozos de inspección sobre más de una losa.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

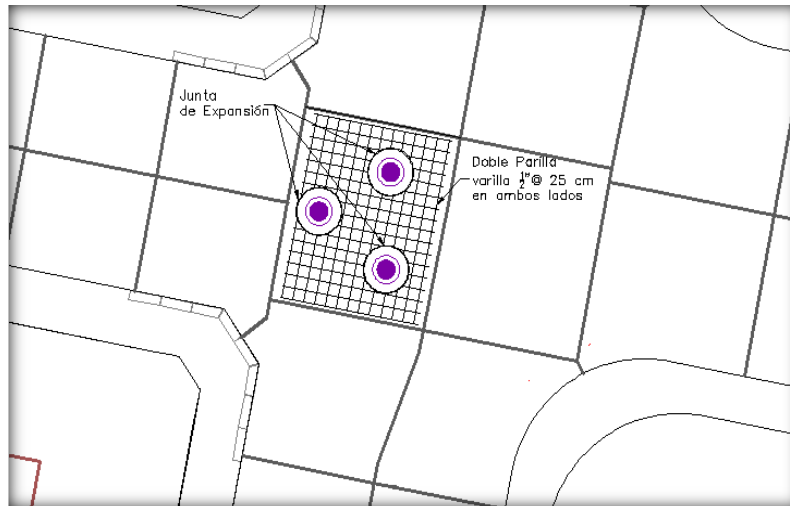
INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	<p style="text-align: center;">FORMATO</p> <p style="text-align: center;">INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS</p>	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 78 de 85		

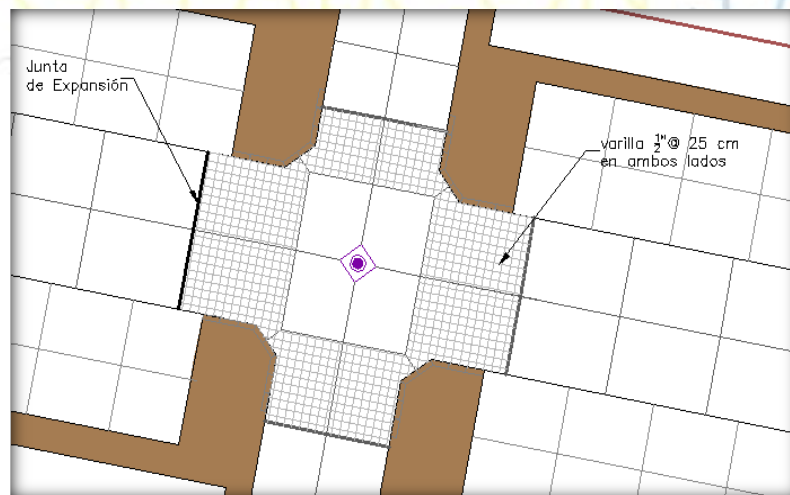


Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 32 Representación gráfica de la construcción de varios pozos de inspección sobre una losa.

✓ Losas irregulares y localizadas en intersección

Para el caso cuando las losas son irregulares y no cuentan con una geometría definida, se debe reforzar y en lo posible dilatar con juntas de expansión, adicional en las intersecciones viales es necesario reforzar las losas para evitar agrietamiento por el fenómeno del frenado vehicular. **Ver ilustración 33.**



Fuente: Elaboración propia.


Ilustración 33 Representación gráfica de del refuerzo de losas irregulares.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 79 de 85		

13. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS


- ✓ Durante el proceso constructivo de la subrasante mejorada se recomienda utilizar un material de afirmado que cumpla con CBR mínimo del 10 %, el cual corresponde al CBR equivalente entre dos capas y con las especificaciones según el **artículo 220-22** INV (Terraplenes) y **artículo 230-22** INV (Mejoramiento de la subrasante con adición de materiales). De igual forma el contratista debe garantizar que durante el proceso de excavación, si se identifica material orgánico, este deberá ser retirado y remplazado para garantizar la calidad del suelo.
- ✓ El contenido de materia orgánica no debe superar el estandarizado según la especificación técnica de la **norma INV E-121** "contenido de materia orgánica máximo (%)".
- ✓ Se recomienda durante el proceso de céreo y durante el proceso de colocación de cada capa de mejoramiento pasar una volqueta sobre la vía a construir con la finalidad de identificar fallos para ser retirados y remplazados por piedra rajón. De igual forma el contratista debe garantizar que durante el proceso de excavación, si se identifica material orgánico, este deberá ser retirado y remplazado para garantizar la calidad del suelo.
- ✓ Durante el proceso constructivo de la subbase granular se recomienda compactar subcapas no mayores a 15 cm hasta alcanzar una densidad seca del 95 % según el proctor modificado, adicional el material de subbase debe cumplir con las especificaciones según el **artículo INV 320 – 22** "Subbase Granular clase C". Lo anterior al nivel del tránsito ya que la clasificación y selección de la subbase granular, de debe a la variable mencionada. La **tabla 16** presenta el número de vehículos esperados según el espectro de carga (**144,467 vehículos**). Las referencias de selección de subbase se muestran en las **tablas 44 y 45**.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	<p style="text-align: center;">FORMATO</p> <p style="text-align: center;">INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS</p>	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 80 de 85		

CLASE DE SUB-BASE GRANULAR	NIVEL DE TRÁNSITO
Clase C	NT1
Clase B	NT2
Clase A	NT3

Fuente: Tabla 320-1 Artículo 320-2022 INVIAS
Tabla 44 Uso típico de las diferentes subbases granulares.

Número de ejes equivalentes de 80 kN que circulan en el carril y período de diseño x 10 ⁵								
Invías (2013)			IDU (2011)					
NT1	NT2	NT3	T0	T1	T2	T3	T4	T5
<0.5	0.5-5.0	>5.0	<0.2	0.2-0.5	0.5-1.5	1.5-3.0	3.0-7.5	>7.5

Fuente: Tabla 2.1 Pavimentos, materiales, construcción y diseño, Freddy Alberto Reyes
Tabla 45 Categoría de tránsito de acuerdo con INVIAS 2022.


- ✓ Se recomienda hacer control estricto de la superficie o nivelación del material granular antes de instalar la capa con apoyo de equipo topográfico, garantizando que los bombeos planteados en el diseño geométrico se respeten para esta capa del pavimento rígido con el fin de evitar dejar desniveles o depresiones que generen en el concreto esfuerzo de tensión inadmisibles para el mismo.
- ✓ Se recomienda respetar la modulación de las losas de concreto conservando las dimensiones seleccionadas por esta consultoría y garantizando un desarrollo homogéneo a lo largo de todas las vías como se muestra en la **ilustración 34**, en caso de generarse por procesos constructivos cambios en la geometría de las losas de concreto, se debe consultar al diseñador ya que de exceder los valores máximos de las losas de concreto se puede presentar fisuras por alabeo como se indica en la **ilustración 35**.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	<p style="text-align: center;">FORMATO</p> <p style="text-align: center;">INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS</p>	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 81 de 85		

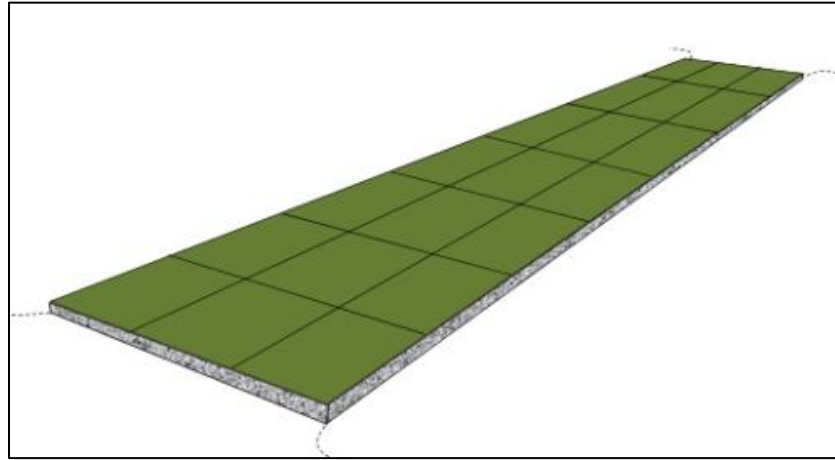


Ilustración 34 Representación gráfica de una óptima modulación de losas de concreto.

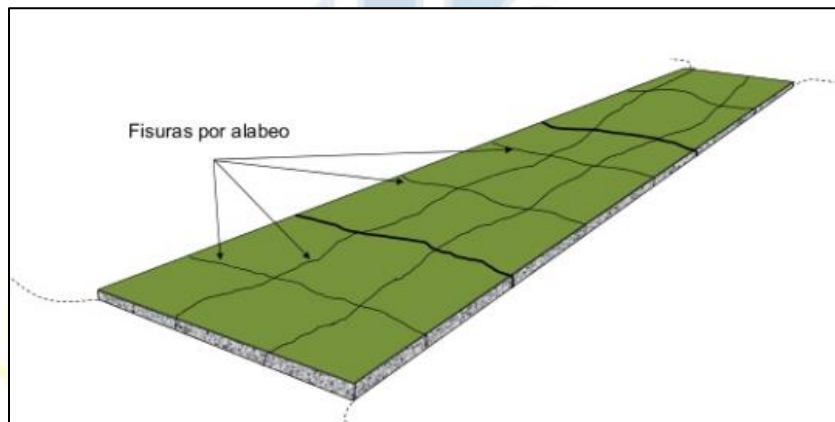


Ilustración 35 Representación gráfica de fisuras por alabeo.


- ✓ Se recomienda reforzar las losas irregulares y las que se encuentren en una intersección vial, adicional se debe reforzar las losas que se vean involucradas con algún tipo de registro o pozo de inspección; cuando más del 50% de la losa se vea involucrada por el tipo de estructuras mencionadas anteriormente, se debe colocar parrilla sencilla de acero de refuerzo corrugado de ½" cada 25 cm en ambas direcciones, ubicadas a H/2 del espesor en la fibra superior, como medida de control de auto fisuración del concreto. También, se recomienda el empleo de este refuerzo en aquellas losas que hacen parte de zonas de paraderos, considerando los efectos de frenado y aceleración de los vehículos. Se puede reemplazar la parrilla en acero por una malla electrosoldada. Se debe seguir las especificaciones del **artículo 640 – 22 INV “acero de refuerzo”**.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
 Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	<p style="text-align: center;">FORMATO</p> <p style="text-align: center;">INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS</p>	
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00		
Página 82 de 85		

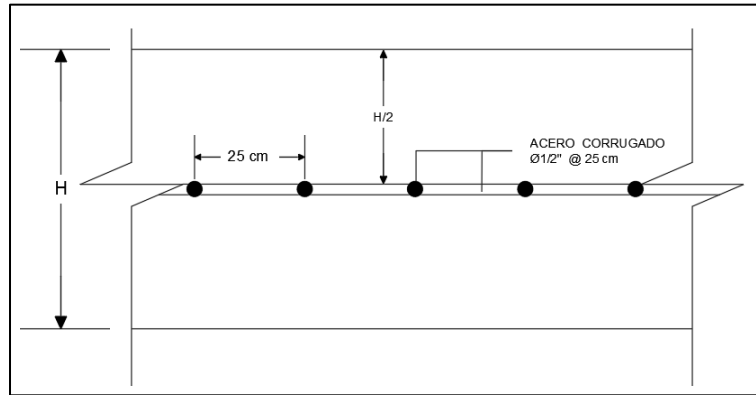


Ilustración 36 Representación gráfica de del refuerzo de losas irregulares.

- ✓ Si requieren bordillos, estos pueden ser prefabricados (sin refuerzo) con un ancho de 0,20 m y altura 0,60 m, con una resistencia mínima a la compresión a 28 días de 140 (Kg/cm²) (Clase F) o bordillos fundidos in situ el cual deberá llevar dilataciones cada 80 cm de tal modo que, de una apariencia de bordillo prefabricado, con una resistencia mínima a la compresión a 28 días de 175 (Kg/cm²) (Clase E). Los bordillos deben tener una pendiente longitudinal similar a la del eje de la vía según diseño geométrico. La mezcla de concreto hidráulico debe tener como requerimiento las especificaciones técnicas **artículo 672 – 22 INV** “bordillos de concreto” y al **artículo 630 - 22 INV** “concreto estructural”.


INGELABCON S.A.S.
Confiabilidad en nuestros resultados

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 83 de 85		

14. CONCLUSIONES

- ✓ Las vías por construir se encuentran localizadas municipio de Tierralta, departamento de Córdoba.
- ✓ El diseño transversal se definió para un ancho de **6.00 m**, con bombeos normales del 2% y bombeos transicionales ajustados a las condiciones actuales de drenaje y empalmes viales, tal información se puede observar en los planos de secciones transversales e informes de diseño geométrico.
- ✓ El tránsito equivalente calculado se deduce en función de la categoría de la vía. Numero de ejes equivalentes **144,467** ejes equivalentes, por lo cual se encuentra en categoría NT1 como se muestra en la **tabla 44** y en el M.D.C. de INVIAS.
- ✓ La estructura adoptada durante el pre-dimensionamiento del pavimento rígido por la metodología de la AASHTO 93 se puede observar en la **tabla 46**.

Losa de Concreto Hidráulico e = 16 cm MR = 3.8 Mpa
Subbase Granular e = 15 cm K = 50.3 Mpa/m
Material de mejoramiento, CBR=10% e=15 cm
Material existente en campo según estudio geotécnico.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46 Estructura pre-dimensionamiento pavimento rígido.

- ✓ La metodología para la verificación de esfuerzos y deflexiones obedece a la propuesta por la PCA, se concluye que esta metodología aplica para el diseño de pavimentos rígidos.
- ✓ Una vez realizado la verificación de esfuerzos por fatiga, deflexión por erosión y porcentaje de consumo, se concluye que la estructura óptima para soportar las repeticiones calculadas es la que se observa en la **tabla 47**.


Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-I008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiabilidad en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 84 de 85		

Losa de Concreto Hidráulico $e = 20 \text{ cm}$ $MR = 3.8 \text{ Mpa}$
Subbase Granular $e = 15 \text{ cm}$ $K = 50.3 \text{ Mpa/m}$
Material de mejoramiento, CBR=10% $e=15 \text{ cm}$
Material existente en campo según estudio geotécnico.

Fuente: Elaboración propia.
 Tabla 47 Estructura dimensionada pavimentos rígido.




INGELABCON S.A.S.
 Confiabilidad en nuestros resultados

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
 Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com

CÓDIGO: CO-F-1008	FORMATO	 INGELABCON S.A.S. Confiable en nuestros resultados
FECHA: 19/11/2021		
VERSIÓN: 00	INFORME DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	
Página 85 de 85		

15. LIMITACIONES

Este informe y las recomendaciones que aquí se consignan se realizan con base en el estudio de suelos realizado por esta consultoría y la información del tránsito y diseño geométrico suministrado por el contratista.

Si por cualquier motivo durante los trabajos de diseño y/o construcción surgen variaciones y se observan condiciones diferentes del suelo de subrasante o tránsito esperado, se solicita que se comuniquen con el consultor con el fin de realizar los ajustes que sean del caso.

José Sebastián Soto O.

JOSÉ SEBASTIÁN SOTO OSPINO

Consultor en Pavimentos
Especialista en vías y transportes
Ingeniero Civil

Jesús David Pizarro Fernández

JESÚS DAVID PIZARRO FERNANDEZ

Gerente INGELABCON S.A.S.
Ingeniero Civil
Celular: 314 631 74 10

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba
Cel: 3146317410 – Email: ingelabcon@gmail.com