DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PCA 84

"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

ANDREA CABALLERO HERNÁNDEZ
INGENIERA CIVIL- MÁSTER EN CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS

PROYECTO:

"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

DISEÑÓ:

ANDREA CAMILA CABALLERO HERNÁNDEZ
INGENIERA CIVIL- MÁSTER EN CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS

VERSIÓN	FECHA
1	28/Febrero/2025

REPÚBLICA DE COLOMBIA

MUNICIPIO DE MORROA

DEPARTAMENTO DE SUCRE

2025

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 5
2 OBJETIVOS 6
2.1 OBJETIVO GENERAL 6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
3 RESPONSABILIDAD DE LA OBRA 6
4 LOCALIZACIÓN DE LA OBRA 7
5 TRABAJO DE CAMPO 9
6 REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL TRAMO VIAL 9
7 TIPO DE ESTRUCTURA A DISEÑAR: PAVIMENTO RIGIDO 10
8 METODOLOGÍAS DE DISEÑO PCA 84 Y AASHTO 93 10
9 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO 12
9.1 METODOLOGÍA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA 84) 12
9.1.1 CRITERIOS DE DISEÑO METODOLOGÍA PCA 12
9.1.2 RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO PARA EL PAVIMENTO 15
9.1.3 ANÁLISIS DEL TRÁNSITO 16
9.1.4 DATOS DEL ESTUDIO DE SUELOS 18
9.1.5 DETERMINACIÓN DEL CBR DE DISEÑO 18
9.2 METODOLOGÍA AASHTO 93 19
9.2.1 CRITERIOS DE DISEÑO METODOLOGÍA AASTHO 19
9.2.2 Variables de diseño 20
9.2.3 Criterios de comportamiento 25
9.2.4 Propiedades de los materiales 26
9.2.5 **Características estructurales** 28
10 DISEÑO DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO CON PROGRAMA DIS 3G DIS PAV VERSIÓN 1.5 30
10.1 DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO POR LA METODOLOGÍA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA 84) 30
10.1.1 Nivel de tránsito 30
10.1.2 Subrasante 31
10.1.3 Subbase granular 32
10.1.4 Definición de espesores de losa 33

10.2 DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO POR LA METODOLOGÍA AASHTO 93 39
11 SECCIÓN TRANSVERSAL 43
12 DISEÑO DE JUNTAS 44
12.1 JUNTAS LONGITUDINALES.....45
12.2 JUNTAS TRANSVERSALES.....46
12.3 JUNTAS DE AISLAMIENTO.....47
12.4 SELLADO DE JUNTAS.....49
12.5 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN.....49
12.6 JUNTAS ESPECIALES DE EXPANSIÓN 50
13 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOSAS DE PAVIMENTO IRREGULARES CON ACERO DE REFUERZO 50
14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....52
15 BIBLIOGRAFÍA.....53

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. División política del departamento de Sucre-Ubicación del municipio de Morroa 7
Ilustración 2. Imagen satelital de las vías a intervenir en el municipio de Morroa.....8
Ilustración 3. Relación entre la resistencia y edad de diseño. 13
Ilustración 4.Esquema de los ensayos a flexión del concreto. 14
Ilustración 5. Calidad del concreto a flexión 15
Ilustración 6.Resistencia a la flexión del concreto.....15
Ilustración 7. Distribución porcentual de vehículos según estudio de tránsito.....17
Ilustración 8.Datos de entrada para el diseño de pavimento 30
Ilustración 9.Análisis de tránsito PCA 84.....34
Ilustración 10.Datos obtenidos para el Diseño programa 3G DIS PAV V1.5 PCA 84 35
Ilustración 11.Análisis de tránsito PCA 84.....39
Ilustración 12.Datos obtenidos para el Diseño programa 3G DIS PAV V1.5 AASHTO 93 40
Ilustración 13.Representación del bordillo 43
Ilustración 14.Representación de la estructura de pavimento propuesta.....44
Ilustración 16. Juntas y distribución de aceros. Fuente: Tomada de Google. 45
Ilustración 16.Junta longitudinal de construcción 45
Ilustración 17.Junta Fuente: Tomada de Google. 47
Ilustración 18.Sección típica de junta de aislamiento entre pavimentos existentes Fuente: Tomada de Google.....48
Ilustración 19. Sección típica de junta de aislamiento entre otras estructuras fijas Fuente: Tomada de Google.....48
Ilustración 20. Disposición de juntas sobre pozos de inspección. Fuente: Tomada de Google.....48

Ilustración 21. Recomendaciones constructivas pasadores Fuente: Tomada de Google 49

TABLAS

Tabla 1. Cuadro resumen de localización inicio – fin de los tramos de vías a intervenir. 8
Tabla 2.Anchos de calzadas por tramo 9
Tabla 3.Resumen Volúmenes vehiculares – ESTACIÓN DE AFORO 16
Tabla 4.Espectro de cargas y ejes equivalentes analizados con los datos de la estación 3. 17
Tabla 5.CBR obtenido en el estudio de suelos 18
Tabla 6.Periodo de análisis por la metodología AASHTO 21
Tabla 7.Valores para desviación estándar 23
Tabla 8.Niveles de confiabilidad metodología AASHTO 24
Tabla 9.Indice de serviciabilidad final 26
Tabla 10.Valores recomendados del coeficiente de drenaje (Cd) para el diseño 28
Tabla 11.Coeficiente de transferencia de carga (J) 29
Tabla 12.Propuesta estructura de pavimento por la metodología PCA 84 37
Tabla 13.Propuesta estructura de pavimento por la metodología AASHTO 93 42
Tabla 14.Barras de refuerzo para juntas longitudinales Fuente: manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de transito 46
Tabla 15.Refuerzo para la junta transversal de contracción con dovelas Fuente: manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de transito 47

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento expone el diseño y el dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido para el proyecto: ***"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"***

Las vías incluidas en este proyecto presentan actualmente una superficie en terreno natural con un estado general regular y problemas asociados al drenaje, lo que afecta su funcionalidad y seguridad. Este proyecto no solo busca resolver estas deficiencias técnicas, sino también contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes mediante la implementación de una infraestructura vial más segura, eficiente y duradera.

Entre los principales beneficios esperados se encuentran: una disminución en los costos de mantenimiento de las vías, una mejora en la movilidad urbana, y un impulso al desarrollo económico del municipio, impactando positivamente en las dinámicas sociales y productivas del sector.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño y el dimensionamiento de la estructura de pavimento Rígido en los tramos de vías de interés ubicados en la zona urbana del municipio de Morroa, Sucre definidos en el proyecto de pavimentación y especificados en el presente documento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir una estructura de pavimento que responda correctamente a los requerimientos técnicos y económicos del proyecto.
- Analizar y atender las recomendaciones realizadas en los estudios de tránsito, geotécnico, hidrológico, hidráulico y topográfico.
- Establecer las especificaciones pertinentes de las vías en función de los requerimientos y el alcance del proyecto.
- Verificar o diseñar los alineamientos horizontal y vertical teniendo en cuenta lo consignado en el estudio topográfico.
- Realizar recomendaciones para que el proceso constructivo cumpla con los requerimientos expuestos en el diseño de la estructura y con las condiciones y requerimientos del proyecto.

3 RESPONSABILIDAD DE LA OBRA

El diseño de la estructura del pavimento rígido, incluyendo espesores, materiales y juntas, será responsabilidad del Ingeniero Especialista en Pavimentos. Este diseño estará basado en los resultados de los estudios de suelos y las especificaciones técnicas del proyecto. El Ingeniero Residente de Obra será el encargado de supervisar la ejecución del diseño, asegurando que se cumplan las especificaciones técnicas y normativas aplicables. La entidad financiadora, a través de sus profesionales especializados, realizará una revisión final del diseño antes de su aprobación.

4 LOCALIZACIÓN DE LA OBRA

4.1. LOCALIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO

Morroa es un municipio colombiano ubicado al noreste del departamento de Sucre, en la subregión de Montes de María, en la región Caribe de Colombia, al norte de la República de Colombia. Fue elevado a la categoría de municipio por primera vez el 1855, perdió esta categoría en 1928, pero poco tiempo después y por medio de ingentes esfuerzos legales, fue ratificado nuevamente como municipio.

Limitado por las Coordenadas Geográficas, 90°20'121" Latitud Norte y 75°18'31" Latitud Occidental respecto al Meridiano de Greenwich y coordenadas planas X= 1'524.000, Y= 865.000 según restricciones Cartográficas del IGAC. A una altura sobre el nivel del mar de 160 m. Dista de Sincelejo la capital departamental 10 km por vía terrestre. El área municipal es de 170,16 km² ocupando el 1,5% del territorio departamental.

Los límites del municipio son:
NORTE: Municipios de Toluviejo, Coloso y Los Palmitos
ESTE: municipios de Corozal y Los Palmitos
SUR: municipios de Sincelejo y Corozal
OESTE: municipios de Toluviejo y Sincelejo

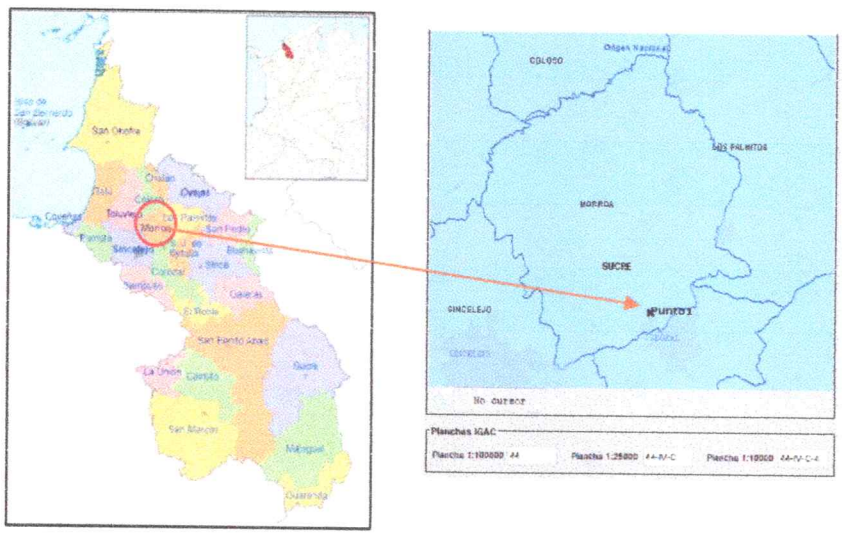


Ilustración 1. División política del departamento de Sucre-Ubicación del municipio de Morroa

Las vías a intervenir están localizadas en la zona urbana del municipio de Morroa, tal como se muestra en la siguiente imagen:



Ilustración 2. Imagen satelital de las vías a intervenir en el municipio de Morroa

El Geoposicionamiento de las vías es el siguiente:

"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"									
MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE									
GEOPOSICIONAMIENTO TRAMO A INTERVENIR									
TRAMO	**Ubicación**	**Referencia**	**Abscisas**	**Distancia(m)**	**Alternativa**	**Coordenadas Gauss Kruger**		**Coordenadas Elipsoidales**	
						Norte	**Este**	**Latitud**	**Longitud**
1	CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA	Inicio	0+000	273.00	Pavimento Rígido	1523888.129	865741.054	9°19'52.54"N	75° 17'58.40"O
		Fin	0+273			1524087.890	865910.224	9°19'59.05"N	75° 17'52.88"O
				273.00					

Tabla 1. Cuadro resumen de localización inicio – fin de los tramos de vías a intervenir.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente documento muestra el diseño de la estructura de pavimento para la zona de intervención que se encuentra en jurisdicción del municipio de Morroa, departamento de Sucre.

La longitud total de intervención es de 273 metros, el ancho de la calzada es de 5.00metros:

Tabla 2.Anchos de calzadas por tramo

TRAMO	Ubicación	Referencia	Abscisas	Distancia(m)	Ancho de calzada (m)
1	Carrera 7 entre calle 9 y fundación María Reina	Inicio	0+000	273.00	5.00
		Fin	0+273		

Luego de un análisis exhaustivo de las diferentes alternativas de pavimentación, se ha determinado que el pavimento rígido, diseñado según la metodología PCA 84, es la opción más adecuada para este proyecto. Esta decisión se fundamenta en las características del suelo, las cargas de tráfico proyectadas y la necesidad de una infraestructura vial duradera y resistente. El pavimento rígido, al ser de concreto, ofrece una mayor rigidez y capacidad de carga, lo que se traduce en menores costos de mantenimiento a largo plazo. El diseño incluirá un sistema de drenaje adecuado para garantizar la evacuación de las aguas superficiales y prolongar la vida útil del pavimento.

5 TRABAJO DE CAMPO

Se realizó una visita al Tramo que tiene una longitud de 273 metros de vías urbanas, mediante inspección visual se observa que dichos tramos objeto de este proyecto presentan un deterioro significativo. Se han identificado múltiples problemas, como la formación de charcos y áreas deprimidas, el estancamiento de aguas residuales en las intersecciones. Además, se ha detectado la presencia de materiales orgánicos e inorgánicos en el suelo, lo que podría estar afectando la estabilidad y la capacidad portante de la vía. En algunos puntos, se observan hundimientos de la subrasante, posiblemente causados por la presión del agua subterránea.

6 REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL TRAMO VIAL

TRAMO



7 TIPO DE ESTRUCTURA A DISEÑAR: PAVIMENTO RIGIDO

Los estudios técnicos realizados han concluido que tanto la metodología PCA 84 como la AASHTO 93 son opciones viables para el diseño del pavimento rígido en este proyecto. Ambas metodologías ofrecen soluciones que garantizan una distribución óptima de las cargas y una adecuada resistencia a las flexiones y tensiones a las que estará sometido el pavimento.

Dado que ambas metodologías cumplen con los requisitos estructurales y funcionales, se aplicarán para determinar la alternativa más adecuada en función de las condiciones específicas del proyecto. Esta evaluación comparativa permitirá seleccionar la mejor opción, asegurando la durabilidad y eficiencia del pavimento rígido propuesto, así como su compatibilidad con la infraestructura existente en Morroa, minimizando riesgos durante la ejecución de la obra.

8 METODOLOGÍAS DE DISEÑO PCA 84 Y AASHTO 93

Portland Cement Association (PCA 84)

Este método de diseño se considera un método Empírico- Mecanicista basado en respuestas de pavimentos matemáticamente calculadas ya que está basado en las teorías de Westergaard, Pickett y Ray, y se complementa con base en elementos finitos con los que se estudió el comportamiento de una losa de concreto de espesor variable y dimensiones establecidas. A esta losa se le aplicaron cargas en el centro, bordes y esquinas, considerando diferentes condiciones de apoyo y soporte. Los resultados permitían seleccionar un espesor basado en consideraciones de daño acumulado por fatiga.

Dentro de las principales consideraciones del modelo está controlar especialmente la fatiga (para prevenir el agrietamiento debido a las cargas) y la erosión (para limitar la deflexión en los bordes y esquinas de la losa).

El propósito de este método es obtener el espesor mínimo de una losa de hormigón que permita soportar las cargas que recibirá durante el período de diseño. Es necesario garantizar el buen funcionamiento del pavimento, aunque la inversión inicial sea alta, ya que si se coloca un espesor menor al requerido se tendrán costos a largo plazo que aumentarán la inversión del mismo; por tanto, una correcta ingeniería requiere que los diseños de espesores balanceen apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento.

Los criterios de diseño de espesores de este método están basados en la experiencia del comportamiento general de pavimentos. Si se dispone de experiencia del comportamiento específico regional o local en condiciones más favorables o adversas, los criterios de diseño pueden ser apropiadamente modificados. Estas condiciones particulares pueden ser de clima, suelos, drenaje e innovaciones futuras en los diseños.

En general, el método de diseño de la PCA está basado en:

- Análisis comprensivo de esfuerzos en el concreto y deflexiones en las juntas del pavimento, esquinas, y bordes, por un programa de computadora de elemento finito.

- Modelos y pruebas a escala verdadera como la Arlington Test y varios proyectos de investigación dirigidos por la PCA y otras agencias acerca de sub-bases, juntas y hombros de concreto.

- Pavimentos experimentales sujetos a pruebas de tráfico controlado, tales como la Bates Test Road, the Pittsburg Test Highway, the Maryland Road Test, the AASHO Road Test, y estudios de pavimentos de autopistas en servicio realizado por varios departamentos de estado de transporte.

- El desempeño de pavimentos construidos normalmente sujeto a tráficos normales.

AASHTO 93

El método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos es considerado un método empírico, derivado principalmente del experimento de la Carretera AASTHO (American Association of State Highway Officials) realizado en la década de 1950. Este método se basa en la observación empírica del desempeño de pavimentos reales sometidos a diferentes condiciones de tráfico y clima durante un periodo prolongado. Los resultados de este experimento permitieron desarrollar ecuaciones que relacionan la vida útil de un pavimento con variables como el tráfico, la resistencia del concreto, la rigidez de la subrasante y la calidad de la construcción.

La metodología AASHTO 93 se enfoca en predecir el desempeño a largo plazo del pavimento rígido y determinar el espesor adecuado de la losa de concreto, de manera que pueda soportar las cargas esperadas durante su vida útil. Los parámetros clave que se consideran en este método incluyen el módulo de rotura del concreto (MR), el coeficiente de Poisson, el módulo de elasticidad de la subrasante y el coeficiente de drenaje.

AASHTO 93 introduce el concepto de "Servicio Present Value" (PSI), que mide el nivel de confort y seguridad que un pavimento proporciona a los usuarios. Este valor se degrada con el tiempo debido al tráfico y las condiciones climáticas, y la metodología se centra en diseñar un pavimento que mantenga un PSI aceptable durante el periodo de diseño.

El método también incorpora un factor de confiabilidad, que ajusta el diseño para considerar la variabilidad inherente en los materiales de construcción y las condiciones ambientales. Además, se aplican factores de ajuste para condiciones específicas, como el tipo de tráfico (ejes equivalentes), el clima y las propiedades del suelo.

El propósito de la metodología AASHTO 93 es garantizar que el pavimento tenga la capacidad estructural suficiente para resistir las cargas y condiciones a las que será sometido, minimizando la necesidad de reparaciones y mantenimiento a lo largo de su vida útil. Aunque se basa en datos empíricos, el método ha sido refinado con el tiempo para incluir aspectos mecanicistas y consideraciones prácticas en el diseño de pavimentos.

9 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO

9.1 METODOLOGÍA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA 84)

El dimensionamiento de la estructura de pavimento se realiza a través de la metodología de la Portland Cement Association, PCA, la cual se encuentra basada en el análisis del comportamiento de estructuras en funcionamiento y en tramos experimentales. Además, se considera su elección debido a que las variables de análisis y los factores de diseño requeridos para su implementación son de fácil determinación en el ámbito ingenieril y responden a indicadores, relaciones y criterios comúnmente valorados en proyectos de pavimentación urbana y rural con alcances y contextos similares al proyecto en consideración.

El estudio consta de dos criterios de diseño básicos, fatiga y erosión. El análisis de fatiga se realiza para garantizar que los esfuerzos del pavimento producidos por la acción repetida de las cargas se mantengan dentro de los límites de seguridad y con ello prevenir la fatiga por agrietamiento. El análisis de erosión se realiza para limitar los efectos de la deflexión en las losas, juntas y esquinas y de esta forma controlar la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas, además, con ello se previenen fallas en la estructura diferentes a las asociadas a la fatiga, como, por ejemplo, el desnivel entre losas o el bombeo.

Es importante mencionar que debido al tránsito promedio diario (TPDs 15) y a las características de este proyecto podría ser diseñado a través del método simplificado validado por INVIAS. No obstante, al contar con los conteos y características de los vehículos se realiza el dimensionamiento a través del método de la PCA.

9.1.1 CRITERIOS DE DISEÑO METODOLOGÍA PCA

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de falla:

- El criterio de erosión de la subbase por debajo de las losas
- El criterio del esfuerzo de fatiga para evaluar el procedimiento de diseño La fatiga del pavimento de concreto.

El criterio de erosión reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencias de elevaciones en las juntas. El criterio del esfuerzo de fatiga reconoce que el pavimento pueda fallar, presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga.

- El criterio de Erosión de la subbase por debajo de las losas, el cual reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo (erosión del terreno de soporte de la losa de concreto) y diferencias de elevaciones en las juntas. Este criterio se utiliza con el fin de limitar los efectos de las deflexiones del pavimento en el borde de las losas, juntas y esquinas, controlando así la erosión de la cimentación. El criterio por erosión es necesario ya que

algunas formas de daños del pavimento tales como bombeo y fallas no son ocasionadas por el número de repeticiones recibidas (fatiga).

EL BOMBEO

Es considerado como la eyección de material desde abajo de la losa, como resultado de la presión del agua. El agua acumulada por debajo de la losa será presurizada cuando la losa flexione debido a carga. Este fenómeno ocurre debido a muchas repeticiones de cargas de ejes pesados en las esquinas de la losa de concreto y bordes, erosión de subrasante, subbase, y materiales del hombro; lo cual genera huecos bajo y junto a la losa.

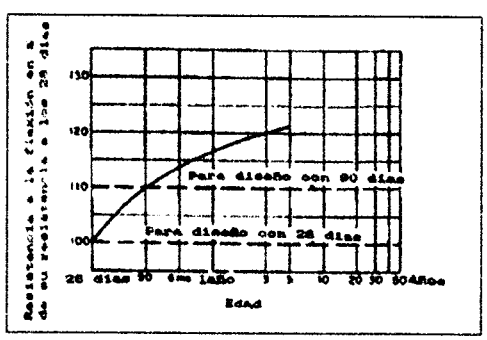
- El criterio del Esfuerzo De Fatiga, el cual reconoce que el pavimento pueda fallar debido a excesivas repeticiones de carga. Es utilizado con la intención de mantener los esfuerzos del pavimento originados por la acción de cargas repetidas, dentro de límites seguros previniendo así el agrietamiento por fatiga. La fatiga se cuantifica en términos de porcentaje de absorción de la fatiga, se recomienda optimizar el diseño obteniendo un valor cercano al 100%, ya que, si se tienen valores menores a dicho porcentaje, se estaría determinando una estructura sobre diseñada

Adicionalmente a los dos criterios de diseño ya establecidos por la PCA, el criterio ingenieril influye en la determinación del tipo de sistema de juntas a utilizar, tipo de subbase requerido y/o tipo de confinamiento lateral. Luego de tener claro estos parámetros, existen otros factores tenidos en cuenta para el diseño de las estructuras de diseño en pavimentos rígidos que influyen en el espesor definitivo de una estructura de hormigón, estos son:

Módulo de rotura del Concreto (MR):

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto por flexión con carga en los tercios o punto medios. Los valores obtenidos casi siempre corresponden entre un 10% o 20% de la resistencia a la compresión del concreto, ya el criterio del diseñador determinará el valor a utilizar de acuerdo con el uso del pavimento. Se utiliza una resistencia de diseño a 28 días de curado de la mezcla, ya que el concreto al pasar del tiempo sigue ganando resistencia

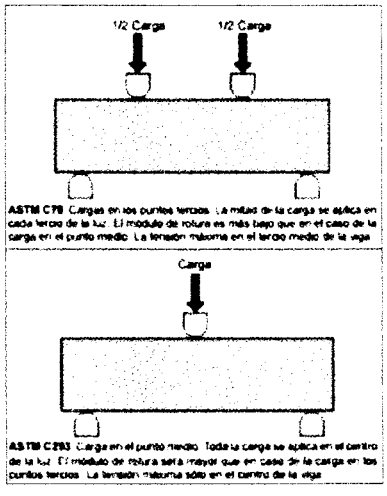
Ilustración 3. Relación entre la resistencia y edad de diseño.



Fuente: *Diseño de espesores para pavimentos de hormigón en carreteras y calles.*

En nuestro país se establecen valores de MR entre 41kg/cm2 (583 psi) a 50kg/cm2 (711 psi) y el ensayo se rige por la norma ASTM C78 y ASTM C293.

Ilustración 4.Esquema de los ensayos a flexión del concreto.



Fuente: *concrete strength testing*

Resistencia de la Subrasante (K) o de la combinación subrasante – subbase:(Kc), El soporte de la subbase y de la subrasante se define en términos del módulo de reacción de la subrasante (K), el cual corresponde a la carga aplicada en un área cargada dividida por la deflexión producida ante dicha carga. Cuando se utiliza una subbase se tiene un incremento en el valor k, el cual debe ser usado en el diseño del espesor. Este parámetro de diseño es determinado mediante el ensayo de CBR (Relación de Soporte de California o California Bering Ratio).

Cargas del tránsito: Se debe conocer el espectro de cargas por eje y proyectarlo durante el periodo de diseño del pavimento. Las cargas incluyen un factor de seguridad según la intensidad del tránsito. La información referente al tráfico es empleada para determinar el número de repeticiones esperadas de cada tipo de eje durante todo el periodo de diseño. Para poder conocer estos valores tendremos que conocer varios factores referentes al tránsito, como lo son el tránsito promedio diario anual (TPDA), el porcentaje que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el período de diseño. Cabe aclara que el método PCA solo tiene en cuenta el tráfico pesado, despreciando las cargas generadas por el tráfico liviano como automóviles.

Basándonos en el análisis de las características del suelo, se ha determinado que el valor del CBR mínimo en la muestra inalterada es del 4.27%, debido a que esta muestra corresponde a suelos clasificados como SM en profundidades hasta 1.50m.

Se selecciona un periodo de análisis de tránsito de 20 años, igualmente se determina la misma cantidad de años para el periodo de servicio y diseño de la vía.

9.1.2 RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO PARA EL PAVIMENTO

El método PCA – 84, dentro del criterio de fatiga, considera el módulo de rotura del concreto (MR), debido a que la deformación que sufre el pavimento de concreto bajo las cargas produce esfuerzos a compresión y tensión.

Sin embargo, la relación entre los primeros y la resistencia a la tensión es muy baja para afectar el diseño del espesor de la losa, mientras que la relación entre los segundos y la resistencia a la flexión es mayor. Dando como resultado el valor del módulo de rotura del concreto como parámetro critico a considerar en el diseño.

Ilustración 5. Calidad del concreto a flexión

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

Tabla 3-1. Resistencia que debe alcanzar el concreto

Fuente: manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de transito

Para el módulo de rotura recomendado para el diseño del pavimento para todo el tramo del proyecto, se tienen en cuenta los camiones promedio que pasan por la vía actualmente y los que las construcciones de ella atraerán se estima una cantidad mayor a 25 y menos a 150, entonces, teniendo en cuenta el criterio del profesional, la resistencia escogida es de MR = 40 kg/cm2, (4.0 MPa), considerando que el concreto se producirá en sitio, se tomaran las medidas de calidad necesarias en la producción del concreto para el pavimento. Por lo tanto, tenemos un MR2 para este proyecto.

Ilustración 6.Resistencia a la flexión del concreto.

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

Fuente: manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de transito

La razón que justifica la utilización de concretos de tal resistencia se manifiesta en que se espera un diseño gobernado por el criterio de fatiga y no por el criterio de erosión, a causa de la circulación de vehículos cargados sobre ejes simples rueda doble en su gran mayoría.

9.1.3 ANÁLISIS DEL TRÁNSITO

Las vías en estudio se clasifican como carreteras urbanas, donde el tránsito predominante está compuesto por motocicletas, automóviles y camiones C2P. Aunque el volumen de tránsito es bajo, acorde a lo esperado para una vía urbana, se ha realizado el conteo vehicular y los aforos necesarios para evaluar las cargas a las que se someterá la estructura durante el periodo de diseño.

Para este análisis, se tomaron los datos de tránsito de la Estación dada en el estudio de tránsito, la cual presentó un Tránsito Promedio Diario (TPD) de 15 vehículos. Estos valores se han apropiado para el diseño estructural y el cálculo de las repeticiones esperadas de carga. La descripción, cuantificación y proyección del tránsito se efectuó siguiendo las recomendaciones del Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para vías con diferentes niveles de volumen de tránsito.

Además, se utilizará el espectro de carga recomendado por el método PCA84, el cual considera las variaciones de carga a lo largo del tiempo para el análisis del tránsito. De esta manera, se asegura que las estructuras propuestas sean capaces de resistir las condiciones de carga durante el periodo de diseño planteado.

Se define un 2.0% de crecimiento anual de acuerdo con el muestreo de la red nacional para TPD´S menores a 500 vehículos.

Tabla 3.Resumen Volúmenes vehiculares – ESTACIÓN DE AFORO

VOLUMENES VEHICULARES						
"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"						
ESTACIÓN DE AFORO 1						
DIA	**AUTOS / CAMIONETAS**	**C-2P**	**C-2G**	**C3**	**C3-S2**	**BUSES**
lunes, 17 de febrero de 2025	6	2	1	0	0	1
martes, 18 de febrero de 2025	5	1	0	0	0	0
miércoles, 19 de febrero de 2025	9	1	2	0	0	1
jueves, 20 de febrero de 2025	6	1	1	0	0	0
viernes, 21 de febrero de 2025	11	3	1	0	0	0
sábado, 22 de febrero de 2025	8	1	1	0	0	1
domingo, 23 de febrero de 2025	4	0	0	0	0	0
SUMA	49	9	6	0	0	3
PROMEDIO INDIVIDUAL	7	1	1	0	0	0
DESVIACIÓN ESTANDAR	3	1	1	0	0	1
PROMEDIO + D.ESTANDAR	10	2	2	0	0	1
TPD	15					
PORCENTAJE	67%	13%	13%	0%	0%	7%
PORCENTAJE DE VEHICULOS	**AUTOS / CAMIONETAS**	**C-2P**	**C-2G**	**C3**	**C5**	**BUSES**
	67%	13%	13%	0%	0%	7%

Ilustración 7. Distribución porcentual de vehículos según estudio de tránsito.

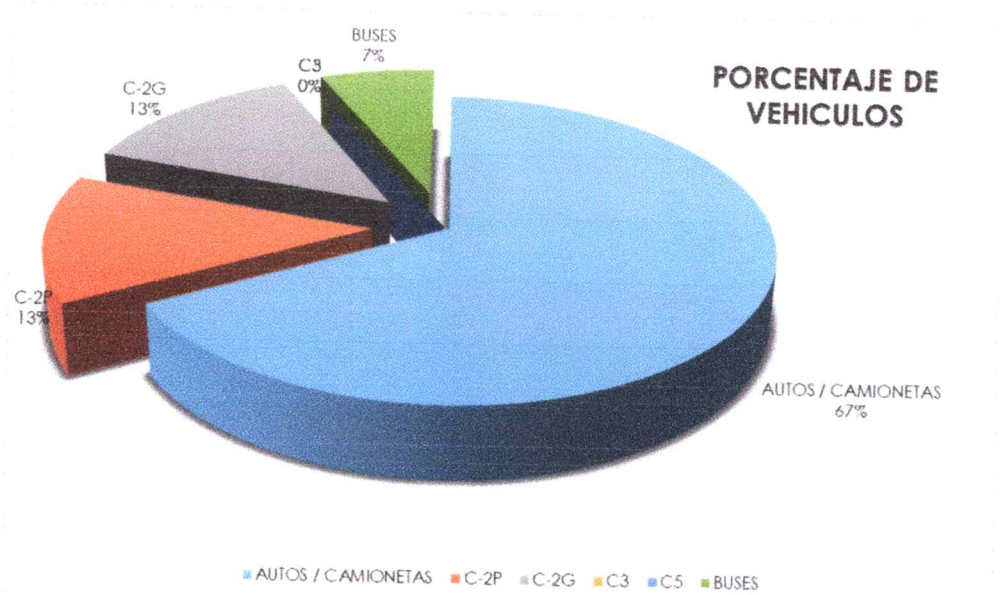


Tabla 4.Espectro de cargas y ejes equivalentes analizados con los datos de la estación 3.

CALCULO DE ESPECTRO DE CARGAS

TIPO DE VEHICULOS	NUMERO DE VEHICULOS ACUMULADOS	EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE				SIMPLE RUEDA DOBLE		EJES TANDEM			TRIDEM
		0	4	6	7	6	10	20	21	22	25
AUTOS	17978		17978								
BUSES	1798			1798							
C2P	3596			1079		2517					
C2G	3596			1079		2517					
C3	0			0				0			
C5	0			0				0		0	
TOTAL	26966	0	17978	3955	0	5034	0	0	0	0	0

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO Y TOTAL

VEHICULOS	PORCENTAJE	NUMERO DE VEHICULOS DIARIOS	FACTOR DAÑO	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO
VEHICULOS	%	15		
AUTOS	66.7	10	0	0
BUSES	6.7	1	1	1
C2P	13.3	2	1.01	2
C2G	13.3	2	2.72	5
C3	0.0	0	3.72	0
C5	0.0	0	4.88	0
TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO				8

TRANSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO (N 8.2)	26966

9.1.4 DATOS DEL ESTUDIO DE SUELOS

Según el estudio de suelos realizado en los tramos de vía por la firma **WILMER URIBE**, se obtuvieron los siguientes resultados, utilizados para clasificar la subrasante y determinar el CBR de diseño. La Tabla relacionada a continuación presenta los valores de CBR obtenidos en los ensayos de suelos.

Tabla 5.CBR obtenido en el estudio de suelos

ESTRUCTURA	SONDEO	PROF. (M)	UBICACIÓN	ABSCISA	TRAMO	TIPO DE SUELO	CBR
PAVIMENTO RÍGIDO	S1	1,50	MORROA	K0+056	#1	SM	6,74
	S2	1,50	MORROA	K0+208	#1	SM	4,27

De acuerdo con las recomendaciones del estudio de suelos, No se propone el mejoramiento de la subrasante en el tramo a intervenir. A continuación, se determinará el CBR de diseño por el método analítico para posteriormente definir el espesor de mejoramiento necesario para garantizar que la subrasante donde se apoyará la estructura de pavimento cumpla con los criterios para vías urbanas.

9.1.5 DETERMINACIÓN DEL CBR DE DISEÑO

Dado que solo se cuenta con tres datos de CBR para la zona donde se construirán los tramos de pavimento, se ha decidido utilizar como **CBR de diseño** el valor más bajo, correspondiente a **4.27%**. Este valor es superior al mínimo recomendado de 3%, indica que el suelo posee una capacidad de soporte buena, lo que NO hace necesario implementar un mejoramiento.

9.2 METODOLOGÍA AASHTO 93

El diseño de la estructura del pavimento se llevará a cabo utilizando la metodologia AASHTO 93, reconocida por su enfoque basado en datos empíricos obtenidos de pruebas en carreteras y pistas experimentales. Esta metodología es ampliamente aceptada debido a su capacidad para incorporar variables de diseño y factores que son fácilmente determinables en el ámbito de la ingeniería civil, lo que la hace especialmente adecuada para proyectos de pavimentación tanto urbanos como rurales.

La metodología AASHTO 93 se centra en garantizar que el pavimento mantenga un nivel de serviciabilidad adecuado durante su vida útil, considerando factores como el tránsito, las propiedades de los materiales y las condiciones ambientales. El diseño se basa en una ecuación empírica que relaciona variables clave, incluyendo el número de repeticiones de carga, la confiabilidad deseada, la variabilidad de los materiales y la capacidad de soporte de la subrasante.

Es importante destacar que, aunque el Tránsito Promedio Diario (TPD) es de 15 vehículos, lo que podría permitir el uso de métodos simplificados validados por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), se dispone de datos detallados sobre los conteos y características de los vehículos que transitan por la vía en estudio. Por lo tanto, se ha optado por emplear la metodología AASHTO 93 para el dimensionamiento del pavimento, ya que permite un análisis más detallado y preciso, asegurando que la estructura diseñada cumpla con los estándares de desempeño y durabilidad requeridos para este proyecto.

9.2.1 CRITERIOS DE DISEÑO METODOLOGÍA AASTHO.

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

La ecuación fundamental AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos es:

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

Donde:

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

S_0 = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P_t = Serviciabilidad final.

S'_c = Módulo de rotura del concreto en psi.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

C_d = Coeficiente de drenaje.

E_C = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

K = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).

Para una mejor descripción de las variables, éstas se han clasificado de la siguiente manera:

- **Variables de diseño**. Esta categoría se refiere al grupo de criterios que debe ser considerado para el procedimiento de diseño.
- **Criterio de comportamiento**. Representa el grupo de condiciones de fronteras especificado por el usuario, dentro del que una alternativa de diseño deberá comportarse.
- **Propiedades de los materiales para el diseño estructural**. Esta categoría cubre todas las propiedades de los materiales del pavimento y del suelo de fundación, requeridas para el diseño estructural.
- **Características estructurales**. Se refiere a ciertas características físicas de la estructura del pavimento, que tienen efecto sobre su comportamiento.

9.2.2 Variables de diseño

9.2.2.1 Variables de tiempo

Se consideran dos variables: período de análisis y vida útil del pavimento. La vida útil se refiere al tiempo transcurrido entre la puesta en operación del camino y el momento en el que el pavimento requiera rehabilitarse, es decir, cuando éste alcanza un grado de serviciabilidad mínimo. El período de análisis se refiere al período de tiempo para el cual va a ser conducido el análisis, es decir, el tiempo que puede ser cubierto por cualquier estrategia de diseño. Para el caso en el que no se considere rehabilitaciones, el período de análisis es igual al período de vida útil; pero si se considera una planificación por etapas, es decir, una estructura de pavimento seguida por una o más operaciones de rehabilitación, el período de análisis comprende varios períodos de vida útil, el del pavimento y el de los distintos refuerzos.

Para efectos de diseño se considera el período de vida útil, mientras que el período de análisis se utiliza para la comparación de alternativas de diseño, es decir, para el análisis económico del proyecto. Los períodos de análisis recomendados son mostrados en la tabla a continuación.

Tabla 6.Periodo de análisis por la metodología AASHTO

CLASIFICACIÓN DE LA VÍA	PERÍODO DE ANÁLISIS (AÑOS)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 – 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 – 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 – 20

*Guia AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

Las vías por intervenir se encuentran sin pavimentar y tienen bajo volumen vehicular, por lo tanto, se ha establecido un período de análisis de entre 10 y 20 años, en este caso será de 20 años y estaría cumpliendo con lo indicado en la Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993". Este período se ajusta a las características del tráfico y las condiciones específicas del entorno de las vías en cuestión, garantizando así un diseño adecuado y sostenible.

9.2.2.2 Tránsito

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que éstos resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito este compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80 kN) o ESAL (Equivalent Single Axle Load), de tal manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple.

La información de tráfico requerida por la ecuación de diseño utilizado en este método es:

cargas por eje, configuración de ejes y número de aplicaciones.

Para la estimación de los ejes simples equivalentes (ESALs), se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

a) Factor equivalente de carga (LEF, por sus siglas en ingles)

La conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga (Fec), que es el número de aplicaciones ESALs aportadas por un eje determinado. Así, el Fce es un valor numérico que expresa

la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un eje estándar de 18 Kips y la carga producida por otro tipo de eje.

$$LEF = \frac{N^0 \text{ de ESALs de 80 kN que produce una pérdida de serviciabilidad}}{N^0 \text{ de ejes x kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Por ejemplo, la aplicación de un eje simple de 12 kips causa un daño aproximadamente igual a 0.23 aplicaciones de una carga por eje simple de 18 kips, por lo tanto se necesitan cuatro aplicaciones de un eje simple de 12 kips para provocar el mismo daño (o reducción de la serviciabilidad), que el de una aplicación de un eje simple de 18 kips.

b) Factor camión (TF, por sus siglas en ingles)

El factor camión (FC) da una manera de expresar los niveles equivalentes de daño entre ejes, pero para el cálculo de ESALs es conveniente expresar el daño en términos del deterioro producido por un vehículo en particular, es decir los daños producidos por cada eje de un vehículo son sumados para dar el daño producido por ese vehículo. Así nace el concepto de factor camión que es definido como el número de ESALs por vehículo.

El factor camión, puede ser computado para cada clasificación general de camiones o para todos los vehículos comerciales como un promedio para una configuración dada de tránsito, pero es más exacto considerar factores camión para cada clasificación general de camiones.

De acuerdo con lo mencionado en el análisis de tránsito realizado por la metodología PCA 84 se estima el factor camión considerando los datos aforados en la estación, el cual se implementará en esta metodología también.

Factores de cálculo de la estación de aforo

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO Y TOTAL				
VEHICULOS	PORCENTAJE	NUMERO DE VEHICULOS DIARIOS	FACTOR DAÑO	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO
VEHICULOS	%	15		
AUTOS	66.7	10	0	0
BUSES	6.7	1	1	1
C2P	13.3	2	1.01	2
C2G	13.3	2	2.72	5
C3	0.0	0	3.72	0
C5	0.0	0	4.88	0
TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO				8

TRANSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO (N 8.2)	26966

9.2.2.3 Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado. Por lo tanto, la confiabilidad está asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

La variabilidad en el diseño, en la construcción afectan en gran medida la bondad de un diseño, por ejemplo:

- La variación en las propiedades de los materiales a lo largo del pavimento produce como resultado una variación en el desarrollo de fallas y rugosidades en ese pavimento. Las fallas localizadas en zonas débiles dan como resultado una disminución en la vida útil del pavimento.
- La variación de la ubicación de los pasadores en las juntas y profundidad de colocación de la armadura da como resultado una variación en el desarrollo de fallas y rugosidades.
- La variación entre los datos de diseño del pavimento y los reales puede significar un aumento o disminución de la vida útil del mismo.

Es por esto que se necesario una variable (S0 – Desviación Estándar) que acote la variabilidad de todos estos factores dentro de unos límites permisibles, con el fin de asegurar que la estructura del pavimento se comporte adecuadamente durante su período de diseño.

La desviación estándar es la desviación de la población de valores obtenidos por AASHTO que involucra la variabilidad inherente a los materiales y a su proceso constructivo. En la siguiente tabla se muestran valores para la desviación estándar.

Tabla 7.Valores para desviación estándar

CONDICIÓN DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S_0)	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39	0.49

Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

Para la selección del nivel de confiabilidad debe tenerse en cuenta dos aspectos:

a) Grado de importancia de la carretera

Tiene que ver con el uso esperado de la carretera. Así, para carreteras principales el nivel de confiabilidad es alto, ya que un subdimensionamiento del espesor del pavimento traerá como consecuencia que éste alcance los niveles mínimos de serviciabilidad antes de lo previsto, debido al rápido deterioro que experimentará la estructura. En la tabla 1.3 se dan niveles de confiabilidad aconsejados por la AASHTO.

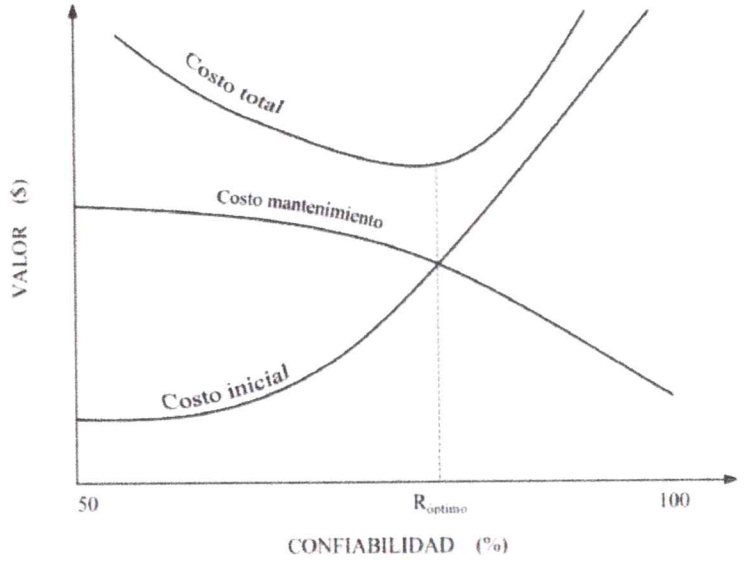
Tabla 8.Niveles de confiabilidad metodología AASHTO

Tipo de camino	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85 99.9	80 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Para la selección del nivel de confiabilidad en el diseño de pavimentos, se ha determinado que las vías a intervenir son locales situadas en una zona urbana. Según la Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993", para este tipo de vías se recomienda un nivel de confiabilidad que oscila entre el 50% y el 80%. Esta elección se fundamenta en la naturaleza y la función de las vías, que soportan un tráfico menor y no son arterias principales, lo que permite optar por un rango de confiabilidad adecuado para asegurar la durabilidad y el desempeño del pavimento a lo largo de su vida útil.

b) Optimizar el espesor de pavimento

Se debe determinar el nivel de confiabilidad óptimo que me asegure el costo total más bajo, es decir, que balancee apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento como se muestra en la figura 1.11. Si el espesor es mayor de lo necesario, el pavimento prestará un buen servicio, con bajos costos de mantenimiento, pero el costo de inversión inicial será alto. Todo lo contrario, sucede cuando el espesor es menor de lo necesario.



9.2.3 Criterios de comportamiento

9.2.3.1 Serviciabilidad

La serviciabilidad se usa como una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional), cuando éste circula por la vía. También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, etc, que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

El concepto de serviciabilidad está basado en cinco aspectos fundamentales resumidos como sigue:

1. Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del público usuario.
2. El confort, o calidad de la transitabilidad, es materia de una respuesta subjetiva de la opinión del usuario.
3. La serviciabilidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y se denomina la calificación de la serviciabilidad.
4. Existen características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden relacionarse a las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
5. El comportamiento puede representarse por la historia de la serviciabilidad del pavimento.

Cuando el conductor circula por primera vez o en repetidas ocasiones sobre una vialidad, experimenta la sensación de seguridad o inseguridad dependiendo de lo que ve y del grado de dificultad para controlar el vehículo. El principal factor asociado a la seguridad y comodidad del usuario es la calidad de rodamiento que depende de la regularidad o rugosidad superficial. del pavimento. La valoración de este parámetro define el concepto de Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en ingles).

El PSI califica a la superficie del pavimento de acuerdo a una escala de valores de 0 a 5. Claro está, que, si el usuario observa agrietamientos o deterioros sobre la superficie del camino aún sin apreciar deformaciones, la clasificación decrece.

El diseño estructural basado en la serviciabilidad considera necesario determinar el índice de serviciabilidad inicial (P0) y el índice de serviciabilidad final (Pt), para la vida útil o de diseño del pavimento.

a) Índice de serviciabilidad inicial (P0)

El índice de serviciabilidad inicial (P0) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos rígidos un valor inicial deseable de 4.5, si es que no se tiene información disponible para el diseño.

b) Índice de serviciabilidad final (Pt)

El índice de serviciabilidad final (Pt), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. Dependiendo de la importancia de la vialidad, pueden considerarse los valores Pt indicados en la siguiente tabla.

Tabla 9.Indice de serviciabilidad final

Pt	Clasificación
3.00	Autopistas
2.50	Colectores
2.25	Calles comerciales e industriales
2.00	Calles residenciales y estacionamientos

Para el diseño del pavimento en las vías locales dentro de la zona urbana, se ha seleccionado un índice de serviciabilidad final (Pt) de 2.00. Esta decisión se justifica por la naturaleza de las vías a intervenir, las cuales corresponden a calles residenciales. Según la Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993", un Pt de 2.00 es apropiado para este tipo de vías, ya que se espera que soporten un tráfico moderado a lo largo de su vida útil, equilibrando la necesidad de durabilidad con las características funcionales y económicas de la zona. Este valor garantiza que el pavimento mantendrá un nivel aceptable de serviciabilidad hasta el final del período de análisis, cumpliendo con los requerimientos operacionales y de seguridad necesarios.

9.2.4 Propiedades de los materiales

9.2.4.1 Módulo de reacción de la subrasante (k)

Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci).

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte california (CBR) o las pruebas de valores R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

Según el estudio de suelos se estima un **CBR de diseño de 4.27%**, con este valor se ingresará al programa y se determinará el K de la subrasante.

9.2.4.2 Módulo de rotura y elasticidad del concreto

Módulo de rotura

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios. De esta manera, se obtiene en el tercio medio una zona sometida a un momento flector constante igual a PL/3 y la rotura se producirá en cualquier punto de este tercio medio con la única condición que exista allí una debilidad. Este ensayo es recomendable frente al ensayo de carga en el punto medio, en el cuál la rotura se producirá indefectiblemente en dicho punto (punto de aplicación de la carga) donde el momento flector es máximo.

Módulo de elasticidad

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura. Para concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano sugirió:

$$E_c = 57000\,(f'_c)^{0.5}$$

Donde E_c y f'_c están dados en psi

9.2.5 Características estructurales

9.2.5.1 Drenaje

Los efectos del drenaje sobre el comportamiento del pavimento han sido considerados en el método AASHTO 93 por medio de un coeficiente de drenaje (Cd). El drenaje es tratado considerando el efecto del agua sobre las propiedades de las capas del pavimento y sus consecuencias sobre la capacidad estructural de éste; y además el efecto que tiene sobre el coeficiente de transferencia de carga en pavimentos rígidos.

La siguiente tabla proporciona los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje Cd, que depende de la propiedad con que cuentan las capas que constituyen la estructura del pavimento para liberar el agua libre entre sus granos, en función del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está expuesta normalmente expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 10.Valores recomendados del coeficiente de drenaje (Cd) para el diseño

C_d	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
Calificación		< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	2 horas	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1 mes	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

En este caso, la determinación del drenaje no se realizará manualmente. Utilizaremos el programa 3G DIS PAV VERSIÓN 1.5 para calcular el valor del parámetro, el cual considera tanto el número de días de lluvia en el municipio como el tiempo que el agua tarda en drenar.

9.2.5.2 Transferencia de carga

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones excesivas producen bombeo de la subbase y posteriormente rotura de la losa de concreto.

El mecanismo de transferencia de carga en la junta transversal entre losa y losa se lleva a efecto de las siguientes maneras:

- Junta con dispositivos de transferencia de carga (pasadores de varilla lisa de acero) con sin malla de refuerzo por temperatura.

- Losa vaciada monolíticamente con refuerzo continuo, (acero de refuerzo de varilla corrugada armada en ambas direcciones) no se establece virtualmente la junta transversal, tomándose en cuenta para el cálculo del acero estructural la remota aparición de grietas transversales.
- Junta transversal provocada por aserrado cuya transferencia de carga se lleva a efecto a través de la trabazón entre los agregados.

La transferencia de cargas se puede definir usando deflexiones o tensiones en la junta. La transferencia de cargas por deformaciones es:

$$LT_{\delta} = \frac{(\delta_{\text{no cargada}})}{\delta_{\text{cargada}}}$$

Donde:

LT_{δ} = transferencia de cargas por deformaciones.
$\delta_{\text{no cargada}}$ = deflexión de la losa adyacente no cargada.
δ_{cargada} = deflexión de la losa cargada.

La capacidad de una estructura de pavimento de concreto para transferir (distribuir) cargas a través de juntas o grietas es tomado en cuenta en el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga J. Los dispositivos de transferencia de carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre este valor.

La siguiente tabla establece rangos de los coeficientes de transferencia de carga para diferentes condiciones desarrolladas a partir de la experiencia y del análisis mecanístico de esfuerzos. Como se puede apreciar en esta tabla el valor de J se incrementa a medida que aumentan las cargas de tráfico, esto se debe a que la transferencia de carga disminuye con las repeticiones de carga.

Tabla 11.Coeficiente de transferencia de carga (J)

Soporte lateral	Si	No	Si	No	Si	No	Tipo
ESALs en millones	Con pasadores con o sin refuerzo de temperatura		Con refuerzo continuo		Sin pasadores (fricción entre agregados)		
Hasta 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3 – 1	2.7	3.2	3.0	3.4	-	-	
1 – 3	2.7	3.2	3.1	3.6	-	-	
3 – 10	2.7	3.2	3.2	3.8	2.5	2.9	Caminos principales y autopistas
10 – 30	2.7	3.2	3.4	4.1	2.6	3.0	
más de 30	2.7	3.2	3.6	4.3	2.6	3.1	

El uso de bermas de concreto unidas o losas ensanchadas reducen las tensiones y deformaciones en una losa. Es por eso que se usan valores menores de J. La razón para tomar J menores en pavimentos con bermas de concreto unida es porque se supone que los vehículos no transitarán por la misma. Es

necesario tener en cuenta que la zona crítica de la losa es la esquina y con esta premisa las cargas se alejan de ella, permitiendo una reducción de espesores.

10 DISEÑO DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO CON PROGRAMA DIS 3G DIS PAV VERSIÓN 1.5

10.1 DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO POR LA METODOLOGÍA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA 84)

Para el análisis en el programa requerimos los siguientes datos básicos para el diseño:

Ilustración 8.Datos de entrada para el diseño de pavimento

Espesor Losa (cm)	=	20	Periodo diseño (años)	=	20
Espesor Subbase (cm)	=	15	CBR Subrasante (%)	=	4.27
Módulo de Rotura (Mpa)	=	4	K Subrasante (Mpa/m)	=	35.65
Factor Seg. Carga	=	1	K Combinado (Mpa/m)	=	44.00
Tipo de Subbase	=	Granular	Mód. Elástico Conc. (psi)	=	3604996
Junta con dovela	=	SI	Coeficiente Poisson	=	0.2
Con berma	=	SI	Coeficiente Variación	=	0.15

Para el diseño del pavimento rígido utilizando la metodología PCA 84, se han considerado los siguientes parámetros: un CBR de subrasante del 4.27%, un periodo de diseño de 20 años, y un módulo de rotura del concreto de 4 MPa. Se ha aplicado un factor de seguridad de carga de 1.0 y las juntas del pavimento incluirán dovelas para una distribución eficiente de las cargas. El diseño contempla bermas, aunque estas no se construyen de manera convencional, ya que el pavimento está confinado por bordillos que cumplen dicha función. Los bordillos generan un cambio de nivel respecto al terreno adyacente, brindando contención lateral y facilitando el drenaje, lo cual reemplaza la necesidad de una berma tradicional. Además, se ha realizado un remate en concreto entre el bordillo y los paramentos existentes para asegurar la estabilidad y la adecuada transición entre los elementos del pavimento y las estructuras circundantes. Este enfoque, acorde con la metodología PCA 84, asegura la integridad del pavimento rígido y garantiza su rendimiento a lo largo de su vida útil.

10.1.1 Nivel de tránsito

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8,2 t
T o	(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

Con base en el espectro de carga proyectado para un período de diseño de 20 años, equivalente a 35637 ejes de 8.2 toneladas, se clasifica el tránsito como categoría T0, ya que este valor es inferior a 1,000,000 de ejes acumulados de 8.2 toneladas, según los criterios establecidos. Esta clasificación resulta coherente con las características de la vía en estudio, la cual, a pesar de ser urbana, cuenta con una sección estrecha que se ajusta a los parámetros para dicha categoría. Adicionalmente, el Tránsito Promedio Diario Simple (TPDS) de 15 vehículos diarios refuerza su inclusión dentro de los criterios definidos para una vía de categoría T0.

10.1.2 Subrasante

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

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

se obtuvo un CBR de diseño de 4.27%. Con este valor, clasificamos la subrasante como S2, que corresponde al rango de 2-5%.

Por Criterios profesionales, se opta por trabajar con un tipo de subrasante S3, debido a que la ubicación de nuestro proyecto no es un tramo critico y por consiguientes se tomaran espesores determinados directamente con el diseño de pavimento rigido por medio de la metodología PCA 84

Con el valor del CBR definimos el valor de K de la subrasante.

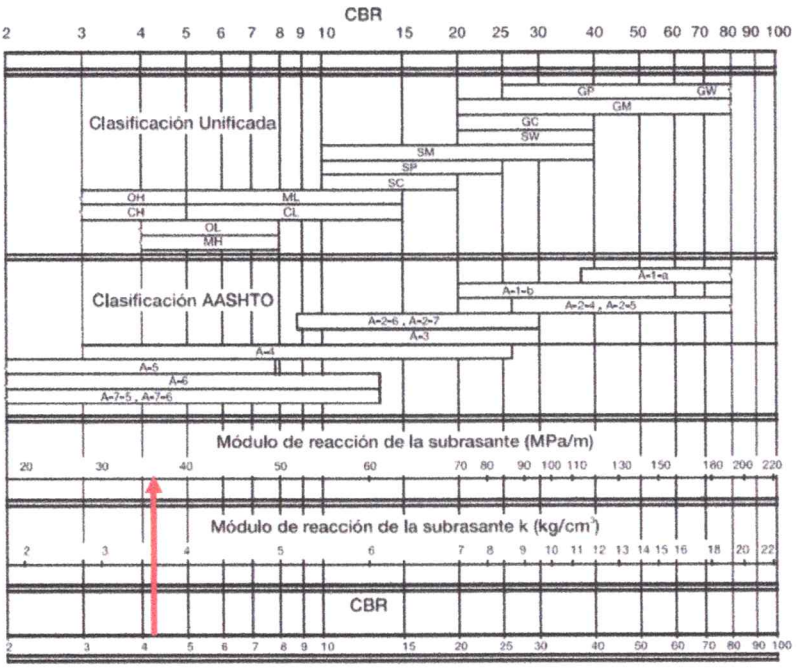


Tabla 2-12. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K

10.1.3 Subbase granular

Para la selección del material de soporte del pavimento rígido, se considerarán la categoría de tránsito y el tipo de pavimento.

Tabla 400.1
Correspondencia entre clases de capas granulares, el tipo de pavimento y las categorías de tránsito

Tipo de Capa	Categorías de Tránsito			
	T0 – T1	T2 – T3	T4 – T5	PEATONAL (1)
Pavimento Asfáltico				
Base Granular	BG_C	BG_B	BG_A	
Subbase Granular	SBG_C	SBG_B	SBG_A	
Pavimento de Losas de Concreto de Cemento Pórtland				
Base Granular	BG_B	BG_A	NA	
Subbase Granular	SBG_C	SBG_B	SBG_A	
Andenes y Estructuras peatonales				
Base Granular				NA
Subbase Granular				SBG PEA

Nota (1) Para las zonas donde se presente tráfico mixto vehicular y peatonal como en los accesos el material se debe elegir de acuerdo con el tránsito

Según el "Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito" del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), se consideran tres tipos de soporte

para el pavimento: suelo natural, bases granulares y bases estabilizadas con cemento. El manual especifica que el espesor de las bases estabilizadas con cemento debe ser de 150 mm. Aunque no se menciona explícitamente un espesor mínimo para las subbases granulares, las "Normas y Especificaciones 2012" de INVÍAS establecen que el espesor de la capa compactada de subbase granular no debe ser inferior a 100 mm ni superior a 200 mm.

Basándonos en estos lineamientos y para garantizar un soporte adecuado del pavimento rígido, hemos definido un espesor de 150 mm (15 cm) para la subbase granular. Esta decisión se alinea con las prácticas recomendadas y busca asegurar la durabilidad y desempeño óptimo de la estructura del pavimento.

10.1.4 Definición de espesores de losa

Una vez determinadas las variables de diseño, procedemos a calcular los espesores de la losa para las diferentes combinaciones, considerando que se implementará un MR2 para el concreto del pavimento, debido al crecimiento proyectado del parque vehicular durante el periodo de diseño.

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES

Tránsito T0

		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1			24	26	23	27	23	27	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2			23	27	22	26	22	26	20	24	20	24	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3			23	26	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			21	24	20	24	20	24	19	22	19	22	18	21	18	21	18	21	18	21
SBG	MR1			23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR2			22	25	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR3			21	24	20	24	20	24	29	22	19	22	19	22	19	22	18	21	18	21
	MR4			20	23	19	23	19	23	28	21	18	21	18	21	18	21	17	20	18	20
SBEC	MR1			20	23	19	22	19	22	18	21	18	21	18	20	18	20	17	20	17	20
	MR2			19	22	19	21	19	21	17	20	17	20	17	20	17	20	17	19	17	19
	MR3			18	21	18	21	18	21	17	19	17	19	16	19	17	19	16	19	17	19
	MR4			18	20	17	20	18	20	16	19	17	19	16	18	17	18	15	18	17	18

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

Se tienen entonces las siguientes alternativas de elección de pavimento de concreto que cumple con todas las exigencias de solicitación:

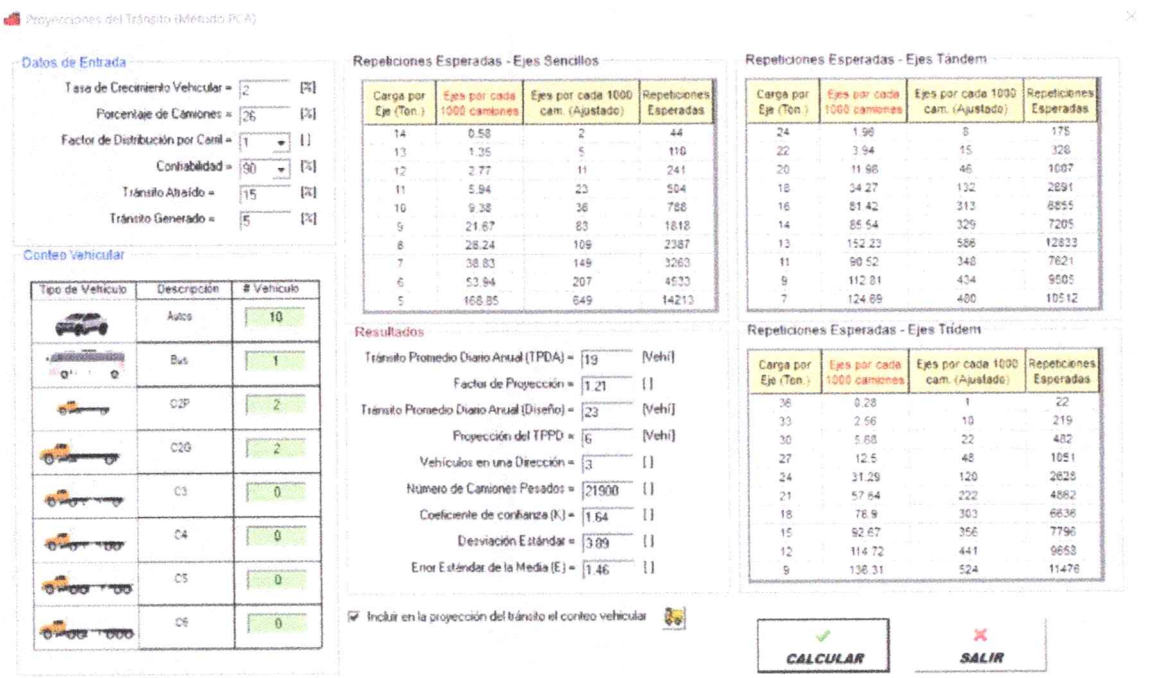
ALTERNATIVA	SOPORTE	RESISTENCIA Kg/cm2	ESPESOR DE LA LOSA
A1	SN	MR2=40	20
A2	SBG C 15 cm	MR2=40	20
A3	SBEC 15 cm	MR2=40	17

Tras evaluar las alternativas propuestas para la estructura del pavimento, se ha seleccionado la Alternativa A2, que consiste en una losa de concreto con una resistencia MR2=40 kg/cm² y un espesor de 20 cm, apoyada sobre una subbase granular compactada de 15 cm.

Optar por una subbase granular compactada de 15 cm como material de soporte ofrece ventajas notables. Este tipo de subbase proporciona una superficie más homogénea y estable, mejorando la capacidad de soporte y asegurando una distribución uniforme de las cargas aplicadas. Asimismo, una subbase bien compactada minimiza la posibilidad de asentamientos diferenciales y reduce el riesgo de deformaciones en la losa de concreto.

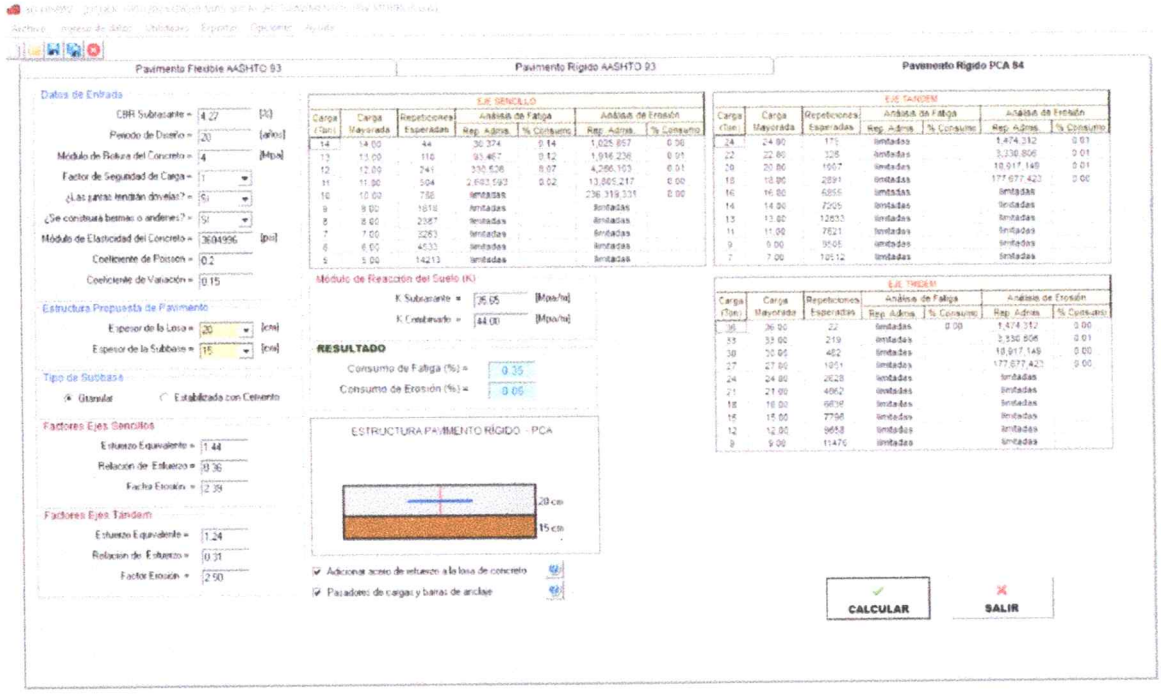
la Alternativa A2 se considera la más adecuada, ya que la implementación de una subbase granular de 15 cm como material de soporte previene la inducción de fallas en el pavimento y garantiza una base más estable y uniforme para la losa de concreto.

Ilustración 9.Análisis de tránsito PCA 84



DISEÑO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL PROYECTO: "MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

Ilustración 10.Datos obtenidos para el Diseño programa 3G DIS PAV V1.5 PCA 84



	DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO – METODO PCA 84	ANDREA CAMILA CABALLERO HERNANDEZ 081-037-0565804 COR
	"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA. SUCRE"	Fecha: FEBRERO DE 2025

1. METODOLOGÍA PCA 1984

En 1966 se publica la primera versión del método de la PCA, posteriormente modificada y siendo la versión actual la de 1984. En esta versión se ha estudiado la influencia de una serie de factores que no pudieron ser considerados de forma adecuada en la primera versión, tales como pavimentos con pasadores en las juntas, bases de concreto pobre, bermas de concreto, deterioro del pavimento debidos a la erosión de la base, vehículos pesados con ejes trídem, etc.

2. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE

Este factor establece cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci) o Megapascal por metro (Mpa/m).

CBR Sub-rasante = 4.27%
Tipo de subbase = Granular
K Subrasante = 35.65 Mpa/m
K Combinado = 44.00 Mpa/m

3. MÓDULO DE ROTURA (MR)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

Módulo de Rotura = 4 Mpa

4. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

El Módulo de Elasticidad del concreto está íntimamente relacionado con su Módulo de Ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el Módulo de Elasticidad. Se puede establecer con la siguiente formula:

Módulo de elasticidad – Ec = 3604996 psi

5. PERIODO DE DISEÑO

Es el tiempo que dura una estructura inicial de pavimento antes de que requiera una rehabilitación. Para este método, se recomienda un periodo de diseño entre 20 y 40 años.

Periodo de diseño = 20 años

6. FÓRMULAS EMPLEADAS PARA EL CÁLCULO DE FATIGA

$$Log\ N_f = 11.737 - 12.077\left(\frac{\sigma}{S_c}\right) \qquad para\ \frac{\sigma}{S_c} \geq 0.55$$

$$N_f = \left(\frac{4.2577}{\frac{\sigma}{S_c} - 0.4325}\right)^{3.268} \qquad para\ 0.45 < \frac{\sigma}{S_c} < 0.55$$

	DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO – METODO PCA 84	ANDREA CAMILA CABALLERO HERNANDEZ 081-037-0565804 COR
	"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA. SUCRE"	Fecha: FEBRERO DE 2025

$N_f = Ilimitado \qquad para \ \frac{\sigma}{S_c} \leqslant 0.45$

$N_f =$ *Número de repeticiones*
$\sigma =$ *Esfuerzo de tensión aplicado*
$S_c =$ *Módulo de rotura del concreto*
$\frac{\sigma}{S_c} =$ *Relación de esfuerzos*

7. FÓRMULAS EMPLEADAS PARA EL CÁLCULO DE LA EROSIÓN

$Log\ N = 14.524 - 6.777(C_1 P - 9.0)^{0.103} \qquad P = 268.7\frac{p^2}{hk^{0.73}}$

$Porcentaje\ de\ daño\ por\ erosión = 100\sum_{i=1}^{m}\frac{c_2 n_i}{N_i}$

$P =$ *Relación de trabajo o potencia*
$p =$ *Presión en la interface losa – soporte*
$h =$ *Espesor de la losa*
$k =$ *Módulo de reacción de la subrasante*
$C_1 =$ *Factor de ajuste (1 subbase no tratada, 0.9 subbase tratada)*
$C_2 =$ *Factor de ajuste (0.06 sin berma de concreto, 0.94 con berma de concreto)*

8. ESPESOR DE LA LOSA

Espesor Losa = 20 cm
Espesor Subbase = 15 cm

9. TOTAL CONSUMO

Total Concumo de Fatiga = 0.35 %
Total Consumo de Erosión = 0.06 %

Tabla 12.Propuesta estructura de pavimento por la metodología PCA 84

Losa de concreto 20 cm
Subbase granular 15 cm

DISEÑO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL PROYECTO: "MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

	TABLA DE CÁLCULO PAVIMENTO RÍGIDO – METODO PCA 84	ANDREA CAMILA CABALLERO HERNANDEZ 081-037-0565804 COR
	"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA. SUCRE"	Fecha: FEBRERO DE 2025

Espesor Losa (cm)	=	20	Periodo diseño (años)	=	20
Espesor Subbase (cm)	=	15	CBR Subrasante (%)	=	4.27
Módulo de Rotura (Mpa)	=	4	K Subrasante (Mpa/m)	=	35.65
Factor Seg. Carga	=	1	K Combinado (Mpa/m)	=	44.00
Tipo de Subbase	=	Granular	Mód. Elástico Conc. (psi)	=	3604996
Junta con dovela	=	SI	Coeficiente Poisson	=	0.2
Con berma	=	SI	Coeficiente Variación	=	0.15

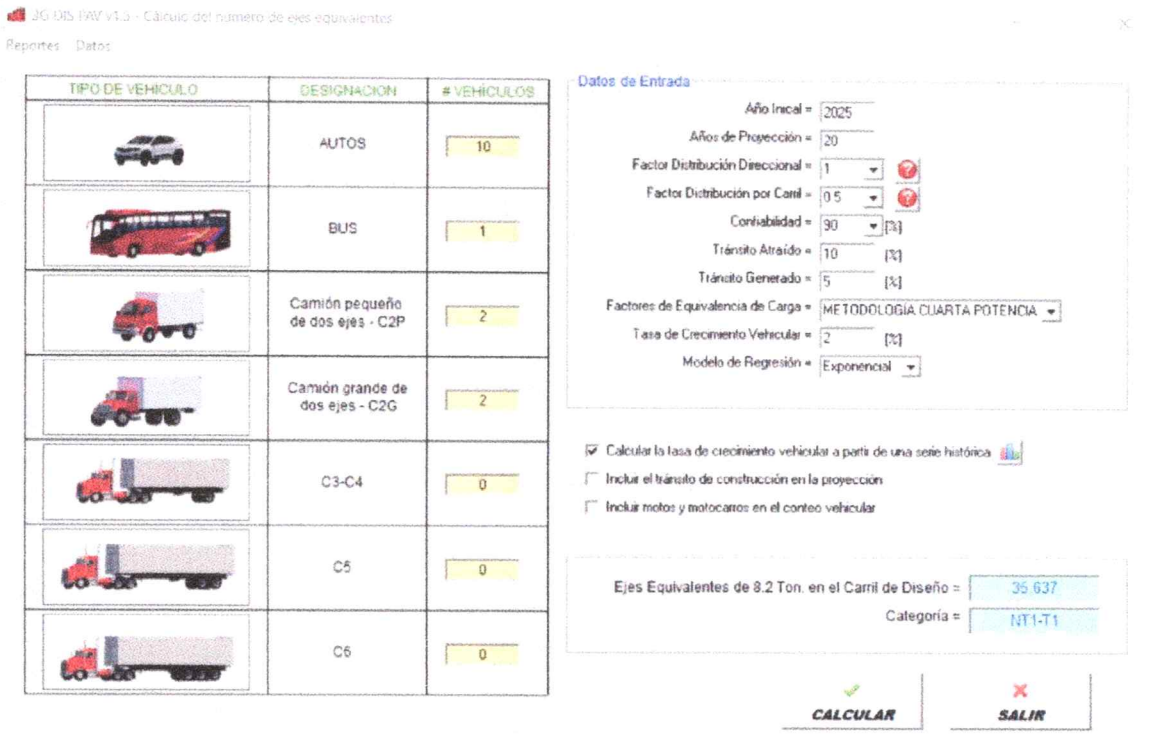
Carga por Eje (Ton)	Multip. por FSC	Repeticiones Esperadas	Análisis de Fatiga		Análisis de Erosión	
			Repet. Adm.	% Fatiga	Repet. Adm.	% Erosión
Esfuerzo Equivalente = 1.44		Relación de Esfuerzo = 0.36			Factor Erosión = 2.39	
EJES SENCILLOS						
14	14.00	44	30,374	0.14	1,025,857	0.00
13	13.00	110	93,467	0.12	1,916,236	0.01
12	12.00	241	330,526	0.07	4,266,103	0.01
11	11.00	504	2,603,593	0.02	13,805,217	0.00
10	10.00	788	Ilimitadas		236,319,331	0.00
9	9.00	1818	Ilimitadas		Ilimitadas	
8	8.00	2387	Ilimitadas		Ilimitadas	
7	7.00	3263	Ilimitadas		Ilimitadas	
6	6.00	4533	Ilimitadas		Ilimitadas	
5	5.00	14213	Ilimitadas		Ilimitadas	
Esfuerzo Equivalente = 1.24		Relación de Esfuerzo = 0.31			Factor Erosión = 2.50	
EJES TANDEM						
24	24.00	175	Ilimitadas		1,474,312	0.01
22	22.00	328	Ilimitadas		3,330,806	0.01
20	20.00	1007	Ilimitadas		10,917,149	0.01
18	18.00	2891	Ilimitadas		177,677,423	0.00
16	16.00	6855	Ilimitadas		Ilimitadas	
14	14.00	7205	Ilimitadas		Ilimitadas	
13	13.00	12833	Ilimitadas		Ilimitadas	
11	11.00	7621	Ilimitadas		Ilimitadas	
9	9.00	9505	Ilimitadas		Ilimitadas	
7	7.00	10512	Ilimitadas		Ilimitadas	
EJES TRIDEM						
36	36.00	22	Ilimitadas	0.00	1,474,312	0.00
33	33.00	219	Ilimitadas		3,330,806	0.01
30	30.00	482	Ilimitadas		10,917,149	0.00
27	27.00	1051	Ilimitadas		177,677,423	0.00
24	24.00	2628	Ilimitadas		Ilimitadas	
21	21.00	4862	Ilimitadas		Ilimitadas	
18	18.00	6636	Ilimitadas		Ilimitadas	
15	15.00	7796	Ilimitadas		Ilimitadas	
12	12.00	9658	Ilimitadas		Ilimitadas	
9	9.00	11476	Ilimitadas		Ilimitadas	

Total Consumo de Fatiga = 0.35 %
Total Consumo de Erosión = 0.06 %

10.2 DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO POR LA METODOLOGÍA AASHTO 93

Para el diseño de pavimento por esta metodología se hizo necesario evaluar el tránsito

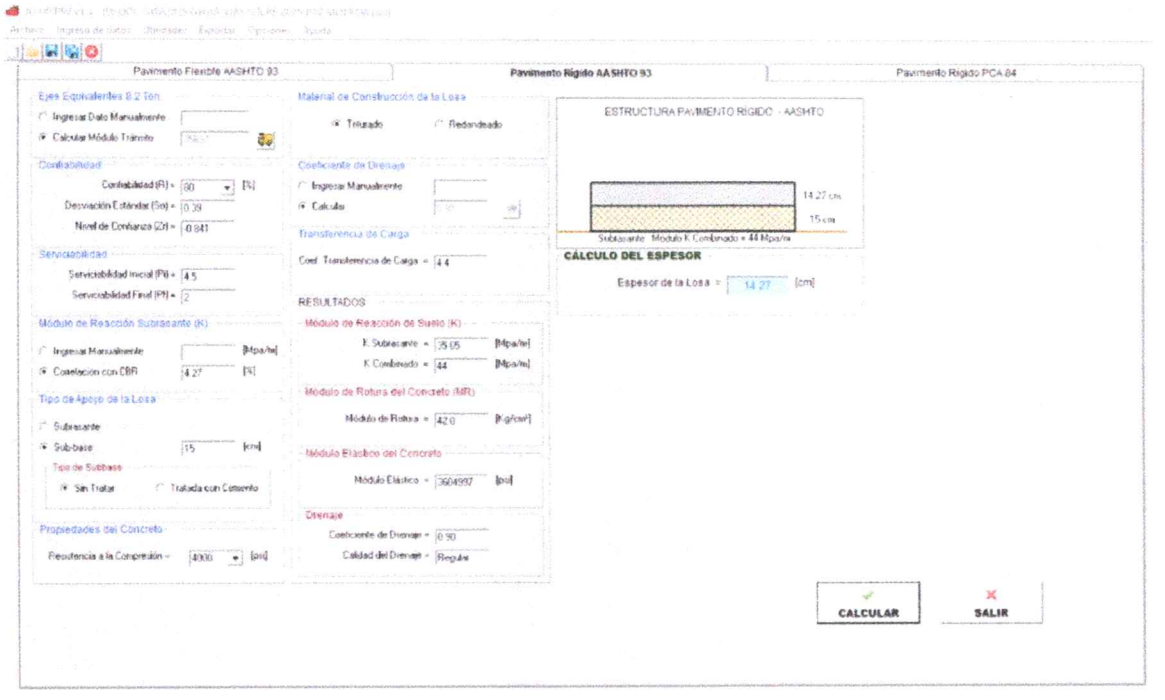
Ilustración 11 Análisis de tránsito PCA 84



El cálculo del tránsito para el diseño de pavimento rígido según la metodología AASHTO 93 se realizó utilizando el software 3G DIS PAV v1.5, considerando un período de proyección de 20 años y una confiabilidad del 80%. Se analizaron diferentes tipos de vehículos, como autos, buses, y camiones de dos a cuatro ejes, obteniendo un total de (35637) ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño. Los factores de distribución direccional y por carril se establecieron en 0.50 y 1.00 respectivamente, mientras que la tasa de crecimiento vehicular anual se fijó en 2.00%, aplicando un modelo de regresión exponencial. Esta información es fundamental para el dimensionamiento adecuado del pavimento, asegurando su durabilidad frente al tránsito proyectado.

Con los parámetros evaluados en el numeral 10.2 realizamos la evaluación para determinar la estructura de pavimento:

Ilustración 12.Datos obtenidos para el Diseño programa 3G DIS PAV V1.5 AASHTO 93



La imagen muestra el cálculo del espesor de una losa de pavimento rígido según la metodología AASHTO 93, utilizando el programa 3G DIS PAV v1.5. A continuación, un resumen del proceso:

- Ejes Equivalentes de 8.2 Toneladas: Se consideraron 35637 ejes equivalentes.
- Confiabilidad: Se estableció en 80%.
- Serviciabilidad: Se fijó la serviciabilidad inicial (Pi) en 4.5 y la final (Pf) en 2.00.
- Módulo de Reacción de Subrasante (K): Se calculó un valor combinado de 35.65 Mpa/m.
- Material de Construcción de la Losa: Se seleccionó concreto con una resistencia a la compresión de 4000 psi.
- Coeficiente de Drenaje: Calculado con un valor de 0.90.
- Transferencia de Carga: El coeficiente de transferencia de carga se fijó en 4.4.

Resultados:

- Módulo de rotura del concreto (MR): 42 Kg/cm².
- Módulo elástico del concreto: 3,604,997 psi.
- Espesor de la losa: 20.00 cm
- Espesor de subbase: 15 cm

Estos valores son fundamentales para asegurar que el pavimento tenga el espesor adecuado para soportar las cargas proyectadas durante su vida útil, garantizando su durabilidad y desempeño óptimo.

	DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODO AASTHO 93	ANDREA CAMILA CABALLERO HERNANDEZ 081-037-0565804 COR
	"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"	Fecha: FEBRERO DE 2025

1. TRÁNSITO DE DISEÑO

Número de Eje Equivalentes de 8.2 Ton. = 35637

2. CONFIABILIDAD

Se entiende por confiabilidad de un proceso diseño-comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño.

Confiabilidad (R) = 80%
Desviación estándar (So) = 0.39
Nivel de Confianza (Zr) = -0.841

3. SERVICIABILIDAD

Se define como la capacidad del pavimento de desempeñarse adecuadamente ante todo tipo de tráfico que circula en la vía, se mide en una escala del 0 al 5, en donde 0 (cero) significa pavimento intransitable y 5.0 (cinco) significa pavimento en excelentes condiciones.

Serviciabilidad Inicial (Pi) = 4.5
Serviciabilidad Final (Pf) = 2

4. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE

Este factor establece cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci) o Megapascal por metro (Mpa/m).

CBR Sub-rasante = 4.27%
Tipo de apoyo = Sub-base

K Subrasante = 35.65 Mpa/m
K Combinado = 44 Mpa/m

5. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Resistencia a la Compresión = 4000 psi

6. MÓDULO DE ROTURA (MR)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

Tipo de material = Triturado
Coeficiente – Kt =0.8

$$MR = Kt\sqrt{f'c}$$

Kt = 0.7 (Si el material de construcción es redondeado)
Kt = 0.8 (Si el material de construcción es triturado)

	DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODO AASTHO 93	ANDREA CAMILA CABALLERO HERNANDEZ 081-037-0565804 COR
	"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"	Fecha: FEBRERO DE 2025

Módulo de Rotura = 42.0 Kg/cm²

7. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

El Módulo de Elasticidad del concreto está íntimamente relacionado con su Módulo de Ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el Módulo de Elasticidad. Se puede establecer con la siguiente formula:

$$Ec = 57000\sqrt{f'c}$$

Módulo de elasticidad – Ec = 3604997 psi

8. COEFICIENTE DE DRENAJE

Este parámetro de diseño hace referencia a la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próxima a la saturación. Este porcentaje de tiempo se calcula como la relación entre el número de días promedio que llueve en la zona donde se construirá la estructura de pavimento y los 365 días del año.

Coeficiente de drenaje = 0.90

Remoción Agua	*Calidad Drenaje*	*% Tiempo exposición de la estructura*			
		< 1%	*1 - 5%*	*5 - 25%*	*> 25%*
2 Horas	*Excelente*	*1.25 - 1.20*	*1.20 - 1.15*	*1.15 - 1.10*	*1.10*
1 Día	*Bueno*	*1.20 - 1.15*	*1.15 - 1.10*	*1.10 - 1.00*	*1.00*
1 Semana	*Aceptable*	*1.15 - 1.10*	*1.10 - 1.00*	*1.00 - 0.90*	*0.90*
1 Mes	*Pobre*	*1.10 - 1.00*	*1.00 - 0.90*	*0.90 - 0.80*	*0.80*
No drena	*Muy pobre*	*1.00 - 0.90*	*0.90 - 0.80*	*0.80 - 0.70*	*0.70*

9. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA

Es un parámetro adimensional que tiene en cuenta la capacidad que una estructura de pavimento rígido pueda transferir o distribuir cargas en la zona más propensa a fallar (juntas). Este parámetro adicionalmente tiene en cuenta el efecto que genera sobre las juntas y sobre la transferencia de carga el confinamiento lateral de las losas.

Coeficiente de transferencia de carga – J = 4.4

10. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

$$Log(W_{18}) = Zr \times So + 7.35 \times Log(D+1) - 0.06 + \frac{Log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+\frac{1.624\times10^{7}}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22-0.32\times P_t)\times Log\left(\frac{MR \times Cd \times (D^{0.75}-1.132)}{215.63 \times J\left(D^{0.75}-\frac{18.42}{\left(\frac{Ec}{K}\right)^{0.25}}\right)}\right)$$

Espesor Losa = 14.27 cm
Espesor Subbase = 15 cm

Tabla 13.Propuesta estructura de pavimento por la metodología AASHTO 93

Losa de concreto 20.00
Subbase granular 15 cm

11 SECCIÓN TRANSVERSAL

Después de evaluar las alternativas utilizando tanto la metodología PCA 84 como la AASHTO 93, se determinó que la mejor opción es continuar con la metodología PCA 84. A partir de esta selección, se definió la estructura del pavimento, que consta de los siguientes elementos dentro de la configuración de la infraestructura vial.

TRAMOS A INTERVENIR:

1. **Capa de Pavimento:**

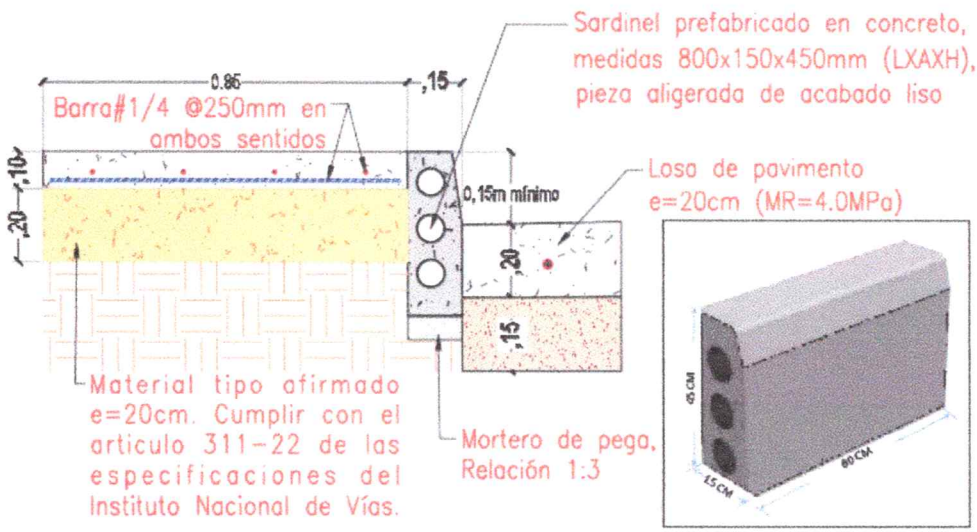
   Se implementará una losa de concreto con un espesor de **20 CM**. Esta losa será construida utilizando un concreto diseñado bajo los criterios del ingeniero, con un módulo de rotura de 4.0 MPa.

2. **Subbase Granular:**

   Se colocará una capa de subbase granular con un espesor mínimo de 15 **CM**. Esta capa contribuye a la distribución uniforme de las cargas del tráfico y brinda estabilidad adicional a la estructura.

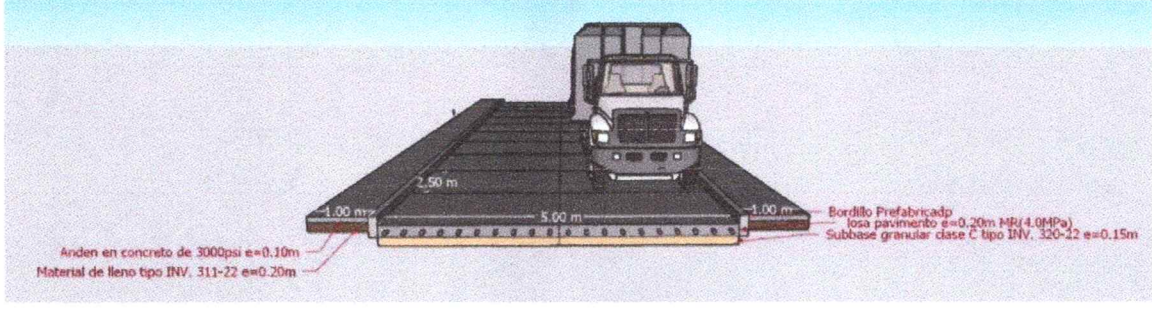
Adicionalmente, dentro de estos tramos, se incluirán bordillos prefabricados con dimensiones de 150x450x800mm y un remate hasta paramento fundido en concreto de 3000 PSI con un ancho de 85cm y espesor de 10cm, estos dos elementos estarán en ambos lados del tramo a intervenir diseñados para delimitar el pavimento y mantener su integridad estructural.

Ilustración 13.Representación del bordillo



Esta configuración vial se ha diseñado con el propósito de garantizar la durabilidad, seguridad y funcionalidad adecuada del tramo en cuestión, asegurando una distribución efectiva de las cargas del tráfico y una base sólida para la losa de concreto.

Ilustración 14.Representación de la estructura de pavimento propuesta



Fuente: *Elaboración propia*

La capa de subbase recomendada para el mejoramiento de la subrasante o del conjunto subbase - subrasante debe cumplir con la especificación técnica de construcción del Instituto Nacional de Vías INVIAS menciona en el Artículo 320-22, así como las propiedades físico - mecánicas y demás recomendaciones sugeridas en el estudio geotécnico.

Es importante anotar que la presencia de dovelas permite una mejor transmisión de las cargas del tránsito al suelo que la que se alcanza por trabazón de agregados.

El análisis de fatiga para controlar el agrietamiento por fatiga generalmente gobierna el diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito (calles residenciales y vías secundarias) independientemente de si las juntas tienen o no dovelas, siendo este el caso del proyecto.

Los bajos consumos por concepto de erosión se asocian a que, en el espectro de carga por eje adoptado para este diseño del tramo del proyecto, existe poca proporción de ejes tándem y trídem, que son los que afectan y generen el fenómeno de bombeo y desnivel entre losas.

12 DISEÑO DE JUNTAS

El diseño de juntas determina el espaciamiento de las juntas longitudinales y transversales, la transferencia de carga, construcción de juntas y materiales de sellado.

a) **La longitud de la losa debe ser máximo 24 veces el espesor la losa**
   En este caso como:
   Losa pavimento e= 20 cm, tenemos:
   L= 24*0.2 m
   L Máxima= 4.8 Metros
b) **La relación de esbeltez debe estar comprendida entre 1 y 1.4**

Por lo anterior, se harán losas cuyas dimensiones varían según el ancho de la calzada:

- ✓ ***Calzada de 5.0 metros:***
  TRAMO: *K0+000 - K0+273*
  2.50 metros de longitud con carril de 2.5 metros de ancho, en este caso la relación de esbeltez es de 1.00, es decir que cumplen!

Con base se plantea la siguiente modulación:

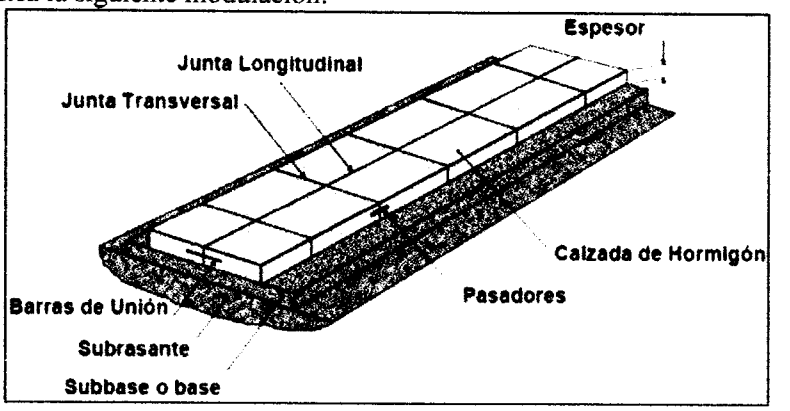


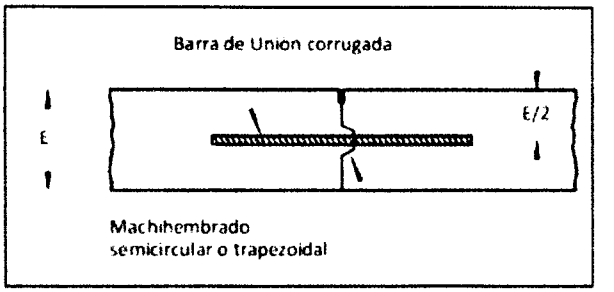
Ilustración 15. Juntas y distribución de aceros.
Fuente: Tomada de Google.

12.1 JUNTAS LONGITUDINALES

La junta longitudinal controla el agrietamiento producido por alabeo. En la construcción del pavimento, la junta debe ser marcada con una ranura que separe los carriles y proporcione alojamiento para el sellado, unida por una barra de anclaje. Si el pavimento se construye carril por carril, la junta longitudinal es del tipo junta de construcción.

Ilustración 16.Junta longitudinal de construcción

Fuente: Tomada de Google.



Espesor de losa (mm)	Barras de ϕ 9,5 mm (3/8")				Barras de ϕ 12,7 mm (1/2")				Barras de ϕ 15,9 mm (5/8")			
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)
Acero de fy= 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 fy= 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

Tabla 6-1. Recomendación para las barras de anclaje

Tabla 14.Barras de refuerzo para juntas longitudinales
Fuente: manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de transito

Para los tramos ***el acero longitudinal a utilizar será barras de 1/2" corrugado cada 1.2 m y con una longitud de 0.85m.***

12.2 JUNTAS TRANSVERSALES

Son las juntas que permiten controlar las grietas causadas por el fenómeno de retracción de fraguado del hormigón y por las acciones climáticas: temperatura y humedad. La selección del espaciamiento, si bien es función de la experiencia, se consideran como factores importantes el tipo de agregado del hormigón, su composición mineralógica, y la uniformidad del clima y temperatura.

La AASHTO recomienda que el espaciamiento (en pies) entre juntas de contracción para pavimentos de hormigón, no supere 2 veces el espesor de la losa en pulgadas.

En las juntas transversales se incluye la colocación de barras de transferencia de carga o dovelas de Ø=1" de 0.35 m de longitud espaciadas a cada 0.30 centímetros, que son barras de acero liso insertadas en las juntas de manera que aumenten mecánicamente la transferencia de carga sin restringir el movimiento horizontal.

Entonces, de acuerdo a la Tabla 6.2 del manual de diseño de pavimentos de concreto se tiene que las dovelas o pasa juntas para un pavimento de 20 cm de espesor deben ser de diámetro 1" (25.4 mm), con una longitud de 350 mm y con separación entre centros de 300mm.

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

Tabla 6-2. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga

Tabla 15.Refuerzo para la junta transversal de contracción con dovelas
Fuente: manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de transito

Se usarán juntas transversales con barras lisas de 1" de longitud 350mm y separación 300mm entre centros.

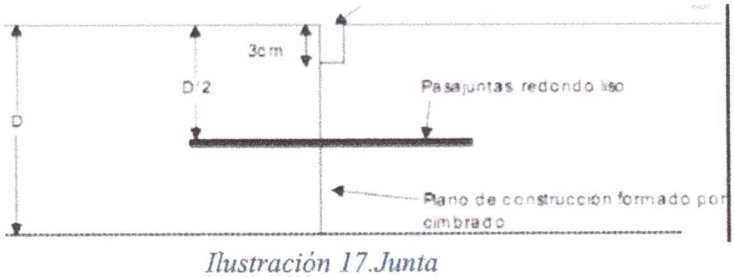


Ilustración 17.Junta
Fuente: Tomada de Google.

12.3 JUNTAS DE AISLAMIENTO

Las juntas de aislamiento permiten que se presente diferenciales anticipados de movimientos verticales y horizontales entre un pavimento y otra estructura sin dañar al pavimento o la estructura.

Su objetivo principal es aislar el pavimento de una estructura, otra área pavimentada o cualquier objeto inamovible, disminuyendo los esfuerzos a compresión que se presentan entre los mismos.

Las juntas de aislamiento incluyen las juntas a toda la profundidad y a todo lo ancho sobre los, intersecciones "T", rampas, entre pavimentos existentes y pavimentos nuevos, así como también para juntas alrededor de estructuras en el interior del pavimento como pozos de inspección, alcantarillas y estructuras del alumbrado público.

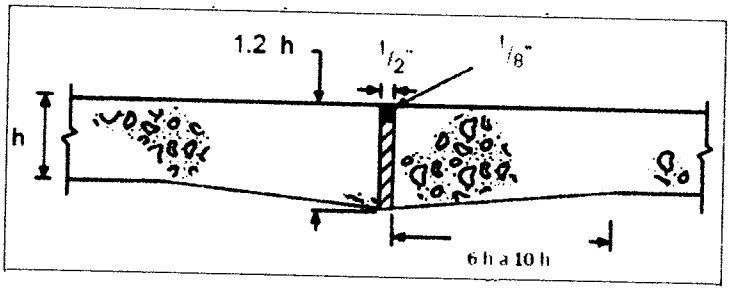


Ilustración 18.Sección típica de junta de aislamiento entre pavimentos existentes
Fuente: Tomada de Google.

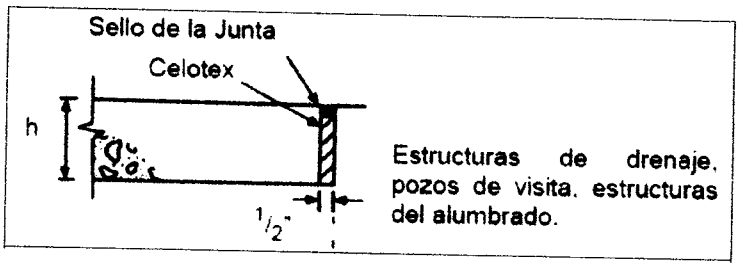


Ilustración 19. Sección típica de junta de aislamiento entre otras estructuras fijas
Fuente: Tomada de Google.

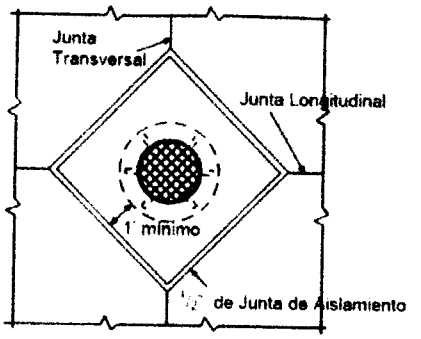


Ilustración 20. Disposición de juntas sobre pozos de inspección.
Fuente: Tomada de Google.

Recomendaciones constructivas: Para favorecer la calidad de la construcción de la obra se anotan estas recomendaciones.

Tener cuidado en la fijación de los pasadores transversales de transferencia de carga, de tal manera que, se garantice la nivelación del mismo, utilizando las canastillas de colocación. Se precisa que este cuidado es de gran importancia, dado las repetidas fallas transversales encontradas en diversos pavimentos construidos con pasadores torcidos.

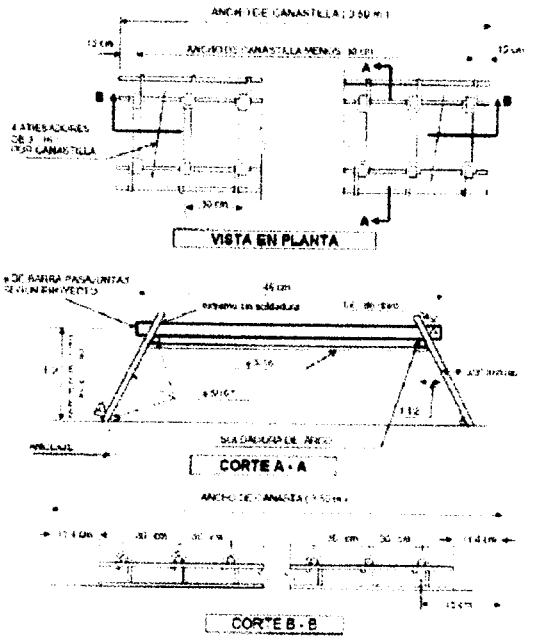


Ilustración 21. Recomendaciones constructivas pasadores
Fuente: Tomada de Google

12.4 SELLADO DE JUNTAS

El sellante propuesto será del tipo silicón. La disposición de la ranura es la siguiente:

- h: espesor de losa de concreto
- El sellante tipo silicón tiene un coeficiente de forma de 2:1.
- Para el cálculo de abertura de la junta contracción se requiere considerar los movimientos de apertura y cierre de la junta y el tipo de material de sellado a usar.

12.5 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

- Cuando la interrupción del vaciado es imprevista se presenta la necesidad de colocar una junta de construcción no proyectada en los planos, se deben seguir los siguientes criterios:

La longitud de la losa no será menor de 3m.

- La junta tendrá todo el ancho del vaciado.
- La transmisión de cargas se ejecuta normalmente por medio de junta machihembrado, provista de barras de anclaje solo cuando el vaciado se hace carril por carril, a fin de impedir que la fisura se propague al carril vecino.

12.6 JUNTAS ESPECIALES DE EXPANSIÓN

Alrededor de cajas de inspección y de los sumideros de drenaje, se colocarán juntas de 0.5 cm de ancho sin pasadores.

13 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOSAS DE PAVIMENTO IRREGULARES CON ACERO DE REFUERZO

El diseño y construcción de losas de pavimento con geometría irregular requieren una atención especial en la selección y disposición del acero de refuerzo para garantizar la integridad estructural y la durabilidad del pavimento.

- Acero de Refuerzo

Se recomienda el uso de varilla corrugada de acero de alta resistencia, específicamente de grado 60, que presenta una resistencia mínima de 420 MPa (60,000 psi). Esta elección se basa en su excelente adherencia al concreto, facilitada por las corrugas, y su capacidad para resistir esfuerzos de tracción y flexión.

- Disposición del Refuerzo

Se debe garantizar una cantidad mínima de acero de refuerzo que cumpla con los requisitos de la norma técnica aplicable, considerando factores como el tipo de tráfico y las condiciones climáticas.

El acero de refuerzo debe distribuirse uniformemente en la losa, con una separación máxima entre barras que no exceda los 30 cm, para asegurar una distribución adecuada de las tensiones.

El acero debe colocarse a una profundidad que garantice una cobertura adecuada, protegiéndolo de la corrosión y asegurando una adecuada adherencia al concreto.

- Consideraciones Adicionales

Es esencial verificar que las barras de acero cumplan con las dimensiones y características estipuladas en el diseño, y que las canastillas y dovelas estén correctamente posicionadas y aseguradas. Además, se debe garantizar que el acero de refuerzo esté libre de contaminantes y que su colocación se realice conforme a las especificaciones técnicas para asegurar la calidad y seguridad del pavimento.

Según las especificaciones técnicas del IDU 2005 requiere colocación de por lo menos una parrilla de refuerzo en las losas que tengan las siguientes características:

- ✓ Longitud de losa (mayor dimensión en planta) superior a 24 veces el espesor de la misma
- ✓ Losas con relación largo/ancho mayor que 1.4
- ✓ Losas de forma irregular (no rectangular)}
- ✓ Losas con abertura en su interior para colocar elementos como pozos de alcantarillado o sumideros
- ✓ Losas en las cuales no coinciden las juntas con losas adyacentes

- Cálculo del acero de refuerzo

Por temperatura para control de fisuración

Se emplea la fórmula de cuantía mínima esto se hará por m2 de losa de pavimento

$$As\ temp = 0.0018 * b * h$$

Donde

- b es un ancho de 1m
- h es el espesor de la losa del pavimento

$$As\ temp = 0.0018 * 100cm * 20cm$$

$$As\ temp = 3.6\ cm^2$$

Empleando barras de ¼ de pulgada determinamos la configuración de la malla electrosoldada para control de fisuración por metro cuadrado.

$$n°\ barras = \frac{As\ temp}{As\ barra}$$

$$n°\ barras = \frac{3.6\ cm^2}{0.317\ cm^2}$$

$$n°\ barras = 11.35 \sim 12$$

Recalculamos acero por temperatura y configuración, por lo que requeriría 6 barras de 1m cada 20 cm en cada dirección

$$As\ temp\ recalculado = 12 * 1m * 0.317\ cm^2$$

$$As\ temp\ recalculado = 3.8\ cm^2$$

$$As\ temp\ recalculado > As\ temp\ \boldsymbol{OK}$$

14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los análisis realizados y utilizando la metodología PCA 84, se ha diseñado la estructura de pavimento para un período de servicio de 20 años. La solución propuesta incluye una losa de concreto hidráulico con un espesor mínimo de 20 cm, empleando un módulo de rotura (MR) de 40 kg/cm², tomando en cuenta el tránsito atraído y la funcionalidad proyectada para la vía. Se ha diseñado una subbase granular tipo C con un espesor mínimo de 15 cm.

Para asegurar la correcta ejecución de la estructura de pavimento, se deben seguir las Especificaciones de Construcción establecidas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), incluyendo las recomendaciones específicas para las juntas de dilatación del pavimento rígido. En caso de encontrarse condiciones geotécnicas o constructivas diferentes a las previstas, se consultará a los asesores técnicos para evaluar y ajustar el diseño conforme a las condiciones encontradas.

15 BIBLIOGRAFÍA

- LONDOÑO NARANJO, Cipriano y ALVAREZ PABÓN, Jorge Alberto. Manual de diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito / Cipriano Alberto Londoño Naranjo; Jorge Alberto Álvarez Pabón; Instituto Colombiano de Productores de Cemento. – Medellín: ICPC; 2008. 114p.
- MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA VÍAS CON BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO
- MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA VÍAS CON BAJOS, MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO
- AASHTO (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials
- Huang, Y. H. (2004). Pavement Analysis and Design. Pearson Prentice Hall.

VALIDO PARA

ANDREA CAMILA CABALLERO HERNANDEZ
Ingeniera Civil- Máster en Construcción, Mantenimiento y Explotación de Carreteras
MP N° 081037 - 0565804 COR

Andrea Camila Caballero Hernández
Ingeniera Civil; Máster en construcción, mantenimiento y explotación de carreteras
M.P. N° 081037-0565804COR

Morroa, 28 de febrero de 2025

Señor:
SINDY MARCELA SIERRA DOMINGUEZ
SECRETARIA DE PLANEACIÓN
MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE

Asunto: Certificación de Diseño

Certifico que he realizado el Diseño del pavimento de la vía para el proyecto de inversión: ***"MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"***, a construirse en el Municipio de Morroa, Departamento de Sucre, de acuerdo con los requisitos técnicos vigentes, establecidos en el Manual de Diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito INVIAS, cuyos resultados se encuentran consignados en el Diseño del pavimento de la vía, **y estos no pueden ser modificados sin mi autorización una vez sea viabilizado el proyecto.**

Para los fines pertinentes, anexo copia de mi Tarjeta Profesional y original del certificado de vigencia y antecedentes profesionales.

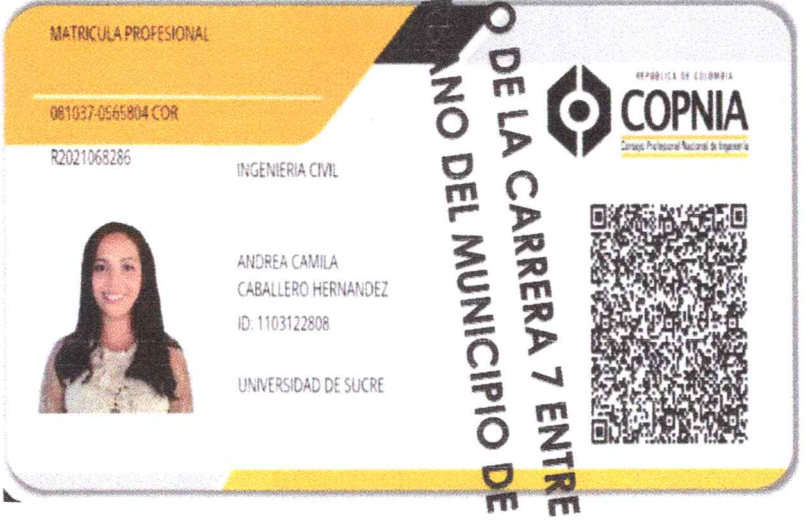
VALIDO PARA

ANDREA CAMILA CABALLERO HERNANDEZ
Ingeniera Civil- Máster en Construcción, Mantenimiento y Explotación de Carreteras
MP N° 081037 - 0565804 COR

Andrea Camila Caballero Hernández
Ingeniera Civil; Máster en construcción, mantenimiento y explotación de carreteras
M.P N° 081037-0565804COR







VALIDO PARA: "MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2025-3265565

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que ANDREA CAMILA CABALLERO FERNANDEZ, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1103122808, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 081037-0565804 COR desde el 10 de Mayo de 2021, otorgado(a) mediante Resolución Nacional R2021068286.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C. a los ocho (08) días del mes de Enero del año dos mil veinticinco (2025).

Rubén Darío Ochoa Arangiaez

del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratación. La falta de firma del titular no invalida el Certificado

El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.

Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

VALIDO PARA: "MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

VALIDO PARA: "MEJORAMIENTO EN PAVIMENTO RIGIDO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLE 9 Y FUNDACIÓN MARÍA REINA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL ISABEL I DE CASTILLA

hace constar que

Andrea Camila Caballero Hernández

ha cursado los estudios correspondientes al Programa que figura en el dorso,

impartido por **Structuralia** y certificado por la **Universidad Internacional Isabel I de Castilla,**

con una duración de 1500 horas (equivalente a 60 ECTS),

por lo que se expide la presente certificación

MÁSTER EN CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS*

que acredita haber superado con aprovechamiento las mencionadas enseñanzas.

En Burgos, a 28 de agosto de 2023.

EL/LA INTERESADO/A
Andrea Camila Caballero Hernández
Documento Identificativo: 1103122808

Número de Registro: FV: 202208850

RECTOR DE LA UNIVERSIDAD ISABEL I
Alberto Gómez Barahona