



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DISEÑO DE PAVIMENTO HIDRÁULICO POR LA METODOLOGÍA DE LOSAS
CORTAS EN EL TRAMO DE CARRETERA “LA GARITA – TIPITAPA” (6.30 KM),
EN EL AÑO 2015.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Marjourie Lissette Mendoza Pérez

Br. Ernesto De Jesús Pérez Bello

Tutor

Msc. Ing. Jennyffer Berenice Villanueva Ortiz

Managua, Septiembre 2016

DEDICATORIA

A Dios

Por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional y por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad e iluminar mi mente para salir adelante en este arduo camino del saber.

A mis padres, Jairo Antonio Mendoza Solís y Maura Francisca Pérez Guzmán

Por ser mi principal fuente de inspiración y motivación para el desarrollo y culminación de mis estudios profesionales.

Quienes han estado conmigo en todo momento, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio, enseñándome a valorar todo lo que tengo, brindándome todo su amor y apoyo incondicional para poder llegar a ser una profesional. Y sobre todo, por confiar en mí.

A mis hermanos, Jairo Duván Mendoza Pérez y Maryeri Elieth Mendoza Pérez

Por todo su apoyo emocional que siempre me brindaron día a día en el transcurso de mi vida universitaria y para que vean en mí un ejemplo a seguir.

A mis abuelos, Julio Pérez Peralta y Margarita Hernández

Por depositar su confianza en mí en todo el proceso de mi formación profesional.

A todos ellos dedico el presente documento, porque han fomentado en mí, el deseo de superación y de triunfo en la vida, lo que ha contribuido al éxito de este logro.

Marjourie Lissette Mendoza Pérez

DEDICATORIA

Por su amor, gozo, paz, paciencia, benignidad, bondad, fe, mansedumbre, templanza, incontables bendiciones, fortaleza y misericordias que son nuevas cada mañana, dedico la presente al Dios Padre, Dios Hijo y Dios Espíritu Santo.

A mis padres Salvador Antonio Pérez Romero y Rosa Bello que lograron inculcar en mí el apasionamiento por el estudio y el deseo de superación permanentemente.

Ernesto De Jesús Pérez Bello

AGRADECIMIENTO

A través de estas líneas queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a todas las personas que con su soporte científico y humano han colaborado en la realización de este documento de investigación.

El inmenso agradecimiento a Dios, por habernos permitido llegar hasta este punto tan importante de nuestras vidas. Y por darnos fortaleza, sabiduría y perseverancia para alcanzar nuestra meta de finalizar con éxito este documento investigativo.

Un agradecimiento muy especial a nuestros padres, por su invaluable esfuerzo, amor y apoyo, ofrecido a lo largo de nuestra formación tanto personal como profesional.

A nuestra Tutora Msc. Ing. Jennyffer Berenice Villanueva Ortiz, quien con paciencia y vasto conocimiento en el diseño de pavimentos, nos ha sabido guiar y asesorar hasta alcanzar los objetivos propuestos del presente documento.

A nuestros compañeros de clase, que han sido nuestro soporte y compañía durante todo el período de estudio.

A la Dra. Mayra Noguera Guevara, docente de la FTC, por asesorarnos metodológicamente y brindarnos sus saberes de redacción. Por brindarnos recomendaciones en el uso del lenguaje científico técnico y ayudarnos a enriquecer el léxico de esta investigación.

A la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), prestigioso plantel educativo que nos ha acogido y brindado la oportunidad de superación, así como al profesorado que supieron impartir y compartir sus conocimientos.

RESUMEN

Capítulo I: Generalidades

Describe las generalidades del tramo “La Garita – Tipitapa”, así como también la problemática que presenta ésta vía y los objetivos que se pretenden alcanzar con esta investigación.

Capítulo II: Marco Teórico

Contiene conceptos generales que servirán para aclarar cada aspecto del tema investigativo.

Capítulo III: Diseño Metodológico

Presenta el procedimiento metodológico que se utilizará para la ejecución de esta investigación.

Capítulo IV: Análisis y Presentación de resultados.

Primero, se realizará un análisis y verificación de los estudios geotécnicos que efectuó la empresa consultora en la vía en estudio, con la finalidad de determinar el CBR de diseño. Asimismo, se analizará las características del tráfico de la vía con el propósito de calcular los números de ejes equivalentes de carga de 18 Kips, que actuará sobre el pavimento en el período de diseño.

Posteriormente, se empleará el método de diseño mecánico – empírico estableciendo las variables de entradas requeridas, para determinar el espesor de la estructura de pavimento rígido mediante el método de diseño de estructuras para pavimentos AASHTO 98, que luego se analizará estructuralmente para ser optimizado a través del programa de elementos finitos NYSLAB

ÍNDICE

CAPÍTULO I. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	3
1.3. GEOMORFOLOGÍA	3
1.4. CLIMA	3
1.5. ANTECEDENTES	4
1.6. JUSTIFICACIÓN	6
1.7. OBJETIVOS	7
1.7.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. PAVIMENTOS DE CARRETERAS	8
2.1.1. Definición.	8
2.1.2. Características que debe reunir un pavimento.	8
2.1.3. Clasificación de pavimentos.	9
2.2. PAVIMENTOS RÍGIDOS.	10
2.2.1. Capas de un pavimento rígido.	10
2.2.2. Tipos de pavimentos de concreto.	11
2.3. DISEÑO DE PAVIMENTOS.	12
2.3.1. Consideraciones en el diseño de pavimento.	12
2.3.2. Diseño de estructura de pavimento rígido por el método mecánico empírico	

CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO	37
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	38
4.1. Estudios geotécnicos	38
4.1.1. Trabajos de Campo	39
4.1.2. Trabajos de Laboratorios	40
4.1.3. Resultados Obtenidos	40
4.1.4. Cálculo del CBR de diseño	43
4.2. Estudios de tráfico	55
4.2.1. Conteos Volumétricos de Tráfico	55
4.2.2. Estudio de Origen Y Destino	65
4.2.3. Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual	66
4.3. Diseño de estructura de pavimento rígido por el método mecánico empírico	72
4.3.1. Diseñar el espesor de pavimento rígido por el método AASHTO versión 1998	72
4.3.2. Análisis estructural y optimización de espesor de losa mediante el programa de elementos finitos NYSLAB	81
4.3.3. Comparación de resultados de espesor de losa por método AASHTO 98 y por método de elementos finitos.	89
4.3.4. Consideraciones constructivas para Losas de Concreto	90
4.4. Resultados de diseño de estructura de pavimento rígido por el método mecánico empírico (losas cortas)	94
BIBLIOGRAFÍA	99

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Al inicio del uso y diseño de pavimentos de concreto, surgieron inquietudes sobre su funcionamiento y la posibilidad de establecer métodos de diseños idóneos, que permitan determinar el espesor y calidad que deberían tener las diferentes capas que lo constituyen.

El espesor de las losas de pavimentos de concreto hidráulico depende principalmente de la carga por eje, el número de repeticiones de carga, resistencia del concreto, la longitud de la losa, y las condiciones climáticas durante el curado.

Con el fin de reducir los efectos de la interacción de la carga y las tensiones de alabeo, se ha propuesto una nueva metodología de diseño de losas de concreto, mediante la optimización del tamaño de la losa.

En este enfoque de diseño, los tamaños de las losas se eligen de manera tal, que no más de un set de ruedas del camión quede sobre una losa. Mediante la distribución de las cargas mecánicas hacia múltiples losas, las tensiones de tracción se reducen, así como las tensiones de alabeo debido a la reducción del tamaño de las losas. A este método de diseño se le conoce como Sistema de Losas Cortas o Sistema Mecánico Empírico.

El tramo objeto de estudio La Garita – Tipitapa, está ubicado en el Municipio de Tipitapa, del Departamento de Managua. Éste, tiene una longitud aproximada de 6.30 Km que inicia en la rotonda de La Garita en la estación 14+380 de la NIC-1 y finaliza en la intersección de la NIC-11 con la carretera de Tipitapa hacia Masaya.

Este tramo de carretera, es de suma importancia porque forma parte del corredor internacional panamericano, por lo tanto en esta ruta circula el tráfico nacional e internacional en grandes volúmenes, produciendo mayores cargas sobre el pavimento.

Según conteos actualizados del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), los dos carriles que existen en el tramo de carretera La Garita - Tipitapa no son suficientes para soportar los 10,500 vehículos que pasan a diario por esta vía, de tal forma que se pretende ampliar a cuatro carriles con el propósito de satisfacer la demanda vehicular.

La ampliación de este tramo permitirá a los usuarios la reducción de los costos de operación vehicular. A la vez, beneficiará la afluencia vehicular nacional e internacional, disminuyendo los tiempos de viajes.

Es por ello, que se presenta esta investigación con el fin de analizar la calidad de suelo existente y el volumen de tránsito para diseñar el espesor del pavimento, con base en la metodología de la AASHTO 98. Asimismo, se utilizará el programa de análisis de elementos finitos para pavimentos rígidos NYSLAB que permitirá verificar que la estructura de pavimento sea la adecuada para soportar los diversos factores que actuarán sobre el mismo, durante el período de diseño.

El aporte de esta investigación servirá al Ministerio de Transporte e Infraestructura como una opción alternativa para realizar este proyecto en un futuro, proponiendo un diseño de la estructura de pavimento rígido, mediante la metodología de Losas Cortas para el tramo de carretera en estudio.

1.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El tramo de objeto de estudio, se encuentra geográficamente localizado en el municipio de Tipitapa, del departamento de Managua.

Inicia en la rotonda de La Garita en la estación 14+380 de la NIC-1 (PK 0+000 del proyecto) y finaliza en la intersección con la carretera NIC-11 de la carretera de Tipitapa hacia Masaya, en la estación 20+680 aproximadamente (PK 6+300 del proyecto). A como se muestra en la Ilustración 1-I a Ilustración 3-II.

1.3. GEOMORFOLOGÍA

El tramo en estudio se localiza en una zona donde el terreno presenta una topografía plana con una pendiente promedio de 2.13%. Éste se encuentra a 50.44 metros (msnm), muy cercano a la altura del Lago Xolotlán (40 msnm).

En éste tramo, hay zonas vulnerables a las inundaciones que se deben por la cercanía a la costa del Lago Xolotlán, las riberas de los ríos Tipitapa, Malacatoya y San Antonio; Así como también, a los cauces existentes en el sector sur.

El Municipio de Tipitapa se encuentra ubicada en una zona altamente expuesta al peligro sísmico, debido principalmente a la existencia de fallas locales, entre las que se destacan la falla Cofradía y el sistema de Fallas a lo largo del Río Tipitapa. Las actividades sísmicas sobre este alineamiento tectónico se manifiestan frecuentemente.

1.4. CLIMA

El Municipio de Tipitapa tiene un clima clasificado como Sabana Tropical, con una marcada estación seca de 4 a 6 meses de duración; principalmente entre los meses de Noviembre a Abril de cada año.

La temperatura promedio se encuentra entre los 23°C en los meses frescos con una humedad relativa de 65%. El rango de precipitación anual varía entre los 900 mm hasta 1000 mm.

1.5. ANTECEDENTES

La investigación del método de losas cortas fue auspiciada por el Instituto del Cemento y Hormigón de Chile y ejecutada por la Universidad de Illinois, Estados Unidos, entidad líder en la investigación de pavimentos, cuyo informe final fue emitido en agosto de 2009.

La primera experiencia chilena en terreno se materializó en el año 2004, con la construcción de un pavimento de concreto de losas cuadradas en Santiago. Posteriormente, se construyeron dos tramos de pruebas adicionales: uno, en el año 2005, en la localidad de Chiquihue (Puerto Montt) y otro, en el año 2006, en Padre Las Casas (Temuco), presentando un comportamiento mucho mejor de lo esperado. (Covarrubias, 2012)

El método de losas cortas también se ha implementado en Guatemala. Datos revelan que existen más de 700 km de pavimentos de concreto para tráfico pesado y se han comportado según lo estimado, con más de 6 años en operación. (Sánchez, 2014)

En Perú, se han construido con esta nueva tecnología: estacionamientos, estaciones de buses, centros de distribución y pavimentos industriales, todos con un desempeño aceptable. (Covarrubias, 2012)

En total se han construido más de 3 millones de metros cuadrados de pavimentos de concreto con esta metodología, en los diferentes países antes mencionados. Estos pavimentos, han sido fabricados con distintos climas y condiciones de suelo, presentando un comportamiento excepcional. (Covarrubias, 2012)

Nicaragua comenzó a construir pavimentos rígidos mediante la metodología de losas cortas, obteniendo resultados satisfactorios, tales son los casos de: Pista Cardenal Miguel Obando y Bravo (en el año 2008) y el Mejoramiento de seis tramos de la carretera Rio Blanco-Puerto Cabezas (construido en el año 2009).

Asimismo, se construyó una carretera en el año 2011 con el sistema de Losas Cortas, de 17 kilómetros de longitud que va del empalme de Puerto Sandino al puente La Gloria, en el departamento de León.

En el año 2013 se construyó el Empalme Nejapa-Empalme Puerto Sandino, este proyecto consistió en la construcción de una carretera de 50.63 kilómetros de longitud de una estructura de pavimento compuesta de una losa de concreto hidráulico de 18 cm de espesor.

También, se ejecutó en ese mismo año la Circunvalación de Masaya, este proyecto tiene una longitud de 6.7 kilómetros, cuenta con una capa de rodamiento en concreto hidráulico.

Asimismo, la Pavimentación en el puente fronterizo Sur Peñas Blancas se ejecutó en el año 2013 (Ingenieros Consultores Centroamericanos S.A), esta ampliación del paso fronterizo entre Nicaragua y Costa Rica consistió en una vía de 4 carriles en concreto hidráulico con una longitud de 400 metros lineales, con un ancho de 24 metros y un espesor de 0.23 metros.

Actualmente el Gobierno Sandinista, a través del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), está haciendo gestiones para ampliar a cuatro carriles el tramo de 6.30 km de La Garita a Tipitapa, y así descongestionar esta importante vía de entrada y salida de la ciudad de Managua.

Según conteos actualizados del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), los dos carriles que existen entre Tipitapa y La Garita no son suficientes para soportar los 10,500 vehículos que pasan a diario por esta carretera, es por ello que esta se pretende ampliar a cuatro carriles con el propósito de satisfacer la demanda vehicular.

1.6. JUSTIFICACIÓN

Los estudios de tránsito en el tramo de carretera La Garita - Tipitapa indican que, el tráfico es principalmente pesado y la afluencia vehicular sobrepasa el límite de servicio para el cual fue diseñado. La demanda vehicular desmesurada produce daños en la capa de rodamiento asfáltico, en forma de agrietamientos con diferentes grados de extensión y severidad.

Es por ello, que esta carretera requiere de un diseño de pavimento rígido con ampliaciones a 4 carriles. De esta manera, se podrá satisfacer la demanda de la vía prevista para la vida útil del proyecto, evitando su deterioro estructural a largo plazo y asimismo, disminuir el tiempo de viaje del tráfico y reducir los costos de operación vehicular.

La construcción de carreteras de pavimento rígido ofrece numerosos beneficios entre los cuales destacan: largos períodos de vida útil, mayor soporte de cargas pesadas, menor gasto de mantenimiento e incrementa la seguridad vial.

Al implementar una de las últimas tecnologías para pavimentos rígidos, conocido como sistema de Losas Cortas (o sistema Mecánico – Empírico) se logra distribuir mejor la carga evitando el agrietamiento y disminuyendo el espesor de las losas hasta un 40%, generando así una reducción sustancial en materiales y los costos de inversión inicial, manteniendo la misma vida útil que el diseño de losas convencionales, pero con un menor costo de mantenimiento, siendo un sistema constructivo viable en nuestro país.

La importancia de este documento radica en proporcionar al Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) un adecuado diseño de pavimento de concreto hidráulico mediante la metodología de Losas Cortas dando una solución complementaria al problema actual que presenta este tramo de carretera.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. *OBJETIVO GENERAL*

Diseñar la estructura de Pavimento Rígido del tramo “La Garita – Tipitapa” (Estación 14+380 de la NIC-1 hasta la intercepción de la NIC-11) del municipio de Tipitapa del departamento de Managua, para la determinación del espesor óptimo mediante la metodología de losas cortas.

1.7.2. *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

Analizar los estudios geotécnicos del tramo “La Garita-Tipitapa” proporcionados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), para la interpretación de la calidad de los suelos.

Conocer las características del tráfico que permitan la determinación de carga que actuarán sobre el pavimento en el período de diseño, con base en la metodología AASHTO 93.

Determinar el espesor de la estructura de pavimento, a través de la metodología de diseño convencional de la AASHTO 98.

Modelar la estructura de pavimento rígido por medio de un programa de elementos finitos NYSLAB, para el análisis de los esfuerzos por la carga de tráfico y el gradiente térmico.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. PAVIMENTOS DE CARRETERAS

2.1.1. DEFINICIÓN.

Los pavimentos son estructuras que consisten en capas superpuestas de materiales procesados que se diseñan adecuadamente y se compactan por encima del terreno natural, con la finalidad de distribuir las cargas aplicadas por un vehículo a la subrasante. Estas han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada. (Adaptado de Fonseca, 2001)

2.1.2. CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR UN PAVIMENTO.

Las características de un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.1.3. CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS.

De acuerdo con Fonseca (2001), los pavimentos se clasifican en:

2.1.3.1. Pavimentos articulados.

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí.

2.1.3.2. Pavimentos flexibles.

Este tipo de pavimentos están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase.

2.1.3.3. Pavimentos semirrígidos.

Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos.

2.1.3.4. Pavimentos rígidos.

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido.

2.2. PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Un pavimento rígido consiste en una losa de concreto con cemento Portland que en ocasiones presenta un armado de acero, apoyada directamente sobre una subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. El período de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

2.2.1. *CAPAS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO.*

2.2.1.1. La Subrasante.

Una de sus funciones principales es la de recibir y soportar las cargas que transmite el pavimento, así como evitar que los materiales finos plásticos que forman el cuerpo del terraplén contaminen al pavimento y que las terracerías, cuando estén formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes), absorban el pavimento.

2.2.1.2. La Subbase.

En 2001, Fonseca expresa que:

La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licúa el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.

2.2.1.3. Losa de concreto.

La losa de concreto es de cemento Portland. Esta carpeta de rodamiento debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, que resista y transmita los esfuerzos (esfuerzos constructivos, esfuerzos por temperaturas y esfuerzos por tráfico) que actúan sobre el pavimento.

2.2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.

Según la Asociación de Productores de Cemento del Perú (Asocem), los diversos tipos de pavimentos de concreto pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor costo inicial, de la siguiente manera:

2.2.2.1. Pavimentos de concreto simple con juntas (JPCP).

Son pavimentos construidos con concreto simple y con juntas de contracción espaciadas de manera continua. Es el tipo de pavimento más utilizado en el mundo.

Su condición estructural puede ser:

- Sin elementos por transferencia de carga. (Espesor 10cm a 25cm)
- Con elementos por transferencia de carga. (Espesor 15cm a 35cm)

2.2.2.2. Pavimentos de concreto reforzado con juntas (JRCP).

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Se utiliza para reforzar la losa cuando se requiere controlar esfuerzos causados por el tráfico, alabeos por temperatura o factores de esbeltez por fuera de los límites.

2.2.2.3. Pavimentos de concreto continuamente reforzados (CRCP).

Estos pavimentos se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones, específicamente las de temperatura. Es el menos utilizado por los altos costos de construcción.

2.3. DISEÑO DE PAVIMENTOS.

2.3.1. *CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO.*

2.3.1.1. Estudios de Suelos.

Las variables más importantes que se deben considerar en el diseño de una estructura de pavimento son las propiedades de los suelos que constituyen la subrasante. Para determinar estas propiedades, es necesario realizar ensayos de laboratorio tales como:

2.3.1.1.1. Clasificación de los suelos AASHTO M-145.

El requerimiento de parámetros de diseño correspondientes a las características del suelo, determina que la clasificación de suelos se realice por el Método AASHTO (M 145), principalmente con el fin de obtener el Índice de Grupo. Este método clasifica a los suelos, de acuerdo a su composición granulométrica, su límite líquido y su índice de plasticidad (límites de Atterberg)

2.3.1.1.2. Proctor AASHTO T-99 (estándar) y T-180 (modificado).

Estos ensayos permiten determinar la humedad óptima o sea la humedad ideal en la cual el suelo llega a su densidad máxima y a su vez alcanza sus mejores propiedades mecánicas.

2.3.1.1.3. Capacidad Soporte del Suelo (CBR).

El CBR para diseño de pavimentos se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la subrasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito.

2.3.1.2. Estudios de tránsito.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

La variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos sobre puntos dentro de un sistema vial. Dichos datos de volúmenes de tránsito son expresados con respecto al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de estimaciones razonables de la calidad del servicio prestado a los usuarios. (Cal y Mayor, Cárdenas, 1994, p.152)

2.3.1.2.1. Conceptos Generales

- **Tránsito:** El tránsito vehicular (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista.
- **Tránsito Existente:** Es aquel que presenta la vía antes de ser pavimentada.
- **Tránsito Atraído:** La cantidad del tránsito atraído depende de la capacidad y de los volúmenes de las carreteras existentes. Los usuarios, componentes del tránsito atraído a una nueva carretera, no cambian ni su origen, ni su destino, ni su modo de viaje, pero la eligen motivados por una mejora en los tiempos de recorrido, en la distancia, en las características geométricas, en la comodidad y en la seguridad. Como no se cambia su modo de viaje, a este volumen de tránsito también se le denomina **tránsito desviado**.
- **Tránsito Desarrollado:** Es el incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera.

- **Composición del tránsito:** Se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, de autobuses y de camiones.
- **Ejes Sencillo:** Es un eje en cuyos extremos lleva una o dos ruedas sencillas.
- **Ejes Tándem:** Es aquel constituido por dos ejes sencillos con rueda doble en los extremos.
- **Ejes Tridem:** Es aquel constituido por tres ejes sencillos con rueda doble en los extremos.
- **Volumen de tránsito:** Es el número de vehículos que circulan en ambas direcciones por una sección de vía durante un período específico de tiempo.
- **Tránsito Promedio Diario:** Es el volumen de tránsito durante un período de tiempo, dividido por el número de días del período. Abreviadamente se denota como TPD. Según el período utilizado para medir el volumen de tránsito, el TPD puede ser anual, mensual o semana, denominándose TPDA, TPDM Y TPDS, respectivamente.

2.3.1.2.2. Conocer las características del tráfico actual.

Se realizan aforos vehiculares con el objeto de determinar la composición, número y tipos de vehículos que transitan por la vía. También, se conoce la condición de carga del tránsito pesado, así como las cargas admisibles por tipo de vehículo y la distribución del tráfico en función del sentido de circulación y del carril de diseño.

En todo estudio de volúmenes de tránsito es necesario obtener dos datos básicos: el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y el Tránsito Promedio Diario Anual de tránsito Pesado (TPDA-P).

2.3.1.2.3. Proyección del tránsito en el período de diseño.

Para obtener el tránsito de diseño por tipo de vehículo, se debe calcular el factor de crecimiento AASHTO proponiendo un período de análisis en función de vía a proyectar (n) y una tasa de crecimiento vehicular (r).

De la siguiente forma:

$$F_c = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Se debe conocer el número de repeticiones esperadas (n) durante todo el período de diseño de cada tipo de eje, partiendo del Tránsito Promedio Diario Anual, el factor de crecimiento del tráfico (F_c), el factor de sentido (D) y el factor de distribución por carril (C). De esta manera, el tránsito futuro o tránsito de diseño será:

$$\text{Tránsito de diseño} = n * F_c * D * C * 365 \text{ días/año}$$

2.3.1.3. Propiedades de los materiales.

2.3.1.3.1. Módulo de Rotura del Concreto (M_r).

El módulo de Rotura o módulo de Resistencia del concreto para fines de diseño es un parámetro que controla el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de vehículos pesados. El módulo de rotura requerido es el valor determinado después de 28 días. Los valores varían entre 2.8 MPa (400PSI) y 4.8 MPa (700Psi)

2.3.1.3.2. Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c).

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento.

2.3.1.3.3. Módulo de Reacción de la Subrasante (K).

La resistencia de la subrasante es considerada por medio del Módulo de Reacción del Suelo (K), este factor nos da una idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo a la compresión. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci), se puede obtener directamente del terreno mediante la prueba de placa ASTM D1195 y D1196.

La capacidad de soporte se mide en términos del módulo de reacción K determinados por pruebas de placa directa, debido a que estas pruebas son complejas y costosas el valor de K lo estimamos por correlación con pruebas más sencillas con el CBR. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; ya que variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

2.3.1.4. El Clima.

Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y especialmente en los cambios volumétricos de los suelos de subrasante. Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en éstas esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas, provocando deformaciones o agrietamientos que influirían en el nivel de servicio de la vía.

2.3.1.5. Costos.

En los procedimientos de diseño es necesario realizar un estudio de costo del ciclo de vida de las alternativas de pavimentos diseñados, que le permitan al diseñador tomar una decisión sobre los tipos de pavimentos más convenientes a construir, tomando también en consideración las políticas de mantenimiento.

2.3.2. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO MECÁNICO EMPÍRICO

Los sistemas empleados actualmente de pavimentación en concreto se diseñan con losas de ancho igual al ancho de la pista de 3.6 m y de largo entre 3.3 y 6 metros, como lo muestra la Ilustración 4-II (1). Esto significa que un camión C3, carga la losa simultáneamente con sus tres set de ruedas, produciendo tensiones de tracción en la superficie de la misma, como lo muestra la Ilustración 4-II (2).

El sistema de Losas Mecánico - Empírico, consiste en el diseño de minilosa que permiten distribuir la carga de manera eficiente, lo que a su vez logra reducir el espesor de estas entre 4 y 10 cm, ahorrando material de construcción de forma sustancial.

Este método permite diseñar pavimentos delgados de concreto con las mismas virtudes que un pavimento tradicional de concreto.

La Metodología de Diseño Mecánico -Empírico, dimensiona las losas de tal forma que nunca sean cargadas por más de un set de ruedas del camión como lo muestra la Ilustración 4-II (3), logrando disminuir significativamente las esfuerzos internos en la misma. Esto se logra realizando los pasos a continuación:

- 1) Diseñar el espesor por el método de diseño para pavimentos AASHTO versión 1998.
- 2) Análisis estructural y optimización de espesor de losa por el programa de elementos Finitos NYSLAB.

2.3.2.1. Método de diseño AASHTO versión 1998

2.3.2.1.1. Reseña histórica de la guía AASHTO

El método de diseño para estructuras de pavimento que propone la AASHTO en la edición 1993, se basa principalmente en la información y en los datos empíricos obtenidos de la prueba AASHO Road Test, llevada a cabo durante el período de 1958 a 1960 en Ottawa Illinois.

En la prueba AASHO Road Test se realizaron 6 circuitos de prueba de dos carriles cada uno, los cuales contaban con la mitad del tramo construido con pavimento rígido y la otra con pavimento flexible, se experimentaron 836 secciones con cerca de 200 combinaciones diferentes de superficies, bases y sub-bases. (ISCYC, 2003, Módulo 1-3 diseño de pavimentos rígidos)

La planeación empezó en 1951, la construcción del proyecto en 1956 y el tráfico controlado se aplicó de octubre de 1958 a noviembre de 1960. Cada circuito consistía de dos carreteras paralelas conectadas en sus extremos por retornos, como se muestra en la Ilustración 5-III e Ilustración 6-III. Cabe mencionar que las secciones de prueba solamente estaban localizadas en los tramos en tangente del circuito.

Las pruebas de tráfico consistían en la circulación de vehículos con diferentes configuraciones de ejes simples y tándem, los cuales eran conducidos por las pistas de pruebas. Diez combinaciones de diferentes cargas y ejes fueron utilizados, con cargas de ejes simples que variaban de las 24,000 lb a las 48,000 lb (AASHTO, 1993, p. I-10).

Luego se recopiló la información relacionada con la condición del pavimento con respecto a la presencia de grietas y a cantidad de recarpeteos necesarios para mantener la sección de pavimento en servicio. Toda esta información fue minuciosamente analizada, y los resultados formaron la base para la publicación de la guía interina para el diseño de estructuras de pavimento de la AASHO de 1961.

La primer guía de diseño de pavimentos de la AASHO fue editada en 1961 y 1962, la cual a su vez fue evaluada y revisada por el Comité de Diseño AASHTO en 1972, publicando la “AAHSTO Interim Guide for Desing of Pavement Structures”. Entre 1984 y 1985, el Subcomité en Prácticas de Diseño de Pavimentos y consultores revisaron la guía en vigencia, dando como resultado la “AASHTO Guide for the Design of Pavements Structures” (1986).

En 1993 se publicó una nueva versión de la guía AASHTO, la cual incorpora la revisión del diseño de sobrecapas, diseño de subbases delgadas, erosión de la subbase y confinamiento lateral, así como también se extendieron las extrapolaciones de las cargas de trafico de ejes simples hasta 50,000 lb y en ejes tándem hasta 90,000 lb, también a la ecuación general de diseño de la guía se le agregaron algunos factores tales como: el error estándar combinado, la diferencia de serviciabilidad y el coeficiente de drenaje, tal como se presenta en el apartado 2.2.2 de la Guía.

La publicación de la AASHTO edición 1998 es una guía suplementaria de la guía para diseño de pavimentos proporcionado por la AASHTO de la edición 1993, contiene un procedimiento alternativo para diseño de pavimentos rígidos y diseño de juntas, correspondientes a las secciones 3.2 y 3.3 de la parte II de la edición 1993, en esta edición de la guía se incorporan factores como la relación de Poisson, características de la subbase, condiciones climáticas de la zona y cambios en la determinación del módulo de reacción de la subrasante, (K).

En el año 2004 la AASHTO publicó la guía Mecanística-Empírica edición 2002, esta guía supera algunas de las deficiencias que tenían las anteriores publicaciones de la guía AASHTO con lo que respecta a: El incremento del tráfico y su caracterización, deficiencias climáticas, de construcción, de desempeño y de confiabilidad.

No obstante a que la guía AASHTO cuenta con un documento reciente para el diseño, Guía Mecánica-Empírica edición 2002, en este documento se utilizará principalmente la ecuación de diseño del Suplemento Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos 1998, siendo:

$$\log W' = \log W + (5.065 - 0.03295 P_2^{2.4}) \left[\log \left(\frac{(S'_c)'}{\sigma'_t} \right) - \log \left(\frac{690}{\sigma_t} \right) \right]$$

Dónde:

W': Número estimado de ESAL's de 18 kip para el diseño del carril de circulación.

W: Número estimado de ESALs de 18 kip calculado de la siguiente ecuación:

$$\log W = \log R + \frac{G}{Y}; \log R = 5.85 + 7.35 \log(D+1) - 4.62 \log(L_1 + L_2) + 3.28 \log L_2$$

$$Y = 1.00 + \frac{3.63(L_1 + L_2)^{5.2}}{(D+1)^{8.46} L_2^{3.52}}; G = \log \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 - 1.5} \right)$$

D: Espesor de la losa de concreto, pulgadas.

L1: Carga en un eje simple o tándem, kips

L2: Código de eje, 1 para eje sencillo, 2 para eje tándem.

P1: Índice de serviciabilidad inicial.

P2: Índice de serviciabilidad terminal.

(S'c)' = Resistencia flexionante media a 28 días, por carga en el tercio medio, psi.

σ_t : Esfuerzo de tensión de la parte media debido a carga y temperatura de la ecuación siguiente con las constantes de la carretera de prueba de la AASHO.

σ'_t : Esfuerzo de tensión de la parte media debido a carga y temperatura de la ecuación

siguiente con las entradas para el diseño de pavimento nuevo.

$$\sigma_t = \sigma_l E F \left[1.0 + 10^{(\log b)} T D \right]$$

σ_l : Esfuerzo de tensión de la parte media debido a la carga únicamente, de la ecuación siguiente:

$$\sigma_l = \frac{18,000}{D^2} \left\{ 4.227 - 2.381 \left(\frac{180}{l} \right)^{0.2} - 0.0015 \left[\frac{E_b H_b}{1.4 k} \right]^{0.5} - 0.155 \left[H_b \left(\frac{E_b}{E_c} \right)^{0.75} \right]^{0.5} \right\}$$

E_c : Módulo de elasticidad de la losa de concreto, psi.

(4,200,000 psi; 28,959MPa, para la carretera de prueba AASHO)

E_b : Módulo de elasticidad de la base, psi.

(25,000 psi; 172MPa, para la carretera de prueba AASHO)

H_b : Módulo de elasticidad de la base, psi

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_c D^3}{12 (1-\mu^2) k}}$$

K = módulo elástico efectivo para la subbase de soporte, psi/in.

μ = Relación de Poisson para el concreto (0.2 para la carretera de prueba AASHO).

E : Factor de ajuste de soporte del eje (1.00 para la carretera de prueba AASHO).

F : Relación entre el esfuerzo de la losa a un coeficiente de fricción dado (f) entre la losa y la base y el esfuerzo de la losa en fricción total, de la ecuación siguiente:

$$F = 1.177 - 4.3 \cdot 10^{-8} D E_b - 0.01155542 D + 6.27 \cdot 10^{-7} E_b - 0.000315 f$$

f = coeficiente de fricción entre la losa y la base.

2.3.2.1.2. Variables de entrada requeridas

Las siguientes entradas deben ser obtenidas o seleccionadas:

2.3.2.1.2.1. Período de diseño

Un pavimento debe ser diseñado para soportar el tránsito inicial y aquel que pase durante su vida de servicio. Sin embargo, es necesario conocer que no es fácil calcular tales cargas, por cuanto en el tránsito futuro intervienen factores muy complejos, dado que es muy difícil predecir los cambios en la economía regional general, en la población y en el uso de la tierra a lo largo de la vía durante el período de diseño.

Comúnmente se toma un lapso de 20 años como período para el diseño de un pavimento rígido sin olvidar que en determinados casos, puede resultar económicamente justificado el empleo de períodos menores o mayores.

2.3.2.1.2.2. Módulo de reacción de la Sub rasante (k)

La Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos de la AASHTO 1998 (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1998 en su sección II y pagina 2 define el Modulo de Reacción de la Sub rasante (valor k) como:

Aquella medida o estimada que sobre la parte superior de la capa de balasto terminada o terraplén será eventualmente construida la base y/o losa de concreto. El valor k representa la sub rasante (y terraplén, si hubiera); este valor no representa la capa base.

El valor K elástico en la parte superior de la sub rasante o terraplén es la entrada de diseño requerida. El valor k bruto incorporado en versiones previas de la Guía AASHTO representa no solamente la deformación elástica de la sub rasante bajo una placa de carga, sino también la substancial de formación permanente. Solamente el componente elástico de esta deformación es considerado representativo de la respuesta de la sub rasante a las cargas de tráfico sobre el pavimento.

La prueba (ensayo) del valor K elástico fue la principal prueba (ensayo) de la sub rasante llevado a cabo extensivamente en la Carretera de Prueba AASHO. Cuando el valor K elástico fue usado en análisis estructurales de los Pavimento de la Carretera de Prueba AASHO, se descubrió que los esfuerzos computados (calculados por computadora) con un modelo de elemento finito tridimensional eran aproximadamente iguales a aquellos medidos en el campo bajo cargas de ejes de camiones a gran escala en velocidad de arrastre (o velocidad de deformación o de fluencia), suministrando mayor justificación para usar el valor K elástico en el diseño.

Dado que no siempre se tienen equipamientos para ejecutar el ensayo que determine el valor de reacción K de la sub rasante, prueba de deflexión y calculo regresivo, por lo tanto se correlaciona con el tipo de suelo y otras propiedades del suelo o ensayos, para ello la AASHTO presenta directrices para seleccionar un valor K apropiado basado en la clasificación del suelo, nivel de humedad, densidad, California Bearing Ratio (CBR), o datos del Cono de Penetración Dinámica (DCP). (Villanueva & Guzmán, 2013, p.39)

La Correlación de valores K y CBR, se presenta en la Gráfica 1-IV esta ilustra el rango aproximado de valores K, que pueden ser esperados para un suelo con un valor de CBR de diseño.

2.3.2.1.2.3. Módulo de Reacción (K) Combinado

La Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos de la AASHTO 1998 (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1998) en su sección II y página 14 ha proporcionado:

En la Gráfica 2-IV, un nomograma para el ajuste del valor K efectivo de la sub rasante ajustado estacionalmente si: (a) el material de relleno será colocado entre la sub rasante natural, y/o (b) una capa rígida (por ejemplo: manto rocoso, manto duro de arcilla) está presente a una profundidad de 10 pies, 3 metros o menor por debajo de la superficie de la sub rasante existente.

Se considera que el ajuste de la capa rígida debería ser únicamente aplicado si el K de la sub rasante fue determinado en base al tipo de suelo o correlaciones similares. Si el valor K fue determinado de pruebas de deflexión no destructivas o pruebas de placa de carga, el efecto de una capa rígida, si está presente en una profundidad de 10 pies, es ya representado en el valor K obtenido.

2.3.2.1.2.4. Tránsito en el carril de diseño (ESAL'S)

El tránsito en el carril de diseño, es el tránsito anual acumulado por tipo de vehículo afectado por el factor direccional y factor carril. La siguiente ecuación, obtenida de la Guía de diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 93 en la parte II, determina el tránsito en el carril de diseño:

$$W_{18} = w_{18} \times D_d \times D_L$$

Donde:

w_{18} = El tránsito anual acumulado en ambas direcciones durante el período de análisis

D_d = Factor direccional

D_L = Factor Carril

2.3.2.1.2.4.1. Factores influyentes en el tránsito de diseño

2.3.2.1.2.4.1.1. Factor Direccional

El Factor Direccional en la mayoría de los casos este valor es de 0.5, a como lo recomienda la Guía de diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 93 en la segunda parte, para un flujo vehicular en ambas direcciones; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección.

2.3.2.1.2.4.1.2. Factor Carril

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles en una dirección, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados transitan en ese carril. (Iturbide, Cap. III, p. 29)

2.3.2.1.2.4.2. ESAL'S en el carril de diseño

En 2002, Iturbide expresa lo siguiente:

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual forma de diferente manera a igual carga. Como estas cargas producen tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser distintas.

Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de Tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. Esta carga uniformizada según AASHO es de 80 kN o 18 Kips y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga, LEF (Load Equivalent Factor) por sus siglas en inglés. El proceso de convertir un tránsito mixto en un número ESAL'S de 80 kN fue desarrollado por el Road Test de AASHO. (Cap.III, p.3)

La conversión del tránsito mixto a un Eje Simple Equivalente de Carga de 18 Kips, está basado en el método normado por la AASHTO 93 en el apéndice D. Para expresar la variación de cargas por eje en función de un solo parámetro de diseño, es necesario el desarrollo de los factores de equivalencia de carga por eje.

Los factores antes mencionado, cuando se multiplican por el número de cargas por eje dentro de una categoría de peso dado, se obtiene la carga de un eje simple de 18-Kip que tendrá un efecto equivalente sobre el rendimiento de la estructura de pavimento.

La Guía de diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 93 expresa que:

Los Factores Equivalentes de Carga (F.E.C) representa la relación entre el número de repeticiones de cualquier carga y configuración por eje (simple, tandem, tridem) necesaria para causar la misma reducción en PSI como una aplicación de una sola carga por eje de 18 Kips.

2.3.2.1.2.5. Serviciabilidad

De acuerdo con Iturbide (2002) en el capítulo III, el Índice de Serviciosabilidad es:

El valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento normal de un vehículo; en otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de Serviciosabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de Serviciosabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor 0 (Pésimas condiciones).

“A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de Serviciosabilidad (DPSI) o sea el índice de Serviciosabilidad presente (Present Serviciosability Index)”.

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (Iturbide, 2002) señala que los valores que se recomiendan dependiendo del tipo de pavimento son los siguientes:

Índice de Serviciosabilidad inicial:

- $P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos.
- $P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles.

Índice de Serviciosabilidad final:

- $P_t = 2.5$ o más para caminos muy importantes.
- $P_t = 2.0$ para caminos de tránsito menor.

2.3.2.1.2.6. Módulo de Ruptura del Concreto (M_r)

El Manual de Diseño y Construcción de Pavimento Cemex, especifica lo siguiente:

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.

El módulo de ruptura se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo. Esta prueba está normalizada por la ASTM C78. Existe una prueba similar con la aplicación de la carga al centro del claro que genera resultados diferentes de resistencia a la flexión (aproximadamente 15% a 20% mayores) pero que no son los que considera AASHTO para el diseño. (Cap. II, p.41)

Los valores recomendados para Módulos de Ruptura según el Manual de Diseño y Construcción de Pavimento Cemex se muestran en la Tabla 1-V.

2.3.2.1.2.7. Módulo Elástico del Concreto (E_c)

El Manual de Diseño y Construcción de Pavimento Cemex señala lo siguiente:

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 a partir del Módulo de Ruptura. Los dos más utilizados son: (Cap. II, p.42)

- $E_c = 6,750 * MR$
- $E_c = 26,454 * MR^{0.77}$

Estas fórmulas aplican con unidades inglesas.

2.3.2.1.2.8. Módulo de Poisson (μ)

El módulo de Poisson, también llamado razón de Poisson o relación de Poisson, representa la relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal o axial de algún elemento. Este parámetro se determina normalmente de acuerdo a la norma ASTM C-469 durante una prueba de compresión de un cilindro estándar.

2.3.2.1.2.9. Módulo Elástico (E_b) y Coeficiente de Fricción de la Base

El tipo de base puede influir sobre el comportamiento de los pavimentos de concreto, ya que afecta directamente en las condiciones de soporte de la losa. Por otra parte, el coeficiente de fricción es el parámetro que pretende cuantificar la resistencia que se presenta al deslizamiento entre la base y la losa.

La Guía AASHTO 98, en la Tabla 14 muestra los módulos elásticos y coeficientes de fricción para los diferentes tipos de bases.

2.3.2.1.2.10. Confiabilidad (R)

La confiabilidad (R) es la variable por medio de la cual se incorpora cierto grado de incertidumbre en el proceso de diseño, introduciendo un nivel predeterminado de seguridad a través del cual el pavimento será capaz de resistir las cargas de tráfico para el período de diseño.

Esta es una variable de entrada por medio de la cual se introduce un factor de seguridad al diseño del pavimento, cuyo valor depende del nivel de confiabilidad elegido y del error estándar combinado (S_o) que se espera de todos los factores que influyen en el comportamiento de una estructura de pavimento.

La Guía de Diseño AASHTO 93 en el capítulo I define que: “La confiabilidad del diseño de un pavimento, es la probabilidad que la estructura de pavimento diseñada, se desempeñará satisfactoriamente para las cargas de tráfico y condiciones ambientales para el período que fue diseñada” (p. 53)

2.3.2.1.2.11. Desviación Normal Estándar (Z_r)

A como lo indica el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos en el capítulo VII (Iturbide, 2002, p. 54), esta variable define que, para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un período de diseño sigue una ley de distribución normal con una media M_t y una desviación típica S_o y por medio de la Tabla 2-V, con dicha distribución se obtiene el valor de Z_r en función de un nivel de confiabilidad R, de forma que exista una posibilidad de que $1 - \frac{R}{100}$ del tránsito realmente soportado sea inferior a $Z_r \times S_o$.

2.3.2.1.2.12. Error Estándar Combinado (S_o)

Según el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (Iturbide, 2002, p. 55), este valor representa:

La desviación estándar conjunta, e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado Pt.

La Guía de Diseño de AASHTO edición 1993, recomienda utilizar para S_o valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

- Para pavimentos rígidos 0.30 - 0.40
- En construcción nueva 0.35
- En sobre-capas 0.40

2.3.2.1.2.13. Variables climáticas

Los parámetros directos del clima que afectan a un pavimento de concreto son la temperatura y las precipitaciones. La temperatura se manifiesta principalmente en el comportamiento del pavimento por medio del alabeo que produce en las losas. Las precipitaciones se asocian al debilitamiento de la sub rasante producto de la infiltración de agua a esta capa y además, es parte de los procesos de bombeo de finos.

2.3.2.1.2.14. Espaciamiento de Juntas (L)

La Guía de Diseño de AASHTO edición 1993, expresa que:

En general, la separación de ambas juntas de contracción transversal y longitudinal depende de las condiciones locales de materiales y medio ambiente, mientras que las juntas de dilatación y de construcción dependen principalmente de las capacidades de diseño y de construcción.

Actualmente, los registros de servicios locales es la mejor guía para establecer una separación de juntas que podría controlar la fisuración. El espaciamiento de junta (en pies) para pavimentos de concreto simple, podría no exceder dos veces el espesor de la losa (en pulgadas). (Cap. II, p. 49)

2.3.2.1.2.15. Espesor de la Base (Hb)

Es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la sub rasante. Por lo cual, tiene como objetivo:

- Servir de capa de drenaje al pavimento.
 - Controlar o eliminar en lo posible cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la sub rasante.
 - Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas protegiendo así al pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de helada. Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en los suelos limosos donde la ascensión capilar del agua es considerable.
- Anónimo (s.f.). Pavimentos: *Sub Base y los Materiales*.

2.3.2.2. Optimización del espesor mediante el uso de programa de Elementos Finitos

2.3.2.2.1. Modelación utilizando programa de análisis de pavimento NEW YORK (NYSLAB).

Una de las últimas metodologías es el análisis estructural por el Método de Elementos finitos. Este método considera que los esfuerzos en un pavimento de concreto son el resultado de la interacción de diversos de factores, los que se pueden agrupar en tres categorías:

- Medio ambiente (los efectos de la temperatura y humedad en la losa).
- Cargas de tráfico.
- Soporte de la losa, base y sub rasante.

El último programa de elemento finito es el NYSLAB una herramienta diseñada para analizar la respuesta del pavimento de hormigón normal y articulado, para distintos tipos de condición de carga, bases y gradientes térmicos. (Villanueva & Guzmán, 2013, p. 51)

2.3.2.2.1.1. Programa de análisis para pavimento de concreto simple (NYSLAB)

Es un programa de Elementos Finitos en el que se analizan los esfuerzos máximos, cuyo propósito es optimizar el espesor de la losa obtenido mediante el Diseño de Pavimento AASHTO versión 1998.

El programa de análisis para pavimento de concreto simple (NYSLAB), presenta las siguientes características:

- Fácil de usar y la conveniente introducción de datos.
- Tiene integrado un modelo de análisis por elementos finitos que calcula los esfuerzos para pavimentos rígidos, desarrollados en Matlab ®.
- Las gráficas de los esfuerzos se visualizan en cualquier punto de la losa.
- Tiene una base de datos de Camiones y una fácil definición de camiones personalizable.

Lo novedoso del programa es que tiene una simulación de ejecución única de un eje en movimiento y los resultados de salida pueden ser exportados en un documento de Microsoft Word y Excel.

El programa puede ser usado para los siguientes propósitos:

- Modelar la respuesta de los sistemas de pavimento rígido, ya sea a partir del peso de la losa de hormigón en sí, bajo cargas de tráfico pesado, o gradientes de temperatura.
- Historial de Respuesta en el tiempo en un lugar determinado dentro del pavimento, bajo un eje en movimiento.

Las simulaciones en el programa NYSLAB se efectuaron para determinar el esfuerzo máximo en la losa, bajo los efectos de los gradientes térmico diurno y nocturno de $\pm 10^{\circ}\text{F}$ (diferencial térmico de fibras superiores e inferiores en losa de concreto) de la carga de tráfico y, tomando en cuenta los tres puntos críticos (centro, borde y esquina) en la losa determinados por Harold Malcolm Westergaard. A como se muestra en la Ilustración 7-VI.

2.3.2.2.1.2. Variables de entrada requeridas para el programa de elementos finitos NYSLAB

Para definir el proyecto y ser analizadas las variables, se tendrá que ir a través de cada una de las pestañas mostradas en la Tabla 3-VI. Cada una de ellas solicitará información del proyecto necesario para la modelación de la losa.

Las variables de entradas en cada pestaña del programa, son las detalladas a continuación.

2.3.2.2.1.2.1. *Pestaña de Información del Proyecto*

Se plasma la localización, nombre y fecha del proyecto objeto de análisis, con el fin de tener una base de datos o registro de cada proyecto en estudio.

2.3.2.2.1.2.2. *Pestaña de Materiales y Gradiente térmico*

- Capas

El programa permite introducir el número de capas que comprenden los pavimentos de concreto. El usuario puede seleccionar de dos hasta 10 capas. Basado en el número de capas elegidas, un número similar de material de entrada y cuadros de edición se mostrarán automáticamente. Puede seleccionar una gama de materiales e introducir el espesor correspondiente.

La capa superior representa la capa de pavimento, el segundo cuadro representa la primera capa de cimentación, la tercera representa la capa de fundamento, y así sucesivamente hasta que todas las capas estén debidamente asignadas.

- Gradiente de Construcción

El gradiente de construcción es una estimación del alabeo inicial que se produce en la losa debido a retracciones diferenciales entre la parte superior y la parte inferior de esta. Este gradiente se expresa como el gradiente térmico (°F) que existiría para tener la losa plana.

El valor del gradiente térmico depende del clima de la zona y la época del año durante se construye el proyecto.

- Perfil Térmico

En el programa se puede introducir la información de la expansión térmica de las losas. Un conjunto de temperaturas predeterminadas se visualiza en el programa, además se puede cambiar estos valores para reflejar las condiciones del campo de pavimento. Hay dos opciones, un perfil de temperatura lineal y no lineal con respecto a la profundidad.

La elección de la opción lineal desactiva las medias cajas (P2 y P3) y se tendría que introducir sólo las temperaturas en la parte superior e inferior de las losas. Si la opción de gradiente no lineal es la elegida, se analiza la temperatura a cuatro profundidades diferentes tendrá que ser digitado, para elegir esta opción se debe tener un perfil de temperatura del tramo en estudio.

- Coeficiente de Dilatación Térmica

Se denomina coeficiente de dilatación al cociente que mide el cambio relativo de longitud o volumen que se produce cuando un cuerpo sólido o un fluido dentro de un recipiente experimentan un cambio de temperatura que se provoca en él por cualquier medio. El símbolo es α y su unidad de medida es $1/^\circ\text{C}$ o $^\circ\text{C}^{-1}$

- Módulo Elástico del Concreto

El Módulo Elástico o Módulo de Young del concreto es definido como la relación de esfuerzo y deformación. Este parámetro es una medida de la rigidez, es decir la resistencia del concreto a la deformación.

Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relaciones con el módulo de elasticidad del concreto. Este parámetro, tiene un fuerte efecto sobre la deflexión del pavimento y los esfuerzos en toda la estructura de pavimento.

- Módulo de Poisson

El módulo de Poisson, representa la relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal o axial de algún elemento.

En la mayoría de los materiales tratados con cemento, su valor varía entre 0.10 y 0.20, a como se muestra en la Tabla 4-VII.

- Módulo de Reacción (K)

El módulo de reacción (K) es un valor que se ingresa en el programa tanto para la subrasante como para la base de la superficie de rodamiento y representa la resistencia de la sub rasante y base; esto indica cuanto se asientan las capas subyacentes al pavimento al someterlas a esfuerzos de compresión.

2.3.2.2.1.2.3. Pestaña de Losa

Se establece el número de losas que serán analizados y la configuración geométrica de cada uno de ellos. El usuario puede también especificar la localización y propiedades presentes en cualquiera de las capas.

El programa requiere el número de losas y sus dimensiones para ser analizados. Se debe seleccionar el número de losas longitudinales presentes en el proyecto, es decir, el número de losas a lo largo de la trayectoria del tráfico, también el programa permite seleccionar el número de losas adyacentes, es decir, el número de losas perpendiculares al flujo de tráfico. Se puede seleccionar entre 1×1 a un 5×4 combinaciones de losas, para ello se debe modular la losa.

2.3.2.2.1.2.4. Pestaña de Juntas

El programa permite modelar las juntas describiendo la conexión estructural de cada losa, también las propiedades de las juntas transversales y longitudinales. Se debe seleccionar si la transferencia de carga entre losa será por trabazón de agregados, acero o la combinación de ambos.

2.3.2.2.1.2.5. Pestaña de Carga

El programa tiene la opción de introducir la carga aplicada a la sección de pavimento. Existen dos opciones: utilizar un perfil de carga previamente creado o crear una nueva carga, al elegir la primera opción cargara automáticamente las propiedades por defecto de la configuración seleccionada de un camión con datos predefinidos almacenados en la base de datos del programa.

2.3.2.2.1.2.6. Pestaña de Análisis

Se ajusta la posición de camión con respecto a la losa para obtener la respuesta del pavimento.

2.3.2.3. Consideraciones constructivas para Losas de Concreto

2.3.2.3.1. La mediana

La mediana o franja separadora central es una franja de terreno localizada al centro de los carriles de sentido contrario en carreteras divididas, que puede construirse al nivel de la pista principal, o tener su sección transversal elevada o deprimida, siendo preferible esta última solución por su contribución al drenaje longitudinal en las autopistas y carreteras divididas.

2.3.2.3.2. Hombros o Espaldones

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos en el capítulo IV (Iturbide, 2002, p. 7) define que:

Los hombros o espaldones, que son las franjas de carretera ubicadas contiguas a los carriles de circulación y que, en conjunto con éstos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes.

Para las autopistas regionales y las troncales suburbanas se recomienda un mínimo de 2.5 metros de ancho de hombro exterior, siendo admisible reducir dicho requerimiento hasta 1.8 metros. Con el fin de que un vehículo estacionado o en reparación despeje el carril exterior a una distancia comprendida entre 0.30 y 0.60 metros.

El ancho de los hombros se determina en función de la clasificación de la carretera y del tipo de terreno que cruza. Los anchos mínimos de hombros y aceras que recomienda la SIECA se presenta en la Tabla 5-VII.

2.3.2.3.3. Barras de Sujeción

Las Barras de amarre en los pavimentos de concreto, son varillas de acero de refuerzo corrugado colocadas en las juntas longitudinales del pavimento y a la mitad del espesor, para proveer unidad estructural entre las losas adyacentes del pavimento y evitar que la junta longitudinal se separe.

Las barras deben quedar aproximadamente a mitad del espesor de la losa y en forma paralela a la superficie del pavimento, con una mitad a cada lado de la junta longitudinal. Las dimensiones y espaciamientos entre varillas pueden variar en función del tamaño y grado de la barra, el espesor de la losa y la distancia entre la junta y el borde libre de la losa. La Tabla 6-VII, es una guía de dimensionamiento de barras de amarre del ACI 325 12R-02.

2.3.2.3.4. Confinamiento Lateral (Pines de Anclaje)

Según las especificaciones técnicas de Pavimentos TCP se recomienda colocar 2 pines de 16 mm de diámetro por losa de pavimento, colocados verticales al costado externo de las losas. La longitud de estos pines será de al menos 40 cm, pero de largo tal que asegure un buen anclaje en la base (la longitud dependerá del tipo de base). La ubicación será a 50 cm de la junta pegados al concreto de la losa. La finalidad de estos pines es evitar el desplazamiento lateral de las losas.

CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación según el tiempo de ocurrencia será de carácter prospectivo, ya que se recopilará información acerca del diseño de pavimento rígido de la AASHTO 98, para la utilización de éste en el año 2015, con la finalidad de que el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ejecute este proyecto en un futuro.

El nivel de profundidad de la investigación será descriptiva, porque se puntualizarán los factores a considerar para el diseño de este tipo de pavimentos. De acuerdo al enfoque de este estudio será cuantitativa, puesto que se determinarán las variables de entrada requeridas para obtener el espesor adecuado de pavimento.

El área de estudio será el tramo de carretera “La Garita – Tipitapa”, ubicado en el municipio de Tipitapa de la ciudad de Managua, que actualmente necesita una ampliación en la carretera para satisfacer la demanda de tráfico.

Se aplicará el método deductivo, para conocer las generalidades, características y propiedades del concreto hidráulico, que permitirán comprender la metodología de Losas Cortas.

El método de análisis, permitirá procesar la información bibliográfica recopilada para elaborar el marco teórico e interpretar la información de estudios de suelo, tránsito y los resultados del método de diseño aplicado. El método de síntesis, permitirá redactar las conclusiones en cuanto a la selección del espesor óptimo del pavimento.

Uso de programas.

Se programará una Hoja de Cálculo de Excel de AASHTO 98 para determinar el espesor de pavimento. También, se analizará los esfuerzos que actúan sobre el pavimento y se verificará si la estructura propuesta es la adecuada, por medio del programa de elementos finitos NYSLAB

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Se realizó una revisión del informe de geotecnia brindado por el Consorcio Ingennya, con fines de insumo para el diseño de pavimento.

Para evaluar la factibilidad y realizar los diseños para la ampliación del tramo en estudio, para mejorar la ruta y añadir carriles adicionales sobre el derecho de vía de éste, se requirió de la evaluación de las características de los materiales que conforman el camino existente, estos datos se obtuvieron de los Estudios Geotécnicos realizados por el Consorcio Ingennya.

Los Estudios Geotécnicos fueron efectuados a lo largo de la carretera y en los bancos de materiales cercanos a ésta.

Los estudios sobre la carretera incluyen:

- La investigación de la estratigrafía (espesores y propiedades) del pavimento y suelos, hasta 1.5 metros de profundidad.
- La medición de la Capacidad Soporte In Situ del pavimento mediante ensayo con Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) por sus siglas en inglés.

4.1.1. TRABAJOS DE CAMPO

4.1.1.1. Sondeos Manuales

Los 77 sondeos manuales de 1.5 metros de profundidad distribuidos a lo largo de la carretera, se efectuaron en los hombros y en el derecho de vía del tramo con el propósito de obtener información de las características de los materiales de la carretera actual, así como también la de los suelos en donde se construirán las ampliaciones de la misma.

- Los sondeos en el hombro se efectuaron a una distancia de 0.7 m del borde de la calzada y con una frecuencia de 1 ensayo por cada 500 m.
- Los sondeos en el derecho de vía se efectuaron a una distancia de 3.0 m del borde del hombro y con una frecuencia de 1 ensayo por cada 100 m.
- Las dimensiones de los sondeos fueron de 0.3 m de ancho, 0.3 m de largo y 1.5 m de profundidad.

4.1.1.2. Ensayos de Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP por sus siglas en Ingles)

Los ensayos DCP se efectuaron sobre los hombros de la carretera a una distancia de 0.70 m del borde de la calzada y sobre las roderas externas del tráfico a 2.70 m del centro de la carretera, con una frecuencia de un ensayo por cada 250 m, alternándose en los hombros y roderas izquierdas y derechas.

4.1.1.3. Muestreo de Bancos de Materiales

El muestreo de bancos de materiales se efectuó mediante la excavación manual de tres pozos distribuidos en el área explotable del banco. Los pozos se excavaron, en la medida que el material encontrado lo permitía, utilizando dimensiones de 1.5 m x 1.5 m x 3.0 m. A partir de cada pozo se tomaron tres muestras.

Para el proyecto se identificaron cuatro bancos para uso como bancos de préstamos de materiales entre ellos AGRENIC, PROINCO, HOLCIM y El Paraíso.

Uno de los bancos de materiales aprobado como posible sitio de aprovechamiento para el desarrollo de actividades en la ejecución del proyecto, fue el banco de materiales El Paraíso, porque éste tiene una extensión de 13.32 Hectáreas, considerando que se puede realizar un aprovechamiento a un espesor de aproximadamente 4 metros, éste logra suplir el material requerido para la ejecución de obras de relleno en el tramo de estudio.

Los detalles y dimensiones del banco de material El Paraíso se muestran en la Ilustración 8-VIII.

4.1.2. *TRABAJOS DE LABORATORIOS*

A partir de las muestras recolectadas mediante los sondeos en los hombros y el derecho de vía de la carretera, se efectuaron los análisis para caracterizar los materiales encontrados.

- Los ensayos efectuados a las muestras procedentes de los sondeos manuales de la carretera se detallan en la Tabla 7-IX.
- Los ensayos efectuados a las muestras procedentes de los sondeos manuales del banco de préstamo se muestran en la Tabla 8-X.

4.1.3. *RESULTADOS OBTENIDOS*

Las muestras recolectadas a partir de los sondeos manuales en las ampliaciones de la carretera y el banco de material El Paraíso, fueron analizadas mediante:

- Ensayos de Granulometría
- Límites de Atterberg
- Relación densidad – humedad de suelos (ensayo Proctor Estándar y Modificado)
- Relación Soporte de California (CBR).

4.1.3.1. Análisis de resultados de los Estudios Geotécnicos

4.1.3.1.1. Análisis de resultados de Sondeos Manuales

La siguiente Tabla muestra la distribución porcentual de los distintos tipos de suelos del tramo.

Tipos de suelos analizados

CLASIFICACIÓN	Nombre	CALIDAD	AMPLIACIÓN	HOMBRO
A-1-a	Gravas y Arenas, con o sin limos, estos materiales son bien graduados	Buena	8%	48%
A-1-b		Buena	48%	44%
A-2-4	Gravas limosas o arcillosas y Arenas limosas o arcillosas	Buena	20%	8%
A-2-5		Regular	4%	0%
A-2-6		Regular	1%	0%
A-2-7		Regular	5%	0%
A-4	Suelos limosos	Regular	4%	0%
A-5	Suelos limosos	Mala	2%	0%
A-7-5	Suelos arcillosos	Mala	6%	0%
A-7-6		Mala	2%	0%
TOTAL			100 %	100 %

De acuerdo a los resultados se analiza lo siguiente:

- Los resultados de los ensayos realizados, a los materiales recuperados en las calicatas excavadas en los hombros, permiten afirmar que las primeras capas (base y sub-base) del pavimento existente fueron construidas con materiales de excelente calidad. Según los resultados, ambas capas se construyeron con los mismos materiales, dado que se reportaron espesores entre 45 cm y 67 cm con el mismo material A-1-a (0), No Plástico (NP). El material de este grupo comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedras, grava, arena y limos. En uno de los casos se encontró todo el espesor excavado con ese mismo material (145 cm, en la estación 2+000).

- Solamente en un caso (estación 5+500) el espesor de la capa superior fue de 30 cm, sin embargo, en ese caso, el material subyacente a esa capa, de más de 100 cm de espesor, fue también A-1-a, pero más fino.
- En todos los casos, los materiales excavados fueron NP y en todos los casos, salvo en las estaciones 0+500 y 4+000, los materiales subyacentes a la capa superior fueron materiales que clasifican como A-1-a o A-1-b. En los dos casos apuntados, se encontraron materiales A-2-4.

4.1.3.1.2. Análisis de resultados de Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP por sus siglas en Ingles)

Los ensayos de DCP confirmaron no solamente la excelente calidad de los materiales de la estructura del pavimento existente, sino también la buena calidad de la construcción de dichas capas.

- De los 26 ensayos realizados, solamente en 6 casos se logró atravesar la capa superior, hasta una profundidad de 75 cm.
- En todos los casos restantes (20 ensayos) no se logró pasar más allá de 30 cm.
- En 13 ensayos (50% del total) la profundidad ensayada fue menor de 20 cm.

4.1.3.1.3. Análisis de resultados de los suelos correspondientes a las ampliaciones de la carretera La Garita-Tipitapa

Para caracterizar los materiales de las áreas correspondientes a las excavaciones, se excavaron calicatas a 3 m del borde del hombro, cada 100 m.

Los resultados de los ensayos permiten afirmar que en la mayoría de los casos, predominan suelos granulares (A-1 y A-2), siendo en la gran mayoría suelos No Plásticos (NP). Solamente en 10 de las 64 calicatas, se encontraron arcillas (tipo A-7-5 y A-7-6).

Los resultados de ensayos CBR de laboratorio, confirman que los suelos encontrados (en general arenas y limos) tienen buena capacidad soporte para subrasante. Según los valores obtenidos el CBR al 90% es superior a 10%.

4.1.3.2. Análisis de resultados de ensayos realizados a los suelos en el Banco de material El Paraíso.

Los resultados de los ensayos realizados a las muestras de materiales del banco El Paraíso, ubicado en Tipitapa, permiten concluir que:

- Son materiales de buena calidad, clasificados según sistema AASHTO como A-1-a (0).
- Los valores resultantes del CBR al 90% y 95% (densidad máxima AASHTO Modificado), fueron de 30% a 60%.
- En consecuencia, este material califica para ser utilizado como un excelente relleno e incluso como capa de sub-base (siempre que se aplique el grado de compactación necesario para lograr la Capacidad Soporte requerida, $CBR \geq 15$).

Los resultados de las pruebas y ensayos a las muestras de materiales del banco El Paraíso se muestran en la Tablas 9-X a la Tabla 12-XII.

4.1.4. CÁLCULO DEL CBR DE DISEÑO

Según la geometría de la sección transversal a construir, el tramo objeto de estudio se construirá en relleno porque ahora éste será de 4 carriles contruidos en relleno, hasta alcanzar la altura de la superficie de rodamiento existente.

Al revisar las secciones transversales que se muestran en la Ilustración 9-XII a la Ilustración 14-XIV, a lo largo de todo el tramo, se aprecia que los rellenos son de altura variable, llegando en ocasiones a casi 4 metros.

En la Tabla 12-XV y la Tabla 13-XVI, se muestran los espesores de relleno a cada 100 metros, en ambas bandas. De tal manera, que el CBR de diseño será el del material de relleno y éste, será el del banco de material El Paraíso.

Los CBR de las muestras de materiales obtenidas del banco El Paraíso se muestran en la Tabla 14-XVII. Se eligió el CBR igual 37% como CBR de diseño, debido a que este es el valor más crítico de CBR al 95%.

4.1.4.1. Metodología de Secciones Homogéneas aplicada por la “American Association of State Highway and Transportation Officials” (AASHTO)

Se utilizó la Metodología de Secciones Homogéneas aplicada por la “American Association of State Highway and Transportation Officials” (AASHTO), contenido en el apéndice “J” para el Cálculo del CBR de diseño, procediendo de la siguiente manera:

4.1.4.1.1. Elección del estrato con CBR de menor valor al 95 %

De los resultados de las pruebas de campo realizadas por el Consorcio Ingennya como:

- Ensayos de Granulometría
- Límites de Atterberg
- Relación densidad – humedad de suelos (ensayo Proctor Estándar y Modificado)
- Relación Soporte de California (CBR).

Se clasificó el CBR al 95% de la capa de estrato con menor valor de CBR, siendo este valor el más crítico, como lo muestran las Tabla 15-XVIII y la Tabla 16-XIX

4.1.4.1.2. Determinación de las diferencias acumuladas con los CBR y los Módulos de Resilencia

Se realizó una diferencia acumulada con los CBR y los Módulos de Resilencia, con base a las siguientes ecuaciones recomendadas por el Msc. Ing. Gustavo Corredor:

- Para materiales de sub-rasante con CBR igual o menor a 7,2% (Cap. III, p.18)

$$\mathbf{MR = 1,500 * CBR}$$

- Para materiales de sub-rasante con CBR mayor de 7,2% pero menor o igual a 20,0% (Cap. III, p.18)

$$\mathbf{MR = 3,000 * (CBR)^{0.65}}$$

- Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 20,0% (Cap. III, p.18)

$$\mathbf{MR = 4,326 * \ln(CBR) + 241}$$

4.1.4.1.2.1. Cálculo del Módulo de Resilencia en dependencia del CBR

Para fines demostrativos, se presenta el procedimiento para la determinación del Módulo de Resilencia en dependencia del CBR de 1 km del tramo de carretera en estudio, considerando las ecuaciones anteriormente recomendadas, procediendo de la siguiente manera:

Para la **Estación 0+000** el CBR es 20%, por ende la ecuación a utilizar fue la siguiente:

$$MR = 3,000 * (CBR)^{0.65}$$

$$MR = 3,000 * (20)^{0.65} = \mathbf{21,028 \text{ PSI}}$$

Para las **Estaciones 0+100 y 0+200** el CBR es 19% en ambas, por ende la ecuación a utilizar fue la siguiente:

$$MR = 3,000 * (CBR)^{0.65}$$

$$MR=3,000*(19)^{0.65}=\mathbf{20,338 \text{ PSI}}$$

Para la **Estación 0+300** el CBR es 28%, por ende la ecuación a utilizar fue la siguiente:

$$MR = 4,326*\ln(CBR) + 241$$

$$MR = 4,326*\ln(28) + 241= \mathbf{14,656 \text{ PSI}}$$

Para la **Estación 0+400** el CBR es 19%, por ende la ecuación a utilizar fue la siguiente:

$$MR = 3,000 * (CBR)^{0.65}$$

$$MR=3,000*(19)^{0.65}=\mathbf{20,338 \text{ PSI}}$$

Para la **Estación 0+500** el CBR es 15%, por ende la ecuación a utilizar fue la siguiente:

$$MR = 3,000 * (CBR)^{0.65}$$

$$MR=3,000*(15)^{0.65}=\mathbf{17,441 \text{ PSI}}$$

Para la **Estación 0+600** el CBR es 28%, por ende la ecuación a utilizar fue la siguiente:

$$MR = 4,326*\ln(CBR) + 241$$

$$MR = 4,326*\ln(28) + 241= \mathbf{14,656 \text{ PSI}}$$

Para la **Estación 0+700** el CBR es 19%, por ende la ecuación a utilizar fue la siguiente:

$$MR = 3,000 * (CBR)^{0.65}$$

$$MR=3,000*(19)^{0.65}=\mathbf{20,338 \text{ PSI}}$$

Para la **Estación 0+800** el CBR es 37%, por ende la ecuación a utilizar fue la siguiente:

$$MR = 4,326*\ln(CBR) + 241$$

$$MR = 4,326*\ln(37) + 241= \mathbf{15,862 \text{ PSI}}$$

Para la **Estación 0+900** el CBR es 28%, por ende la ecuación a utilizar fue la siguiente:

$$MR = 4,326*\ln(CBR) + 241$$

$$MR = 4,326*\ln(28) + 241= \mathbf{14,656 \text{ PSI}}$$

Para la **Estación 1+000** el CBR es 7%, por ende la ecuación a utilizar fue la siguiente:

$$MR = 1,500* CBR$$

$$MR = 1,500* CBR=1,500*(7)=\mathbf{10,500 \text{ PSI}}$$

Los resultados totales de los cálculos de los módulos de resiliencia del tramo en estudio de 6.30 km, se muestran en las Tabla 17-XX y Tabla 18-XXI.

4.1.4.1.2.2. Cálculo de las diferencias acumuladas para CBR y MR

Se presentan los cálculos de las diferencias acumuladas para CBR Y MR, en 1 Km del tramo de carretera en estudio, con el propósito de demostrar la metodología de procedimiento:

Ecuaciones:

- $D.A_{CBR} = CBR_{ESTACION} - CBR_{PROMEDIO} + D.A_{ANTERIOR}$

- $D.A_{MR} = MR_{ESTACION} - MR_{PROMEDIO} + D.A_{ANTERIOR}$

Dónde:

$D.A_{CBR}$: Diferencia acumulada de CBR

$CBR_{ESTACION}$: Valor de CBR por estación

$CBR_{PROMEDIO}$: Valor total promedio de todos los CBR por estación

$D.A_{ANTERIOR}$: Diferencia acumulada de estación anterior

$D.A_{MR}$: Diferencia acumulada de MR

$MR_{ESTACION}$: Valor de MR por estación

$MR_{PROMEDIO}$: Valor total promedio de todos los MR por estación

$D.A_{ANTERIOR}$: Diferencia acumulada de estación anterior

4.1.4.1.2.2.1. Cálculo de las diferencias acumuladas de CBR.

Estación 0+000

$$D.A_{\text{CBR (0+000)}} = 20 \% - 28.11 \% + 0 \% = \mathbf{-8.11 \%}$$

Estación 0+100

$$D.A_{\text{CBR (0+100)}} = 19 \% - 28.11 \% + (-8.11 \%) = \mathbf{-17.21 \%}$$

Estación 0+200

$$D.A_{\text{CBR (0+200)}} = 19 \% - 28.11 \% + (-17.21 \%) = \mathbf{-26.32 \%}$$

Estación 0+300

$$D.A_{\text{CBR (0+300)}} = 28 \% - 28.11 \% + (-26.32 \%) = \mathbf{-26.43 \%}$$

Estación 0+400

$$D.A_{\text{CBR (0+400)}} = 19 \% - 28.11 \% + (-26.43 \%) = \mathbf{-35.53 \%}$$

Estación 0+500

$$D.A_{\text{CBR (0+500)}} = 15 \% - 28.11 \% + (-35.53 \%) = \mathbf{-48.64 \%}$$

Estación 0+600

$$D.A_{\text{CBR (0+600)}} = 28 \% - 28.11 \% + (-48.64 \%) = \mathbf{-48.74 \%}$$

Estación 0+700

$$D.A_{\text{CBR (0+700)}} = 19 \% - 28.11 \% + (-48.74 \%) = \mathbf{-57.85 \%}$$

Estación 0+800

$$D.A_{\text{CBR (0+800)}} = 37 \% - 28.11 \% + (-57.85 \%) = \mathbf{-48.96 \%}$$

Estación 0+900

$$D.A_{\text{CBR}}(0+900) = 28 \% - 28.11 \% + (-48.96 \%) = \mathbf{-49.06 \%}$$

Estación 1+000

$$D.A_{\text{CBR}}(1+000) = 07 \% - 28.11 \% + (-49.06 \%) = \mathbf{-70.17 \%}$$

Se realizaron los cálculos de la misma manera hasta obtener los resultados de todas las diferencias acumuladas de CBR, para todas las estaciones del tramo en estudio a como lo muestran las tablas de la página 52.

4.1.4.1.2.2.2. Cálculo de las diferencias acumuladas de MR.

Estación 0+000

$$D.A_{\text{MR}}(0+000) = 21,028 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + 0 \text{ PSI} = \mathbf{5,636 \text{ PSI}}$$

Estación 0+100

$$D.A_{\text{MR}}(0+100) = 20,338 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + (5,636 \text{ PSI}) = \mathbf{10,582 \text{ PSI}}$$

Estación 0+200

$$D.A_{\text{MR}}(0+200) = 20,338 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + (10,582 \text{ PSI}) = \mathbf{15,528 \text{ PSI}}$$

Estación 0+300

$$D.A_{\text{MR}}(0+300) = 14,656 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + (15,528 \text{ PSI}) = \mathbf{14,793 \text{ PSI}}$$

Estación 0+400

$$D.A_{\text{MR}}(0+400) = 20,338 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + (14,793 \text{ PSI}) = \mathbf{19,739 \text{ PSI}}$$

Estación 0+500

$$D.A_{\text{MR}}(0+500) = 17,441 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + (19,739 \text{ PSI}) = \mathbf{21,789 \text{ PSI}}$$

Estación 0+600

$$D.A_{MR (0+600)} = 14,656 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + (21,789 \text{ PSI}) = \mathbf{21,054 \text{ PSI}}$$

Estación 0+700

$$D.A_{MR (0+700)} = 20,338 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + (21,054 \text{ PSI}) = \mathbf{26,000 \text{ PSI}}$$

Estación 0+800

$$D.A_{MR (6+300)} = 15,862 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + (26,000 \text{ PSI}) = \mathbf{26,470 \text{ PSI}}$$

Estación 0+900

$$D.A_{MR (0+900)} = 14,656 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + (26,470 \text{ PSI}) = \mathbf{25,735 \text{ PSI}}$$

Estación 1+000

$$D.A_{MR (6+300)} = 10,500 \text{ PSI} - 15,392 \text{ PSI} + (25,735 \text{ PSI}) = \mathbf{20,843 \text{ PSI}}$$

Se realizaron los cálculos de la misma manera hasta obtener los resultados de todas las diferencias acumuladas de MR, para todas las estaciones del tramo en estudio a como lo muestran las tablas de la página 53.

Las siguientes tablas muestran los resultados de las diferencias acumuladas para CBR y MR del tramo de carretera.

Diferencias acumuladas de CBR

Estacion	Dif acumul
0	-8.11
100	-17.21
200	-26.32
300	-26.43
400	-35.53
500	-48.64
600	-48.74
700	-57.85
800	-48.96
900	-49.06
1,000	-70.17
1,100	-40.28
1,200	-18.38
1,300	-4.49
1,400	18.41
1,500	1.30
1,600	25.19
1,700	16.09
1,800	39.98
1,900	53.88
2,000	49.77
2,100	35.66
2,200	13.56
2,300	4.45
2,400	13.34
2,500	2.24
2,600	16.13
2,700	-8.18
2,800	-23.28
2,900	0.61
3,000	-3.49

Estacion	Dif acumul
3,100	5.40
3,200	4.29
3,300	4.19
3,400	13.08
3,500	3.97
3,600	25.87
3,700	48.76
3,800	72.66
3,900	102.55
4,000	108.44
4,100	101.34
4,200	94.23
4,300	93.13
4,400	78.02
4,500	56.91
4,600	86.81
4,700	72.70
4,800	71.59
4,900	48.49
5,000	26.38
5,100	25.28
5,200	48.17
5,300	78.06
5,400	103.96
5,500	92.85
5,600	68.74
5,700	68.64
5,800	46.53
5,900	45.42
6,000	51.32
6,100	29.21
6,200	7.11
6,300	0.00

Diferencias acumuladas de MR

Estacion	Dif Acumul
0	5636
100	10582
200	15528
300	14793
400	19739
500	21789
600	21054
700	26000
800	26470
900	25735
1000	20843
1100	23258
1200	25031
1300	26049
1400	27908
1500	26773
1600	28715
1700	33662
1800	35604
1900	36623
2000	35220
2100	36505
2200	30113
2300	35060
2400	35530
2500	39058
2600	40077
2700	30385
2800	30885
2900	32828
3000	31426

Estacion	Dif Acumul
3100	31896
3200	31003
3300	30267
3400	30737
3500	35684
3600	37457
3700	39315
3800	41258
3900	43672
4000	43777
4100	41797
4200	39817
4300	38924
4400	39424
4500	34533
4600	36947
4700	38232
4800	37339
4900	29448
5000	23056
5100	22163
5200	24022
5300	26437
5400	28542
5500	32070
5600	22679
5700	21943
5800	15551
5900	14658
6000	14763
6100	8371
6200	1980
6300	0

Los resultados de las diferencias acumuladas se graficaron en el plano cartesiano obteniendo así puntos mínimos y máximos los cuales se unen para formar secciones homogéneas.

Posteriormente, para el cálculo del CBR de diseño y Modulo de Resilencia de diseño, se dividió la longitud del tramo en secciones razonablemente uniformes, siendo subdividido en 7 secciones homogéneas, como se muestra en las Gráfica 3-XXII a Gráfica 6-XXIII.

Se eligió la última sección del tramo para CBR de diseño, ya que presentaba los valores más bajos para Módulo de Resilencia y CBR al 95%, siendo el promedio de 12,220 lbs/plg² y 17 respectivamente.

Estos resultados son meramente para investigar la resistencia del suelo existente en el tramo, pero el CBR de diseño será el del material de relleno del banco de material El Paraíso, éste es de 37% a como se mencionó anteriormente.

4.2. ESTUDIOS DE TRÁFICO

4.2.1. CONTEOS VOLUMÉTRICOS DE TRÁFICO

4.2.1.1. Volúmenes de tráfico y clasificación vehicular

La metodología del Consultor (Consortio Ingennya Ecuador, S.A) para la determinación de los volúmenes de tráfico se basó, fundamentalmente en la realización de aforos de tránsito y su clasificación vehicular en el tramo en estudio.

El Consultor ubicó dos estaciones de conteo volumétrico para realizar los aforos, donde se muestrearon días medios (martes), fin de semana (sábado y domingo) y días altos (lunes y viernes), durante 12 horas continuas entre las 6:00am y 6:00pm. La ubicación de las estaciones de conteo volumétricos de tráfico se presenta en la Tabla 19-XXIV

La clasificación vehicular en las estaciones de aforo, ver Tabla 20-XXIV, comprendió:

- *Vehículos livianos:* Son vehículos automotores de cuatro ruedas. (Automóviles, camionetas, Jeep).
- *Vehículos de pasajeros:* Son vehículos destinados al transporte público de pasajeros, tienen cuatro, seis o más ruedas. Se incluyen los microbuses pequeños (hasta 15 Pasajeros), microbuses medianos (hasta 25 pasajeros) y los buses medianos y grandes.
- *Vehículos de carga:* Son vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores o iguales a tres toneladas, tienen seis o más ruedas en dos, tres, cuatro, ocho y más ejes. Estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2) mayores o iguales de tres toneladas, los camiones de tres ejes (C3), los camiones combinados con remolque del tipo (CxRx) y los vehículos articulados de ocho y seis ejes de los tipos (TxSx). La clasificación de los vehículos de carga de acuerdo al diagrama de cargas permisibles del MTI se encuentra en la Tabla 21-XXV
- *Vehículos pesados:* Son los vehículos de construcción y los vehículos agrícolas.
- *Otros:* Son los vehículos livianos con un tráiler y los de tracción animal.

4.2.1.2. Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual

El consultor utilizó el siguiente procedimiento para el cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), con base a los datos recopilados de los aforos de campo, el cual se realizó la verificación del mismo.

4.2.1.2.1. Cálculo de Tránsito Promedio Diurno de 12 horas

Los volúmenes de Tránsito Promedio Diurno en los tramos de carretera, se obtuvieron de la información de los aforos de 12 horas para los cinco días de conteo de las estaciones N° 1 y 2, localizadas sobre el tramo. Ver Tabla 22-XXVI y Tabla 23-XXVI

- Para Motos

Estación Número 1

$$TPD_{12 \text{ horas}} = 596 \text{ vehículos por 12 horas}$$

Estación Número 2

$$TPD_{12 \text{ horas}} = 597 \text{ vehículos por 12 horas}$$

- Para Vehículos Livianos

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Automóvil. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos livianos.

Estación Número 1

$$TPD_{12 \text{ horas}} = 1,481 \text{ vehículos por 12 horas}$$

Estación Número 2

$$TPD_{12 \text{ horas}} = 1,551 \text{ vehículos por 12 horas}$$

- Para Vehículos Pesados de Pasajeros

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Bus. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de pasajeros.

Estación Número 1

$$\text{TPD}_{12 \text{ horas}} = 382 \text{ vehículos por 12 horas}$$

Estación Número 2

$$\text{TPD}_{12 \text{ horas}} = 348 \text{ vehículos por 12 horas}$$

- Para Vehículos Pesados de Carga

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el C2>5Ton. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de carga.

Estación Número 1

$$\text{TPD}_{12 \text{ horas}} = 523 \text{ vehículos por 12 horas}$$

Estación Número 2

$$\text{TPD}_{12 \text{ horas}} = 543 \text{ vehículos por 12 horas}$$

- Para Vehículos Pesados

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Vehículo de Construcción. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados.

Estación Número 1

$$\text{TPD}_{12 \text{ horas}} = 5 \text{ vehículos por 12 horas}$$

Estación Número 2

$$\text{TPD}_{12 \text{ horas}} = 3 \text{ vehículos por 12 horas}$$

4.2.1.2.2. Cálculo de Expansión de Tránsito Promedio Diurno a Tránsito Promedio Diario Anual

Los volúmenes de Tránsito Promedio Diurno de doce horas se expandieron a Tránsito Promedio Diario de veinticuatro horas, para lo cual se utilizó el Factor Día, correspondiente al tercer cuatrimestre de la Estación de Mayor Cobertura (EMC) 101 B “Zona Franca – La Garita” del Anuario de Tráfico 2013 del MTI (p. 211) para los puntos de conteo volumétrico del tramo en estudio. Ver Tabla 24-XXVII

$$TPD_{24 \text{ horas}} = TPD_{12 \text{ horas}} * FD$$

- Para Motos

Estación Número 1

$$TPD_{24 \text{ horas}} = 596 * 1.22 = 727 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPD_{24 \text{ horas}} = 597 * 1.22 = 729 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Livianos

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Automóvil. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos livianos.

Estación Número 1

$$TPD_{24 \text{ horas}} = 1481 * 1.33 = 1,969 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPD_{24 \text{ horas}} = 1551 * 1.33 = 2,063 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados de Pasajeros

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Bus. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de pasajeros.

Estación Número 1

$$\text{TPD}_{24 \text{ horas}} = 382 * 1.20 = 458 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$\text{TPD}_{24 \text{ horas}} = 348 * 1.20 = 418 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados de Carga

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el C2>5Ton. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de carga.

Estación Número 1

$$\text{TPD}_{24 \text{ horas}} = 523 * 1.37 = 717 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$\text{TPD}_{24 \text{ horas}} = 543 * 1.37 = 744 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Vehículo de Construcción. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados.

Estación Número 1

$$\text{TPD}_{24 \text{ horas}} = 5 * 1.00 = 5 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$\text{TPD}_{24 \text{ horas}} = 3 * 1.00 = 3 \text{ vehículos por día}$$

Los resultados de cada estación se presentan en la Tabla 25-XXVII y Tabla 26-XXVII

Posteriormente, se calculó el Tránsito Promedio Diario Semanal utilizando el Factor Semana o Factor Fin de semana en dependencia de los días.

$$TPDS = TPD_{24 \text{ horas}} * FS \text{ ó } FFS$$

$$TPDS = \frac{(TPD_{24 \text{ horas}} \text{ día laborales} * FS) + (TPD_{24 \text{ horas}} \text{ fin de semana} * FFS)}{2}$$

- Para Motos

Estación Número 1

$$TPDS = \frac{(788 * 0.93) + (637 * 1.23)}{2} = 758 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPDS = 723 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Livianos

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Automóvil. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos livianos.

Estación Número 1

$$TPDS = \frac{(2204 * 0.97) + (1618 * 1.09)}{2} = 1,951 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPDS = 2000 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados de Pasajeros

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Bus. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de pasajeros.

Estación Número 1

$$TPDS = \frac{(500 * 0.93)+(396*1.22)}{2} = 474 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPDS = 423 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados de Carga

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el C2>5Ton. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de carga.

Estación Número 1

$$TPDS = \frac{(816 * 0.87)+(569*1.58)}{2} = 804 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPDS = 761 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Vehículo de Construcción. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados.

Estación Número 1

$$TPDS = \frac{(7 * 1.00)+(3 *1.00)}{2} = 5 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPDS = 3 \text{ vehículos por día}$$

Luego, se calculó el Tránsito Promedio Diario Anual utilizando el Factor Expansión a Tránsito Promedio Diario Anual de la siguiente forma:

$$TPDA = TPDS * \text{Factor Expansión a TPDA}$$

- Para Motos

Estación Número 1

$$TPDA = 758 * 0.93 = 705 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPDA = 723 * 0.93 = 672 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Livianos

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Automóvil. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos livianos.

Estación Número 1

$$TPDA = 1951 * 1.01 = 1,970 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPDA = 2000 * 1.01 = 2,020 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados de Pasajeros

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Bus. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de pasajeros.

Estación Número 1

$$TPDA = 474 * 0.96 = 455 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPDA = 423 * 0.96 = 406 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados de Carga

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el C2>5Ton. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de carga.

Estación Número 1

$$TPDA = 804 * 0.98 = 788 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPDA = 761 * 0.98 = 746 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Vehículo de Construcción. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados.

Estación Número 1

$$TPDA = 5 * 1.00 = 5 \text{ vehículos por día}$$

Estación Número 2

$$TPDA = 3 * 1.00 = 3 \text{ vehículos por día}$$

Los resultados de cada estación se presentan en la Tabla 27-XXVIII y Tabla 28-XXVIII

Finalmente, se realizó un promedio de ambas estaciones de conteo, para obtener el Tránsito Promedio Diario Anual promedio del tramo de carretera, equivalente a 8,420 vehículos por día. El resultado se presenta en la Tabla 29-XXIX

$$TPDA = \frac{TPDA \text{ no. } 1 + TPDA \text{ no. } 2}{2}$$

- Para Motos

$$TPDA = 688 \text{ vehículos por día}$$

- Para Vehículos Livianos

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Automóvil. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos livianos.

TPDA = 1,995 vehículos por día

- Para Vehículos Pesados de Pasajeros

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Bus. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de pasajeros.

TPDA = 431 vehículos por día

- Para Vehículos Pesados de Carga

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el C2>5Ton. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de carga.

TPDA = 767 vehículos por día

- Para Vehículos Pesados

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Vehículo de Construcción. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados.

TPDA = 4 vehículos por día

4.2.1.2.3. Clasificación de la Carretera “La Garita – Tipitapa”

De acuerdo al Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2001, p.2-1), “La clasificación es el proceso por medio del cual las calles y carreteras son organizadas dentro de un sistema funcional, de acuerdo con el carácter de servicio que prestan y que ayuda a seleccionar los factores apropiados de tránsito y otras variables que sean necesarias”.

Con respecto al Tránsito Promedio Diario Anual inicial de 8,420 vehículos por día, la clasificación funcional de la carretera “La Garita – Tipitapa” con dos carriles de circulación, conforme el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), será **Troncal Suburbana**. Según se muestra en la Tabla 30-XXIX

4.2.2. ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO

El Consultor realizó 2,065 encuestas O/D sobre el tramo en estudio, para conocer las características de los vehículos que transitan sobre la carretera, así como de estimar las cantidades de vehículos que circularán por el tramo, en caso de que dicha carretera se convirtiera en una nueva alternativa de viaje, en la situación con proyecto ejecutado. En la Tabla 31-XXIX se presentan las cantidades de encuesta obtenidas y clasificadas por tipo de vehículo.

En las Tablas 32-XXX y 33-XXX se presentan las matrices O/D de todos los viajes y su porcentaje. La ruta O/D que genera la mayor cantidad de viajes es Managua – Managua, con el 39.27% del total de encuestados.

Se analizó los resultados de las encuestas O/D tomando en consideración la construcción de la carretera Zona Franca – Sabana Grande – Proinco – Tip Top (ZF-SG-P-TT), ver Ilustración 15-XXXI

Este análisis indicó, que si se construyera esta carretera (ZF-SG-P-TT) los flujos de tránsito que transitan desde Managua hacia el sur del país y viceversa en la carretera en estudio, se podrán desviar hacia la nueva carretera ZF-SG-P-TT, evitando la pasada por Tipitapa, ver Ilustración 16-XXXI

En la Tabla 34-XXXI se presentan los potenciales usuarios actuales en base a sus orígenes y destinos. Los viajes que pueden ser desviados desde el tramo en estudio hacia la carretera ZF-SG-P-TT fueron 362, del total de las encuestas realizadas (2065). Esto equivale al 17.53% del total.

4.2.3. PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL

4.2.3.1. Correlaciones de variables

Se realizó correlaciones de variables para estimar la proyección del tránsito normal, siendo éstas: Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de las EMC, con las variables socioeconómicas Producto Interno Bruto (PIB), la Población de los Municipios del área de influencia del proyecto, así como también se comprobó la correlación del consumo histórico de combustibles (gasolinas y diésel) y el parque automotor del país.

Para este fin, se usó del modelo estadístico de Regresión Lineal de los mínimos cuadrados, donde la correlación entre las variables fue comprobada mediante el grado de relación que define el índice de correlación R^2 , al cumplir la condición $R^2 \geq 0.75$.

Si se cumple la condición antes referida, se considera que existe correlación y con la generación de la ecuación de correlación, se utilizó el coeficiente de la ecuación de la recta $Y = ax + b$; donde “a” corresponde a la pendiente de la recta, que a su vez es la elasticidad de la demanda. Las elasticidades de las variables se presentan en las Gráficas 7-XXXII a 11-XXXIII

La correlación de variables similares entre sí, se realizaron con el objetivo de establecer la tendencia de crecimiento que pueda tener este tipo de tránsito y así, calcular las tasas de crecimiento. Los resultados de las correlaciones se muestran en las Gráficas 12-XXXIII a 14-XXXIII

4.2.3.2. Cálculo de la Tasa de Crecimiento para la Proyección de Tránsito

Las correlaciones realizadas involucraron todas las variables socioeconómicas relevantes para el proyecto, se destacaron tres resultados que proyectaron una relación consistente entre las variables mencionadas, que se utilizó para determinar las tasas de crecimiento para la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual en el tramo en estudio.

Para las proyecciones de los vehículos livianos, se tomó en consideración los resultados de la correlación de las variables PIB y TPDA Liviano EMC 101B. Los resultados se presentan en la siguiente Tabla:

Liviano					
Correlación	R2	Elasticidad	Periodo	% Crecimiento Población	% Crecimiento Proyectado
TPDA liviano EMC 101B - PIB	0.9765	1.352	2014-2015	3.5	4.73
			2016-2030	3.5	4.73
			2031-2037	3.75	5.07

Para las proyecciones de los vehículos de transporte de pasajeros, se tomó en cuenta la correlación de la Población de Managua con el TPDA de la EMC 101B. Las tasas de crecimiento para los vehículos de transporte de pasajeros durante el período de operación del proyecto se presentan en la siguiente Tabla:

Pasajeros					
Correlación	R2	Elasticidad	Periodo	% Crecimiento Población	% Crecimiento Proyectado
Población - TPDA EMC 101B	0.9883	9.808	2014-2015	0.5	4.90
			2016-2020	0.3	2.94
			2021-2030	0.3	2.94
			2031-2037	0.3	2.94

Para las proyecciones de los vehículos de carga, se tomó en cuenta la correlación de las variables PIB y TPDA EMC 101B. Los resultados se muestran en la siguiente Tabla:

Carga					
Correlación	R2	Elasticidad	Periodo	% Crecimiento PIB Proyectado	% Crecimiento Proyectado
PIB - TPDA EMC 101B	0.985	1.365	2014-2015	3.5	4.78
			2016-2030	3.5	4.78
			2031-2037	3.75	5.12

4.2.3.3. Cálculo de la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Normal

El período de vida útil del proyecto (según los Términos de Referencia) de 20 años, se estableció entre los años 2018 y 2037. El período de 2015 al 2017, es el que se estimó para financiamiento y construcción del mismo.

Para la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Normal, se utilizó la siguiente ecuación con las Tasas de Crecimiento anteriormente referidas, que varían por período de tiempo y tipo de vehículos.

$$TPDA_{1+n} = TPDA_{n0} * \left(1 + \frac{\%Tasa\ de\ Crecimiento\ Anual}{100} \right)$$

- Para Vehículos Livianos

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Automóvil. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos livianos.

$$TPDA_{2037} = 688 * \left(1 + \frac{4.73\% \text{ ó } 5.07\%}{100} \right) = 2,060 \text{ Vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados de Pasajeros

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el Bus. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de pasajeros.

$$TPDA_{2037} = 431 * \left(1 + \frac{4.90\% \text{ ó } 2.94\%}{100} \right) = 872 \text{ Vehículos por día}$$

- Para Vehículos Pesados de Carga

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el C2>5Ton. De igual forma, se calculó para el resto de vehículos pesados de carga.

$$TPDA_{2037} = 767 * \left(1 + \frac{4.78\% \text{ ó } 5.12\%}{100} \right) = 2,318 \text{ Vehículos por día}$$

Los resultados de la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Normal, en los 20 años de vida útil del proyecto, se presentan en la Tabla 35-XXXIV

En el último año de operación (año 2037), resultó un total de 24,687 vehículos mixtos por día.

4.2.3.4. Cálculo de la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Desarrollado

El tránsito desarrollado tiene su sustento en las proyecciones de crecimiento de la producción como consecuencia de la ejecución del proyecto. En este contexto se generaran viajes para poder movilizar la carga excedente por dicho crecimiento.

A partir de las proyecciones de producción total en la situación sin/con proyecto y su diferencial, a como se refleja en la Tabla 36-XXXV, se analizó los tipos de vehículos de carga presentes en el tramo y su porcentaje de participación, quienes serán los que moverán esa carga. Al mismo tiempo, se eligió el nivel de ocupación de los mismos al 50%, de acuerdo a los resultados de la encuestas O/D. Tabla 37-XXXV

Para el cálculo del tránsito desarrollado se utilizó la siguiente ecuación:

$$TPDA_{\text{Desarrollado}} = \frac{\text{Producción Exced./día} * \% \text{ de Participación} * \text{Índice de Ocupación}}{\text{Carga Permisible por tipo de vehículo}}$$

- Para Vehículos Pesados de Carga

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el C2>5Ton. Asimismo, se calculó para el resto de vehículos pesados de carga por cada año.

$$TPDA_{2037} = \frac{312.0241925 * 37.36\% * 50\%}{15 \text{ Ton}} = 3.88 \approx 4 \text{ Vehículos por día}$$

Los resultados de la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Desarrollado, en los 20 años de vida útil del proyecto, se presentan en la Tabla 38-XXXVI. En el último año de operación (año 2037), resultó un total de 15 vehículos mixtos por día.

4.2.3.5. Cálculo de la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Desviado

Considerando la construcción de la carretera Zona Franca – Sabana Grande – Proinco – TipTop, existe un volumen de tránsito que puede ser desviado desde el tramo en estudio hacia la futura carretera.

El porcentaje de tránsito desviado es del **17.53%** del tránsito normal calculado del tramo, sin incluir vehículos de transporte colectivo ya que la modalidad y tránsito de este tipo de vehículos tiene otras dependencias.

La siguiente ecuación se realizó para calcular la Proyección del Tránsito Promedio Anual Desviado:

$$TPDA_{\text{Desviado}} = TPDA_{\text{Normal}} * \frac{\% \text{ de Desviación}}{100}$$

- Para Vehículos Pesados de Carga

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el C2>5Ton. De igual forma, se calculó para el resto de tipo de vehículos.

$$TPDA_{2037} = 2,318 \text{ Vehículos por día} * \frac{17.53 \%}{100} = 407 \text{ Vehículos por día}$$

Los resultados de la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Desviado, en los 20 años de vida útil del proyecto, se muestran en la Tabla 39-XXXVII.

En el último año de operación (año 2037), resultó un total de 4,061 vehículos mixtos por día.

4.2.3.6. Cálculo de la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual

La siguiente ecuación se utilizó para el cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual Total:

$$TPDA_{Total} = TPDA_{Normal} + TPDA_{Desarrollado} - TPDA_{Desviado}$$

- Para Vehículos Pesados de Carga

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el C2>5Ton. De igual forma, se calculó para el resto de tipo de vehículos.

$$TPDA_{Total} = TPDA_{Normal} + TPDA_{Desarrollado} - TPDA_{Desviado}$$

$$TPDA_{2037} = 2,318 \text{ Veh/día} + 4 \text{ Veh/día} - 407 \text{ Veh/día} = 1,915 \text{ Veh/día}$$

Los resultados de la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Total, en los 20 años de vida útil del proyecto, se muestran en la Tabla 40-XXXVIII.

En el último año de operación (año 2037), resultó un total de 20,641 vehículos mixtos por día.

El total de vehículos mixtos por día, en los 20 años de vida útil del proyecto, resultó de 272,953 vehículos por día.

4.3. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO MECÁNICO EMPÍRICO

4.3.1. *DISEÑAR EL ESPESOR DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO AASHTO VERSIÓN 1998*

4.3.1.1. Variables de entrada requeridas

4.3.1.1.1. Período de diseño

El período de diseño que se elija afecta el diseño de espesores, puesto que determina cuantos años y consecuentemente cuanto tráfico podrá circular sobre el pavimento. La selección en este diseño será de **20 años** de período de diseño.

4.3.1.1.2. Módulo de Reacción de la Subrasante (k)

El CBR de diseño se calculó en la sección 4.1.4 de este documento resultando un valor de 37, este dato se interceptó con la línea Valor Medio, proyectándolo con la ordenada correspondiente al K-Valor de la Gráfica 1-IV, resultando **376.60 lb/plg³**. Sin embargo, los valores K obtenidos del tipo de suelo o métodos de correlación de pruebas pueden necesitar ser ajustados para terraplén por encima de la sub base o una capa rígida superficial bajo la sub base.

4.3.1.1.3. Módulo de Reacción (K) Combinado

El K-valor de la subrasante natural es 376.60 lb/plg³, se ingresó este valor en la Gráfica 2-IV para encontrar el valor de K ajustado, considerando los siguientes valores:

- La capa rígida se encuentra a más de 10 pies (en este documento no se realizó un estudio de la profundidad de la fundación rígida o roca sana debajo de la subrasante)
- El terraplén es de 6.56 pies
- Densidad es 90.46 lb/pie³

El valor de **K ajustado es de 153.33 lb/plg³**.

4.3.1.1.4. Cálculo del Tránsito en el carril de diseño

La Tabla 41-XXXIX nos indica la Proyección del Tránsito Promedio Anual (TPDA) al final del período de operación (2037) correspondiente a un total de **250,178 vehículos por día**, sin tomar en cuenta la información del tráfico de motos debido a que su carga sobre la estructura de pavimento tiene un efecto casi despreciable. En este método se consideran a los vehículos 100% cargados.

El tránsito anual acumulado en nuestro período de diseño es la suma de los datos del año base 2018 a 2037 (período de operación) multiplicado por 365 días/año, valor correspondiente a **91, 314,970 vehículos por año**. Tabla 44-XL

4.3.1.1.4.1. Factores influyentes en el cálculo del tránsito en el carril de diseño

4.3.1.1.4.1.1. *Factor Direccional*

El Factor Direccional para la vía en estudio se le asignó el valor de **0.45**, considerando este valor por el tipo de vía de 4 carriles con sentido de circulación opuesto. A como se presenta en la Tabla 42-XL

4.3.1.1.4.1.2. *Factor Carril*

El Factor Carril para este tipo de vía es de **0.90**, debido a que posee 2 carriles por dirección. En la Tabla 43-XL se presentan las diferentes condiciones.

4.3.1.1.4.2. Determinación del tránsito en el carril de diseño

Para el cálculo del tránsito en el carril de diseño se hace uso de la siguiente ecuación expresada en la Guía de diseño de estructuras para pavimentos, AASHTO 93:

$$W_{18} = w_{18} * 365 \text{ días/año} * D_d * D_L$$

- Para Vehículos Pesados de Carga

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el C2>5Ton. De igual forma, se calculó para el resto de tipo de vehículos.

$$W_{18} = w_{18} * 365 \text{ días/año} * D_d * D_L$$

$$W_{18 - C2} = 24,985 \text{ Veh/día} * 365 \text{ días/año} * 0.45 * 0.90 = 3,693,409 \text{ Veh/año}$$

Los resultados del Tránsito en el carril de diseño se presentan en la Tabla 44-XL, resultando un total de **36,982,574 vehículos mixtos al año**, en los 20 años de vida útil del proyecto.

4.3.1.1.4.3. Cálculo del Eje Equivalente de Carga de 18 Kips ó ESAL'S en el carril de diseño

La configuración de eje y la carga permisible para cada tipo de vehículo, son datos necesarios para encontrar los factores equivalentes de carga para los mismos. La carga permisible de los ejes de los vehículos en el tramo de estudio, se basó de la siguiente forma:

- Para los vehículos livianos y pasajeros: Se usó los valores que nos proporcionó el departamento de Pesos y Dimensiones del MTI.
- Para los vehículos de carga: Se utilizó el diagrama de carga permisibles aprobado por el MTI. Ver Tabla 45-XLI
- Para los vehículos pesados: Se usó la configuración de eje del tipo de vehículo de carga T3S2, dato recomendado por el departamento del MTI antes referido.

Los Factores Equivalentes de Carga (F.E.C) se calcularon por medio de iteraciones con base a las Tablas 46-XLII, 47-XLIII y 48-XLIV, según el apéndice D de la Guía de Diseño para Pavimentos AASHTO 1993, para ejes simples, tándem y tridem, respectivamente, considerando una Serviciabilidad Final (Pt) de 2.5 y espesor inicial de losa (D) de 7 pulgadas.

Para fines demostrativos, se eligió como ejemplo el peso por eje simple de 2 Toneladas. De igual forma, se calculó para el resto de carga por eje para los tipos de vehículos presentes en la vía en estudio.

N°	PARA CARGA EN EL EJE DE: (TON)	PARA CARGA EN EL EJE DE: (KIPS)	CARGA TABLA AASHTO 93 (KIPS)	F.E.C. TABLA AASHTO 93	F.E.C. REQUERIDO
1	2.00	4.40	4	0.0020	0.0038
			6	0.0110	

$$F.E.C_{\text{Requerido}} = \frac{4.40 - 6}{\frac{4 - 6}{0.0020 - 0.0110}} = 0.0038$$

Las iteraciones para cada carga de eje simple se muestran en la Tabla 49-XLV; para el eje tándem se muestran en la Tabla 50-XLV y para el eje tridem no se requirió de iteraciones puesto que la carga de eje requerida se obtuvo directamente de la Tabla 48-XLIV. Los Factores Equivalentes de Carga totales para cada tipo de vehículo para la vía en estudio, se muestran en la Tabla 51-XLVI.

El cálculo del número de Ejes Equivalentes de Carga de 18 Kips o ESAL's, se realizó multiplicando el tránsito de diseño para cada tipo de vehículo y su factor equivalente de carga correspondiente, de la siguiente manera:

$$ESAL'S_{C2} = W_{18-C2} * F.E.C$$

$$ESAL'S_{C2} = 3,693,409 \text{ Veh/año} * 2.3390 = 8,638,884 \text{ No de Ejes Equivalentes de Carga}$$

Los ESAL'S de diseño es la suma de los ESAL'S de cada tipo de vehículo, entonces para la carretera en estudio resultó un valor total de **24, 179,700 número de ejes equivalentes de carga de 18 Kips**. A como se presenta en la Tabla 52-XLVII.

4.3.1.1.5. Serviciabilidad

Como se trata de un pavimento rígido se tomará un **Índice de Serviabilidad inicial de 4.5** por recomendaciones de la AASHTO y un **Índice de Serviabilidad final de 2.5** ya que de acuerdo a la clasificación funcional de carreteras del Ministerio de Transporte e infraestructura es una Troncal Principal o Troncal Suburbana.

4.3.1.1.6. Módulo de Ruptura del Concreto (Mr)

La carretera en estudio se clasificó como Carretera, de tal forma que se escogió un Módulo de Rotura (MR) de **48 kg/cm² o 682.7 PSI** por la clasificación correspondiente al tipo de vía, como lo muestra la Tabla 53-XLVII.

4.3.1.1.7. Módulo Elástico del Concreto (Ec)

En el presente documento se usó la primer formula recomendada por la Asociación Americana de Pavimento de Concreto (ACPA), siendo la que se utiliza comúnmente en Nicaragua.

$$E_c = 6,750 * MR = 6,750 * (682.7 \text{ PSI}) = \mathbf{4,608,225 \text{ PSI}}$$

Al ingresar el valor del MR=682.7 PSI en la primera fórmula, resulta un **Módulo Elástico del Concreto de 4, 608,225 PSI**

4.3.1.1.8. Módulo de Poisson (μ)

En la mayoría de los materiales tratados con cemento, su valor varía entre 0.10 y 0.20, a como se muestra en la Tabla 54-XLVIII. Para el caso de concreto de características normales se recomienda emplear un valor de **0.15**, éste valor se tomó para el tramo en estudio.

4.3.1.1.9. Módulo Elástico (Eb) y Coeficiente de Fricción de la Base

La Guía AASHTO 98, en la Tabla 14 muestra los módulos elásticos y coeficientes de fricción para los diferentes tipos de bases (p. 21).

La base del tramo en estudio será estabilizada con cemento para prevenir el efecto de erosión por bombeo de finos. Este es el movimiento del agua (con material en suspensión) ubicada debajo de la losa o su eyección hacia la superficie como resultado de la presión generada por la acción de las cargas.

Por lo tanto, en la Tabla 55-XLVIII Fila N°6, muestra la ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad siendo la siguiente:

$$E_b = (500 \text{ Psi} + CS) * 1000$$

Donde:

E_b = Módulo de Elasticidad de la Base (Psi)

CS = Resistencia a la Compresión (Psi)

Para el tramo en estudio se utilizó 25 Kg/cm³ o 355 Psi, valor comúnmente utilizado para proyectos viales en Nicaragua en los últimos 10 años, según el departamento de Inventario de Proyectos del Ministerios de Transporte e Infraestructura.

$$E_b = (500 \text{ Psi} + 355 \text{ Psi}) * 1000$$

$E_b = 855,000 \text{ Psi}$

El módulo elástico de la base estabilizada con cemento es **855,000 Psi**

Asimismo, en la Tabla 55-XLVIII Fila N°6, se muestra los valores de coeficientes de fricción para los diferentes tipos de bases. En este caso, es una base estabilizada con cemento, por lo tanto, el valor correspondiente del coeficiente de fricción medio es **34.0**

4.3.1.1.10. Confiabilidad (R)

Los niveles de confiabilidad R pueden ser en relación al tipo de carretera que se trate y del tránsito esperado en el carril de diseño en millones de ejes equivalentes.

El tipo de carretera en estudio, según su funcionabilidad corresponde a **Troncal Suburbana**, por lo que la Tabla 56-XLVIII indica que el valor de confiabilidad se encuentra en un rango de 80 a 99%. Por consiguiente, se eligió un valor intermedio de **R igual a 90%**.

Por otro lado, el tránsito esperado en el carril de diseño en millones de ejes equivalentes permanece en el rango de 15 a 30 millones de ejes, de tal forma que el rango de confiabilidad se encuentra entre 60 a 70%, a como se muestra en la Tabla 57-XLIX. De manera que, se seleccionó un valor de **R igual a 70%**.

Por lo antes referido, el valor de confiabilidad para el diseño de la carretera en estudio es de **90%**, debido a que es el mayor valor. De tal forma que, hay mayor probabilidad que la estructura de pavimento diseñada, se desempeñe satisfactoriamente para las cargas de tráfico en el período de diseño.

4.3.1.1.11. Desviación Normal Estándar (Z_r)

El valor de la desviación normal estándar **Z_r es de 1.282**, considerando el valor de confiabilidad $R=90\%$. Tomando en cuenta, la Tabla 58-XLIX.

4.3.1.1.12. Error Estándar Combinado (S_o)

El valor de S_o para este caso, es de **0.35**, debido a que se tomó en cuenta las consideraciones establecidas por el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos dados en la Tabla 59-L.

4.3.1.1.13. Variables climáticas

En el municipio de Tipitapa del Departamento de Managua, la velocidad del viento (WIND) corresponde a **7.46 mph**, con una temperatura promedio media anual (TEMP) de **81.05 °F** y una precipitación media anual (PRECIP) de **41.34 pulgadas**.

4.3.1.1.14. Espaciamiento de Juntas (L)

Para el caso en estudio, se dividió cada carril en tres partes iguales quedando así una separación de losa de **3.96 pies (1.20 metros)**.

4.3.1.1.15. Espesor de la base (Hb)

El rango de espesor de la Sub Base o Base generalmente varía de 6 a 8 plg. La plataforma de apoyo (Sub Base o Base) será estabilizada con cemento para prevenir el efecto de erosión por bombeo de finos. Se eligió un Espesor de Base de **8 pulgadas** equivalentes a 20.30 cm.

4.3.1.2. Resumen de variables de entrada AASHTO versión 1998

La siguiente Tabla, presenta un resumen de todas las variables requeridas para el diseño.

VARIABLES DE ENTRADA REQUERIDA	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Espesor de Losa	D	A determinar	Plg
Módulo de Reacción de la Subrasante	K	153.33	Psi/Plg
Ejes Equivales Simples de Carga	Wt18	24,179,700.00	-
Índice de Serviciabilidad Inicial	P1	4.50	-
Índice de Serviciabilidad Final	P2	2.50	-
Módulo de Ruptura del Concreto	Mr	682.70	Psi
Módulo de Elasticidad del Concreto	Ec	4,608,225.00	Psi
Módulo de Poisson	μ	0.15	-
Módulo de la Elasticidad de la Base	Eb	855,000.00	Psi
Coefficiente de Fricción de la Base	f	34.00	-
Confiabilidad	R	90.00	%
Erros Estándar Combinado	So	0.35	-
Velocidad Anual del Viento	WIND	7.46	Mph
Temperatura Anual	TEMP	81.05	°F
Precipitación Anual	PRECIP	41.34	Plg
Espaciamiento de Juntas	L	3.96	Pies
Espesor de Base	Hb	8.00	Plg

4.3.1.3. Resultados de diseño AASHTO versión 1998

La siguiente Ilustración muestra los resultados de diseño de la Hoja de Cálculo de Excel basada en la guía suplementaria AASHTO 98, obteniendo los siguientes valores:

- Un espesor de losa de concreto de 10.78 pulgadas equivalentes a 27.38 cm
- Un espesor de base granular estabilizada con cemento de 8 pulgadas equivalentes a 20.30 cm

Por lo tanto, se realizará la optimización del espesor de la losa mediante un análisis estructural con el programa de elementos finitos NYSLAB.

Rigid Pavement Design - Based on AASHTO Supplemental Guide

Serviceability
Initial Serviceability, F1: 4.5
Terminal Serviceability, F2: 2.5

PCC Properties
8-day Mean Modulus of Rupture, (S_r): 683 psi
Elastic Modulus of Slab, E_s: 4,608,225 psi
Poisson's Ratio for Concrete, m: 0.15

Base Properties
Elastic Modulus of Base, E_b: 855,000 psi
Design Thickness of Base, H_b: 8.0 in
Slab-Base Friction Factor, f: 34.0

Reliability and Standard Deviation
Reliability Level (R): 90.0 %
Overall Standard Deviation, S_x: 0.35

Climatic Properties
Mean Annual Wind Speed, WIND: 7.5 mph
Mean Annual Air Temperature, TEMP: 81.1 °F
Mean Annual Precipitation, PRECIP: 41.3 in

Subgrade k-Value
Calculate Seasonal k-Value: 153 psif/in

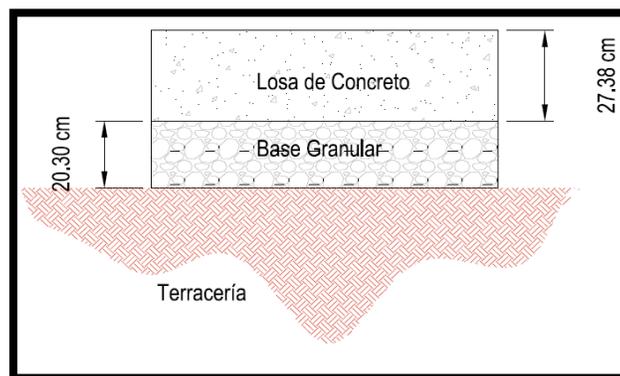
Design ESALs
Calculate Traffic: 24.2 million

Edge Support
 JPCP
 JRCP
 CRCP
Joint Spacing: 4.0 ft
Effective Joint Spacing: 47.52 in

Edge Support
 Conventional 12-ft wide traffic lane
 Conventional 12-ft wide traffic lane + tied PCC
 2-ft widened slab w/conventional 12-ft traffic lane
Edge Support Factor: 1.00

Sensitivity Analysis
Slab Thickness used for Sensitivity Analysis: 10.78 in
Modulus of Rupture
Elastic Modulus (Slab)
Elastic Modulus (Base)
Base Thickness
k-Value
Joint Spacing
Reliability
Standard Deviation

Calculated Slab Thickness for Above Inputs: **10.78 in** Calculate



4.3.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y OPTIMIZACIÓN DE ESPESOR DE LOSA MEDIANTE EL PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS NYSLAB

El criterio fundamental para realizar la optimización de espesor de losa que resultó del diseño mediante AASHTO versión 1998, es que los esfuerzos máximos inducidos en la losa por la combinación del gradiente térmico y carga vehicular, no superen el 50% del Módulo de Ruptura del Concreto. De tal manera que, se realizó una serie de iteraciones con diferentes espesores hasta determinar el espesor ideal que cumpliera con el criterio fundamental de optimización.

A continuación se presentan las variables de entradas que se utilizaron para determinar el espesor optimizado.

4.3.2.1. Variables de entrada requeridas para el programa de elementos finitos NYSLAB

Las variables de entrada requeridas en cada pestaña del programa, son las detalladas a continuación.

4.3.2.1.1. Pestaña de Información del proyecto.

Las plasmaron los datos correspondientes a detalles generales del proyecto a como es el nombre, el lugar y la fecha de este.

4.3.2.1.2. Pestaña de Materiales y Gradiente Térmico

Las variables de entrada en esta pestaña son las siguientes:

- Capas

Se ingresaron 3 capas en el programa: La capa superior correspondiente a nuestro estudio, representa la capa de pavimento rígido con un espesor de 8 plg (20.30 cm); La primera capa de cimentación corresponde a la base estabilizada con cemento con un espesor de 8 plg (20.30 cm); y finalmente, la tercera capa representa la subrasante.

- Gradiente de Construcción y Perfil Término

En el tramo en estudio se eligió un perfil de temperatura lineal con un gradiente de ± 10 °F, criterio recomendado por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (2010) puesto que la temperatura en la zona donde se ubica el tramo en estudio es variable.

- Coeficiente de Dilatación Térmica

La Tabla 60-L, muestra los coeficientes térmicos de algunos materiales, dentro de los cuales se presenta el concreto con un valor correspondiente a **0.00005**, este valor se eligió como coeficiente de dilatación térmica puesto que la superficie de rodamiento será de losas de concreto.

- Módulo Elástico del Concreto

Esta variable se calculó anteriormente dando como resultado:

$$E_c = 4,608,225 \text{ Psi} \approx 4,608 \text{ Ksi}$$

- Módulo de Poisson

Para el caso de concreto de características normales se recomienda emplear un valor de **0.15**. Ver la Tabla 61-LI.

- Módulo de Reacción de la Sub rasante (K) combinado

El Valor del Módulo de Reacción de la Sub rasante se calculó anteriormente resultando en un valor de **K ajustado de 153.33 PCI**

- Módulo de Reacción (K) de la Base (Base estabilizada con cemento)

El valor del Módulo de Reacción de la base estabilizada con cemento se determinó por medio de la Tabla 2 en el capítulo II de la PCA (Portland Cement Association), que tiene como fin relacionar el Módulo de Reacción (K) de la Subrasante con el Módulo de la Reacción de la Base tratada con cemento para diferentes espesores.

Se interpolaron los valores de la Tabla 2 proporcionada por la PCA, ver Tabla 62-LI, considerando el valor k de la sub rasante y el espesor de la base tratada con cemento, de la siguiente forma:

Subgrade k value, pci	Subbase k value, pci
	8 in
100	520
153.33	X
200	830

$$K \text{ base} = \frac{(153.33\text{PCI} - 200\text{PCI}) * (520\text{PCI} - 830\text{PCI})}{(100\text{PCI} - 200\text{PCI})} = 685.32 \text{ PCI}$$

El valor K del módulo de reacción para la base tratada con cemento es **de 685.32 PCI**

4.3.2.1.3. Pestaña de Losa

La variable de entrada requerida en esta pestaña es la separación de juntas o modulación de losas.

La modulación consiste en analizar el valor de “X” y “Y” de la losa, X es la dirección transversal e Y es la dirección longitudinal respectivamente, con el propósito de que la carga de todos los ejes del vehículo que provoca mayor daño a la losa pase en una sola, para el tramo en estudio es el tipo C2.

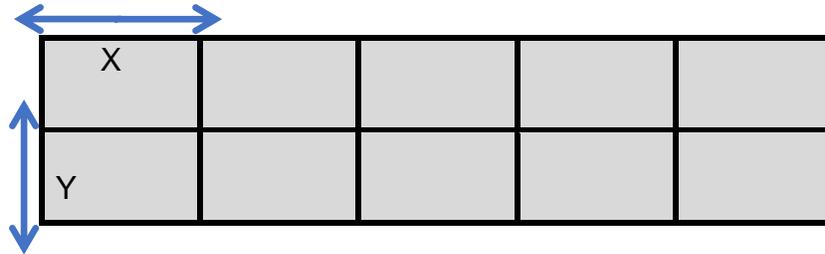
Se modula la junta longitudinal y transversal de tal manera que, exista una relación entre el largo y ancho de la losa, donde no exceda a los límites de 0.71 a 1.40, esto es

$$0.71 < \frac{x}{y} < 1.4 .$$

Sin embargo, en Nicaragua se utiliza el rango de 0.8 a 1.2, esto es $0.8 < \frac{X}{Y} < 1.2$

Gráficamente:

Relación Largo–Ancho de losa.



El objetivo de la junta longitudinal es dividir en cuatro tramos iguales la losa de concreto. De tal manera que, si el ancho de calzada de la carretera en estudio es de 14.40 metros, da como resultado una junta longitudinal a cada 3.60 metros. Esta dimensión Y, se considera la dimensión máxima. La dimensión X es la separación entre las juntas transversales.

La relación de esbeltez X / Y debe de estar comprendida entre los valores 0.80 y 1.20, la AASHTO 98 recomienda menor de 1.25.

En nuestro estudio, se propone dividir cada uno de los cuatro carriles en tres partes, resultando, diez losas interna de 1.20 m x 1.20 m, y dos losas externas de 1.20 m x 1.20 m, obteniendo una relación de esbeltez correspondiente a:

- $\frac{1.20}{1.20} = 1$, valor que se encuentra entre los límites de 0.8 y 1.20, por tanto la modulación de la parte interna cumple.
- $\frac{1.20}{1.20} = 1$, valor que se encuentra entre los límites de 0.8 y 1.20, por tanto la modulación de la parte externa cumple.

La modulación de losas va a estar regida por la separación de las juntas transversales que a su vez depende de los espesores del pavimento. El objetivo es inducir el agrietamiento controlado bajo los cortes de las losas (sección rebajada), sin necesidad de colocar refuerzo continuo. Por lo antes referido, existe una regla práctica que permite dimensionar los tableros de losas.

$$S_{jt} = (21 \text{ o } 24) * D, \text{ nunca mayor de 5.5 metros}$$

Donde:

S_{jt} :Separación de Juntas Transversales (cm).

D :Espesor de la losa (cm).

El valor 21 para sub-bases estabilizadas (en contacto con la losa) y el valor de 24 para sub-bases triturada (en contacto con la losa). En nuestro caso, la base es estabilizada con cemento, por tanto se usa 21.

Se utilizó el espesor de la losa que cumplió con el criterio, de que los esfuerzos máximos estén bajo el 50% del Módulo de Ruptura de concreto, que resultó de 20.3 cm (8 plg).

Entonces:

$$S_{jt} = 426.3 \text{ cm, máxima separación de la junta transversal que corresponde a X.}$$

$$X = 4.26 \text{ metros}$$

$$Y = 3.60 \text{ metros}$$

La Relación $\frac{x}{y}$ es $\frac{426}{360}$, resultando 1.18, valor que se encuentra entre los límites, por tanto la modulación máxima cumple.

4.3.2.1.4. Pestaña de Juntas

Esta pestaña requiere la información del tipo de transferencia de carga en el tramo en estudio, en este caso se realizará por **trabazón de agregados. (Sin Dovelas)**

4.3.2.1.5. Pestaña de Carga

El tramo en estudio se modeló con el **vehículo SU2** siendo éste el equivalente en el diagrama Nicaragüense al C2 (camión doble eje), debido a que es el vehículo pesado de mayor porcentaje con un 18%

De acuerdo a los valores del diagrama de carga permisible en Nicaragua y Centroamérica, se considera que para el Camión C2 en el eje de dirección (Steering Axle) es de 11,000 libras equivalente a 5 toneladas, el eje doble (Axle Group) es de 22,000 libras equivalente a 10 toneladas y el peso bruto (Gross Vehicle Weight) es de 33,000 libras es equivalente a 15 toneladas.

La presión de inflado de las llantas (Pressure) se considera de 80 psi.

4.3.2.1.6. Pestaña de Análisis

La carga del vehículo se modeló en los tres puntos críticos propuestos por Westergaard siendo el centro, borde y esquina de la losa, con los gradientes térmicos ± 10 °F.

Las coordenadas de losa (X, Y) son las siguientes:

Centro de losa: (1.98 ft, 1.98 ft)

Borde de Losa: (1.98 ft, 0)

Esquina de Losa: (3.96 ft, 0)

4.3.2.2. Análisis de resultados de NYSLAB

Se realizó la optimización del espesor de la losa diseñado por el Suplemento Guía para Diseño De Pavimento AASHTO Versión 1998, por medio del análisis del Programa de Elementos Finitos NYSLAB de los esfuerzos máximos que la losa puede soportar teniendo como criterio que estos esfuerzos no excedan el 50% del Módulo de Ruptura del concreto, permitiendo determinar los esfuerzos inducidos en la losa por la combinación del gradiente de temperatura y la carga de un vehículo C2, debido a que es el de mayor porcentaje de vehículo pesado con un 18% en el tramo en estudio.

Los seis casos de análisis en el programa NYSLAB, corresponden a las 3 posiciones de carga (esquina, borde, centro) con el gradiente diurno y nocturno $\pm 10^{\circ}\text{F}$ para un espesor optimizado de losa de 8 plg.

Los datos de entrada y resultados para el primer análisis corresponden a la carga en la esquina de la losa con un gradiente diurno, se presentan en la Ilustración 17-LII, a la Ilustración 26-LVI.

El segundo análisis corresponde, a la carga en la esquina de la losa con un gradiente nocturno donde los datos de entrada y resultados se muestran en la Ilustración 27-LVII a la Ilustración 30-LVIII.

El tercer análisis corresponde, a la carga en el borde de la losa con un gradiente diurno donde los datos de entrada y resultados se muestran en la Ilustración 31-LVIX a la Ilustración 34-LX.

El cuarto análisis corresponde, a la carga en el borde de la losa con un gradiente nocturno donde los datos de entrada y resultados se muestran en la Ilustración 35-LXI a la Ilustración 38-LXII.

El quinto análisis corresponde, a la carga en el centro de la losa con un gradiente diurno donde los datos de entrada y resultados se muestran en la Ilustración 39-LXIII a la Ilustración 42-LXIV.

Por último, está el caso de análisis que corresponde, a la carga en el centro de la losa con un gradiente nocturno donde los datos de entrada y resultados se muestran en la Ilustración 43-LXV a la Ilustración 46-LXVI.

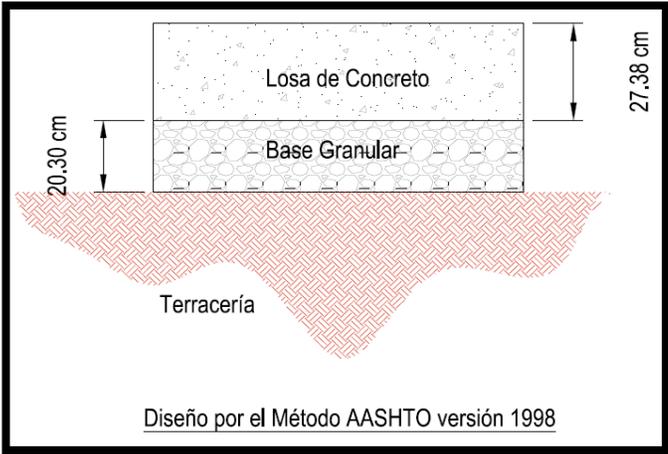
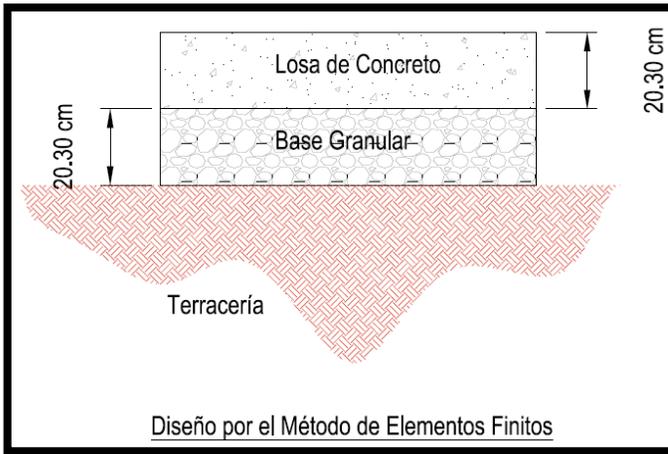
Los resultados de las seis corridas en el programa NYSLAB, se resumen en la Tabla 63-LXVII a Tabla 68-LXIX.

Con base a la información obtenida mediante el análisis de Elementos Finitos, se determinó que la combinación más crítica para la losa en estudio, es un gradiente de temperatura diurno $\pm 10^\circ \text{F}$ con la ubicación de carga en el borde de la losa, resultando un esfuerzo a la flexión lateral máximo en las fibras superiores e inferiores de la losa de **329.26 lb/plg²**, como se muestra en la Tabla 65-LXVIII. Este esfuerzo crítico cumple con el criterio de no sobrepasar el 50% del Módulo de Ruptura del concreto que corresponde a un valor de **341.35 lb/plg²**, por lo tanto es admisible.

Para este espesor de losa optimizado de 8 pulgadas se requiere un Módulo de Ruptura de concreto de 46 Kg/cm²

POSICIÓN DE ANÁLISIS	BORDE DE LOSA		GRADIENTE	CRITERIO 50%MR > δ MAX
	X/Y (Ft)	VALOR MAX	VALOR MIN	Mr=2*δ MAX
Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI)	1.98/0	329.26	-124.04	658.52 Psi 46 Kg/cm ²

4.3.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ESPESOR DE LOSA POR MÉTODO AASHTO 98 Y POR MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.

MÉTODO AASHTO versión 1998	MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS
 <p>Diseño por el Método AASHTO versión 1998</p>	 <p>Diseño por el Método de Elementos Finitos</p>
<p>Un espesor de losa de concreto de 10.78 pulgadas equivalentes a 27.38 cm.</p> <p>Un espesor de base granular estabilizada con cemento de 8 pulgadas equivalentes a 20.30 cm.</p>	<p>Un espesor de losa de concreto de 8 pulgadas equivalentes a 20.30 cm. Se optimizó un 25.79% de espesor de losa inicial.</p> <p>Un espesor de base granular estabilizada con cemento de 8 pulgadas equivalentes a 20.30 cm.</p>

4.3.4. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS PARA LOSAS DE CONCRETO

4.3.4.1. Mediana

La carretera en estudio se clasifica como Troncal Suburbana (TS) donde el ancho de mediana que recomienda el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA), es de 4 a 12 metros. Se eligió el valor mínimo de este rango, igual a 4 metros de ancho. Ver la Tabla 69-LXX

4.3.4.2. Hombros o Espaldones

Según el tipo de carretera en estudio el ancho mínimo de hombros externos que recomienda la SIECA es de 1.80 metros. Este ancho debe cumplir con la relación de esbeltez que recomienda la AASHTO correspondiente a un rango de 0.80 a 1.20, hasta un máximo de 1.25. Ver la Tabla 70-LXX

Entonces:

- $\frac{1.80}{1.20} = 1.5$, valor que se encuentra fuera de los límites de 0.8 y 1.20, por tanto este ancho de hombro no cumple.

Dado a lo anterior, se consideró el ancho máximo de hombro interior que es de 1.50 metros, para verificar la relación de esbeltez.

Donde:

- $\frac{1.50}{1.20} = 1.25$, valor que se encuentra dentro de los límites de 0.8 y 1.20, por tanto este ancho de hombro si cumple.

El ancho de hombro exterior para el caso en estudio, es **de 1.50 metros**.

En el caso del hombro interior la SIECA recomienda el ancho de 1.00 metros. De igual manera, este ancho debe cumplir con la relación de esbeltez recomendada por la AASHTO.

Entonces:

- $\frac{1.00}{1.20} = 0.83$, valor que se encuentra dentro de los límites de 0.8 y 1.20, por tanto este ancho de hombro si cumple.

El ancho de hombro interior para el caso en estudio, es **de 1.00 metros**.

4.3.4.3. Barras de Sujeción

En la Tabla 71-LXX se indica que las barras de amarre o sujeción para un espesor de losa de 230 mm (8 plg), deben ser de 16mm de diámetro con una longitud de 760 mm a un espaciamiento entre barras centro a centro de 900 mm

4.3.4.4. Confinamiento Lateral (Pines de Anclaje)

El diámetro de la varilla es de 16 mm con una longitud vertical de 90 cm y un dobléz en la parte inferior de 70 cm para mejorar el anclaje a la terracería.

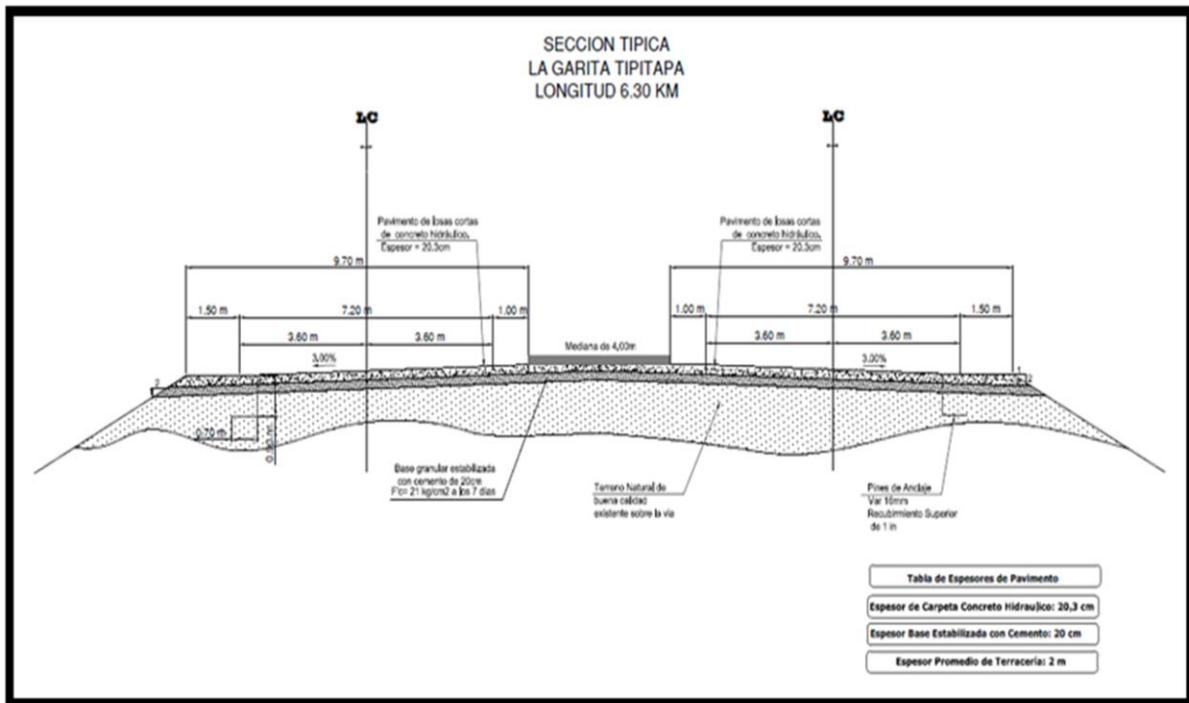
La ubicación de los pines sobre la losa de concreto será a $\frac{1}{4}$ de la longitud de la losa a ambos extremos de la misma, expresado en números corresponde a 30 cm de un extremo y 30 cm al otro, quedando un espaciamiento de 60 cm de centro a centro de los pines.

4.3.4.5. Alternativas Constructivas

La estructura de pavimento será construida sobre rellenos de altura variable, de tal manera que se proponen dos alternativas de construcción, las cuales son las siguientes:

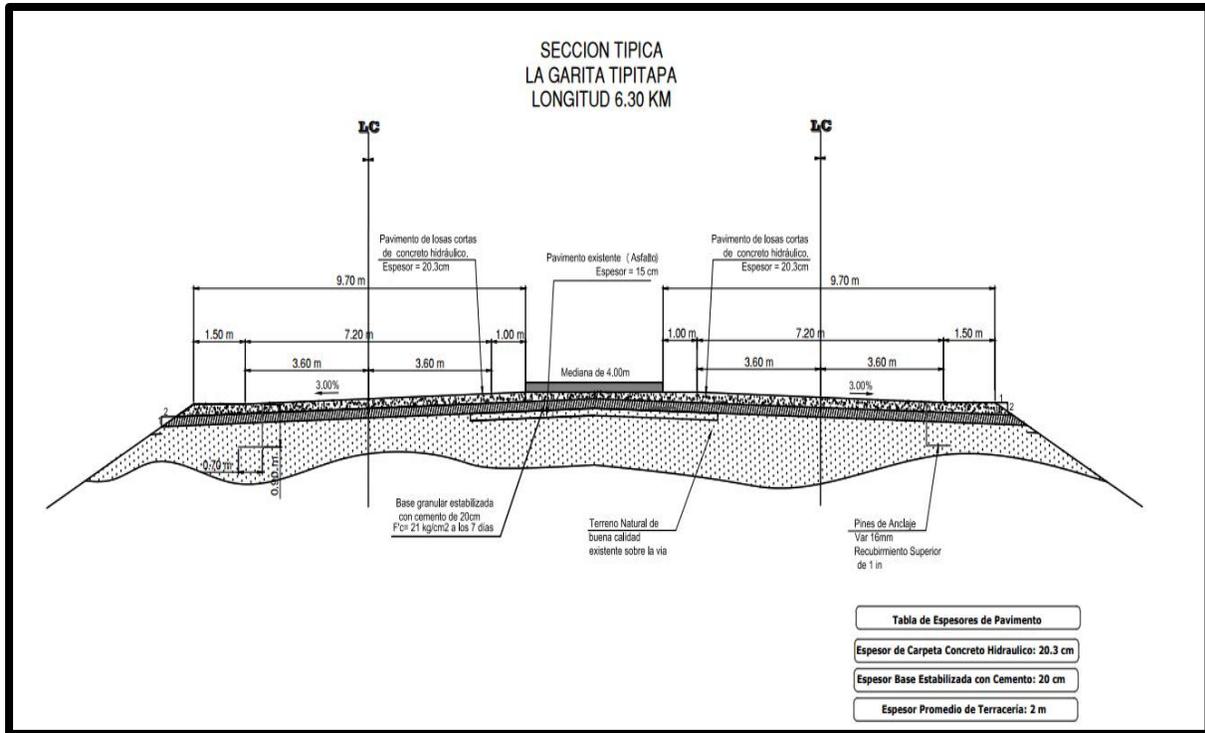
4.3.4.5.1. Reciclaje total del pavimento existente.

Esta alternativa consiste en reciclar todo el pavimento existente para usarlo como agregado en la construcción de la mediana de 4 metros a construirse y también como material de relleno juntamente con el del banco de material El Paraíso, esta alternativa plantea rellenar hasta la altura del pavimento existente y construir una base o sub base estabilizada con cemento de 20.30 cm sobre la cual se apoyaran las losas de concreto.



4.3.4.5.2. Sin reciclaje del pavimento existente.

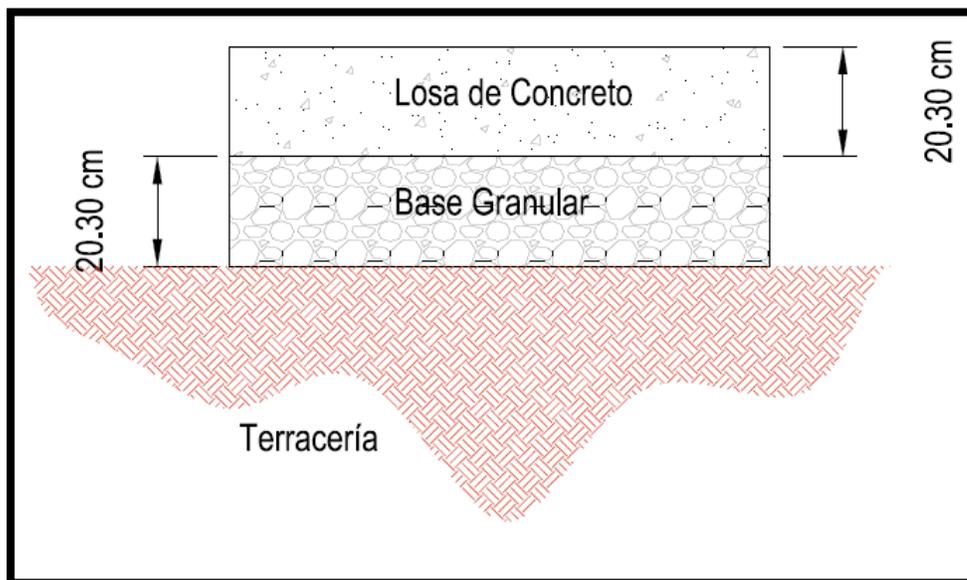
Esta alternativa se basa en no remover el pavimento existente y realizar las obras de relleno hasta esa altura, para posteriormente construir una base o sub base de 20.30 cm estabilizada con cemento sobre la carpeta de rodamiento existente sobre la que se apoyaran las losas de concreto.



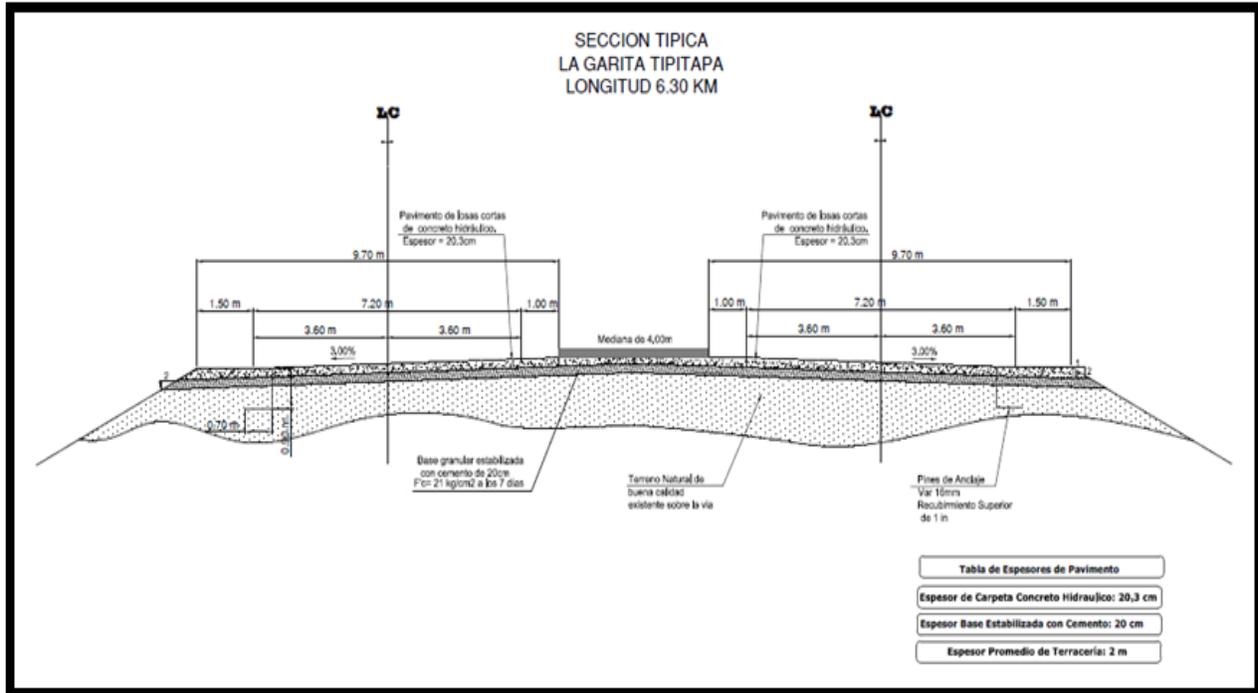
4.4. RESULTADOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO MECÁNICO EMPÍRICO (LOSAS CORTAS)

En la siguiente tabla, se muestra el resultado de diseño de estructuras de pavimento rígido por el método mecánico empírico y consideraciones constructivas del tramo de carretera La Garita-Tipitapa.

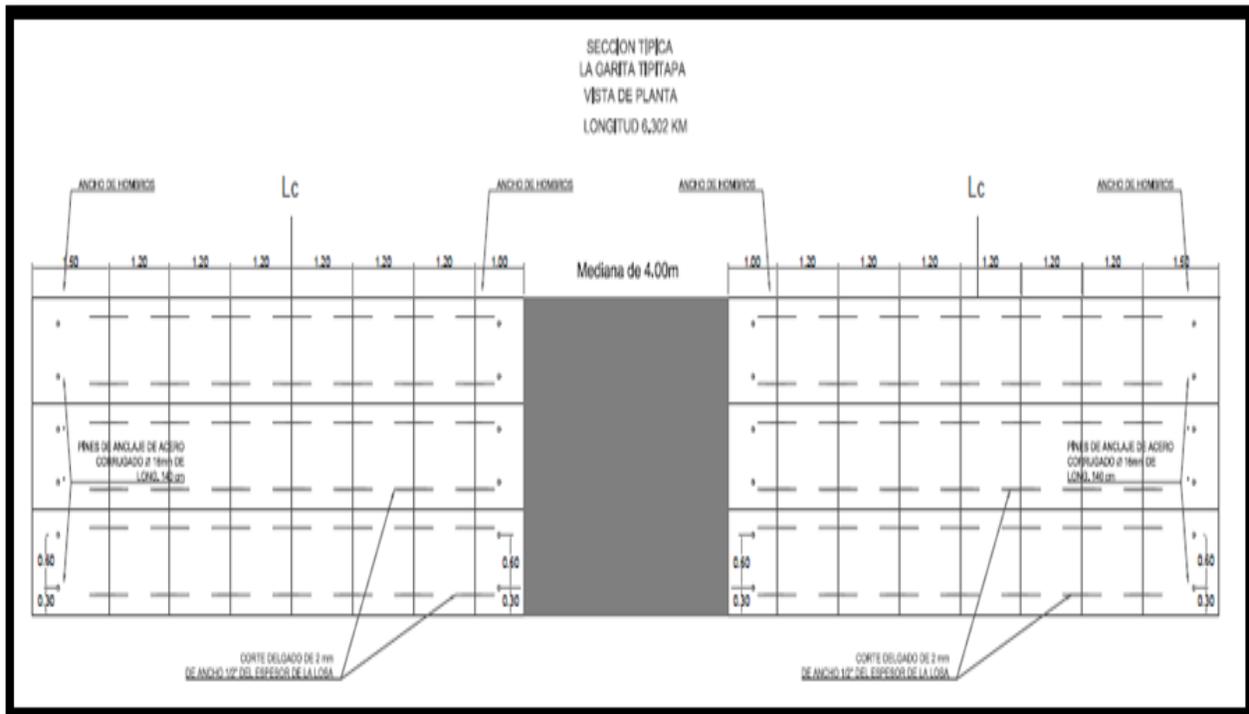
TRAMO DE CARRETERA		
LA GARITA - TIPITAPA		
ESPEORES DE CAPAS DE PAVIMENTO	LOSA CORTAS DE CONCRETO DE 1.20m X 1.20m	20.30 cm
	BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO	20.30 cm
	TERRACERÍA	Profundidad >2.00 m
REFUERZO ESTRUCTURAL	MEDIANA	4.00 m
	ANCHO DE HOMBROS EXTERNOS (m)	1.50 m
	ANCHO DE HOMBROS INTERNOS (m)	1.00 m
	BARRAS DE ANCLAJE	16 mm de diámetro; 0.76m de longitud
	CONFINAMIENTO LATERAL	16 mm de diámetro; 1.60m de longitud



Sección Transversal del Tramo “La Garita – Tipitapa” del diseño propuesto



Vista en planta del Tramo “La Garita – Tipitapa” del diseño propuesto



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mediante los estudios geotécnicos y de tráfico en el tramo de carretera “La Garita – Tipitapa”, nos permiten plantear las siguientes conclusiones:

La estructura de pavimento del tramo de carretera está construido con materiales de excelente calidad siendo estos suelos arenosos y gravosos clasificados como A-1-a (0), las fallas que presenta el tramo se encuentra principalmente en la carpeta de rodamiento a excepción de la Est 5+000 y los sectores aledaños a ésta, en la cual se presentan daños en las capas subyacentes a la superficie asfáltica debido a una baja Capacidad Soporte (CBR).

Para la futura construcción del proyecto se eligió el banco de material El Paraíso, que logra suplir el material requerido para la ejecución de obras de relleno, por ende el CBR de diseño será el del material de este banco, el cual es CBR=37% siendo éste el valor más crítico de CBR al 95%.

A través de los estudios de tráfico se logró conocer las características de la vía, donde se clasificó como Troncal Suburbana de acuerdo a su Tránsito Promedio Diario Anual inicial en el año 2014, correspondiente a 8,420 vehículos por día.

Se consideró un período de 20 años para la vida útil del proyecto desde el año 2018 al 2037, donde la proyección del Tránsito Promedio Diario Anual en el último año de vida útil, resultó de 20,641 vehículos por día.

Al final del período de diseño, el tipo de vehículo liviano predominante en el tramo de carretera es la camioneta con el 27.81%. En el tipo de vehículo de carga, el más predominante es el C2 con el 9.28% del total del Tránsito Promedio Diario Anual.

Con base en la metodología de AASHTO 93 se calculó el número de Ejes Equivalentes de Carga de 18Kips (ESAL´S) que resultó de 24, 179,700. Este valor, es la carga que actuará sobre el pavimento en el período de diseño.

Con la información anteriormente mencionada, se procedió a diseñar la estructura de pavimento rígido para la vía en estudio, por medio del sistema de Losas Mecánico – Empírico, de tal forma que se puede concluir lo siguiente:

Primero, se usó la metodología de diseño convencional de la AASHTO 98, que determinó el espesor de la estructura de pavimento rígido de 10.78 pulgadas equivalentes a 27.38 centímetros.

Y luego, se realizó una modulación de las losas cuadradas de concreto con dimensiones de 1.20 m x 1.20 m, por medio de un programa de elementos finitos NYSLAB, que nos permitió analizar los esfuerzos por la carga de tráfico y el gradiente térmico que son inducidos a la estructura de pavimento.

La condición de carga y temperatura crítica de la losa es una carga ubicada en el borde de la losa con un gradiente de temperatura diurno ± 10 °F, resultando un esfuerzo a la flexión lateral máximo en las fibras superiores e inferiores de la losa de 329.26 lb/plg². Este esfuerzo cumple con el criterio de no exceder el 50% del Módulo de Ruptura del concreto. De esta manera, se logró optimizar el espesor de pavimento rígido a un 25.79% del espesor inicial.

El espesor óptimo para la estructura de pavimento rígido del tramo “La Garita – Tipitapa” mediante la metodología de losas cortas resultó de 8 pulgadas equivalentes a 20.30 cm, con un concreto de resistencia a la ruptura de 46 Kg/cm² para los canales de circulación.

La base seleccionada como material de base granular se recomienda una mezcla de materiales granulares, hasta alcanzar un espesor total mínimo de 20.30 cm, ésta debe ser estabilizada con la adición de cemento, en una cantidad tal que la mezcla alcance una resistencia mínima a la compresión simple, después de 7 días de curado, de 21 Kg/cm²

RECOMENDACIONES

Según los resultados obtenidos en este documento investigativo, se recomienda la aplicación de la Metodología de Diseño Mecánico - Empírico para futuros proyectos de pavimentos rígidos, ya que permite diseñar estructuras de pavimentos delgados de concreto al distribuir la carga de manera eficiente, lo que a su vez logra disminuir los esfuerzos internos que actúan sobre las losas de concreto y ahorrar material de construcción de forma sustancial.

Para el análisis estructural de los esfuerzos internos en el pavimento rígido por el método de elementos finitos, es recomendable hacer uso y manejo del programa NYSLAB, debido a que es una herramienta diseñada para analizar la respuesta del pavimento de concreto, para distintos tipos de condición de carga, bases y gradientes térmicos.

BIBLIOGRAFÍA

American Association of State Highway and Transportation. (1998). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1998*. EEUU: Published by the Officials. ISBN1-56051-055-2.

AASHTO. (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*. Interim Edition.

Anónimo. (s.f). Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos. s.l:s.e

Asociación de Productores del Cemento del Perú. (s.f). ASOCEM “Boletín Técnico No 81- Tipos de Pavimento de Concreto”. s.e.

Cal & Mayor y Asociados. (1994). *Ingeniería de Tránsito (7ª. Ed.)*. México, D.F.: Ediciones Alfaomega.

Covarrubias, T.J. (2012). *Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada*. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S0718-50732012000300005

Fonseca, M.A. (2001). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras (2da.ed.)*. Santa Fe de Bogotá, D.C.

Ingenieros Consultores Centroamericanos S.A. (2013). *Losas cortas: Una experiencia en Nicaragua*. Managua: Autor.

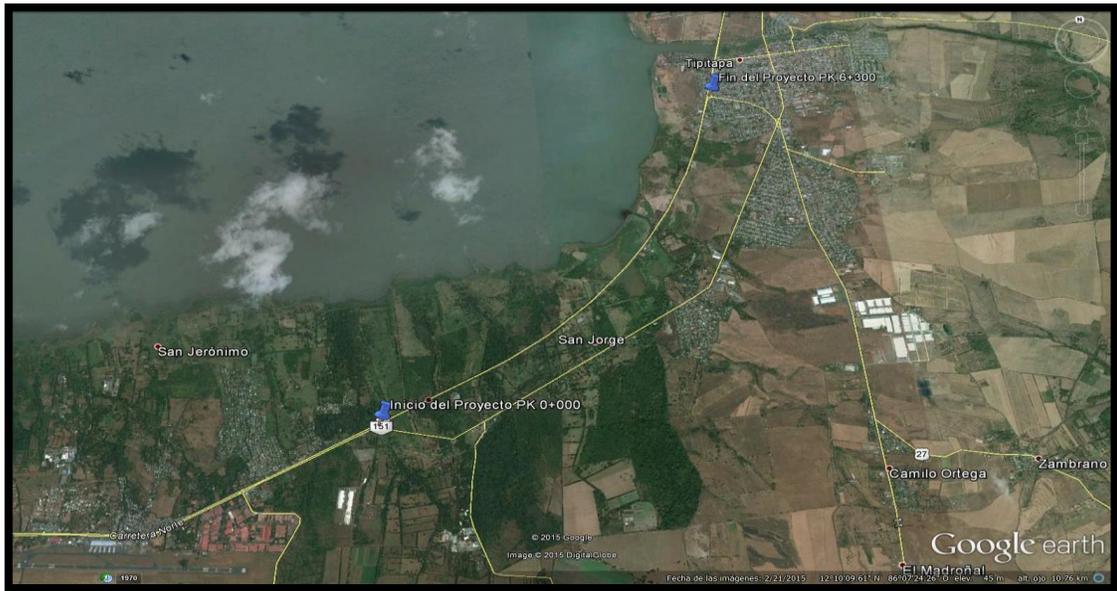
Instituto Nicaragüense del Cemento Y del Concreto (2014). INCYC “Boletín Técnico No 50- Pavimentos de Concreto: Cuidado con las barras de amarre”. Recuperado de <http://www.incyc.org.ni/index.php/en/2012-09-27-23-43-45/boletines/235-boletin-tecnico-mayo-2014-numero-50?showall=&start=6>

Iturbide, J.C. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. s.l.: s.e.

Leclair, R. (2004). Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales (2da.ed.). s.l.:s.e.

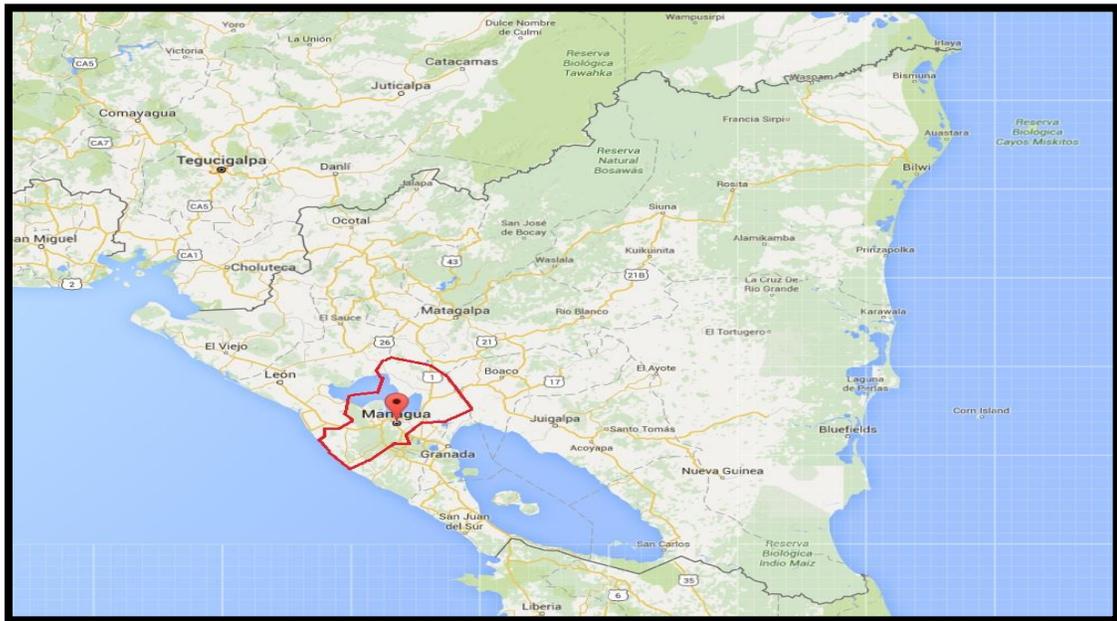
Villanueva Ortiz, J.B & Guzmán Fletes, C.F. (2013). Metodología de diseño mecánico –empírico para pavimentos de concreto y su aplicación constructiva en Nicaragua (Tesis inédita de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua.

Ilustración 1 Vista General del Proyecto



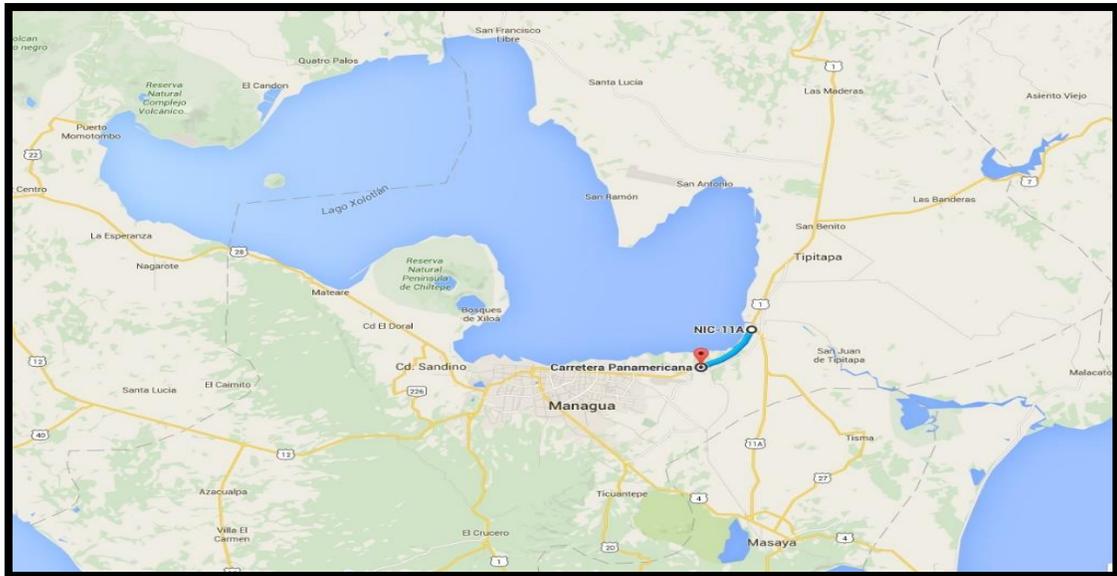
Fuente: Google maps

Ilustración 2 Macro Localización



Fuente: Google maps

Ilustración 3 Micro Localización



Fuente: Google maps

Ilustración 4 Esquema lateral de carga del vehículo patrón

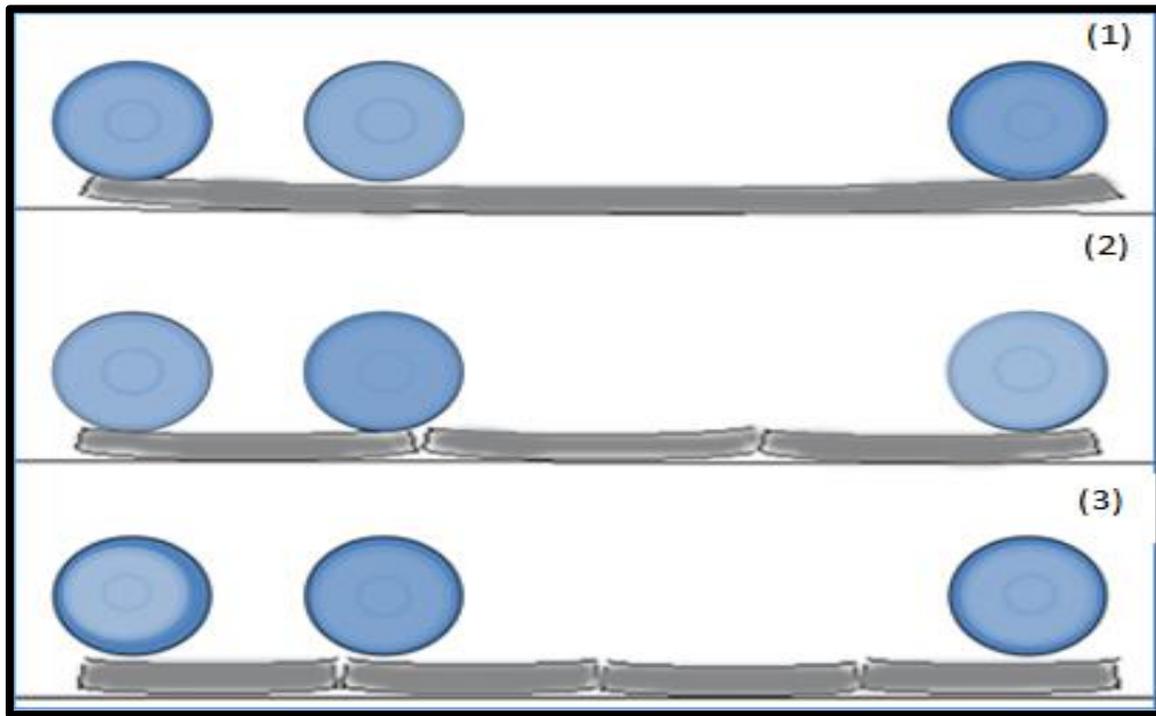


Ilustración 5 Ubicación del Experimento Vial de la AASHO sobre la futura autopista interurbana I-80, de la red interestatal de los Estados Unidos

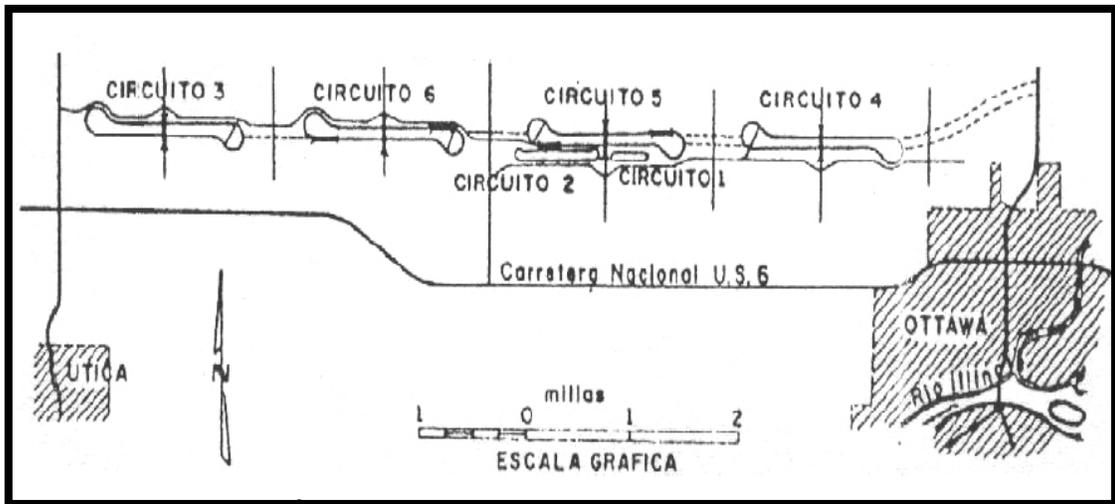
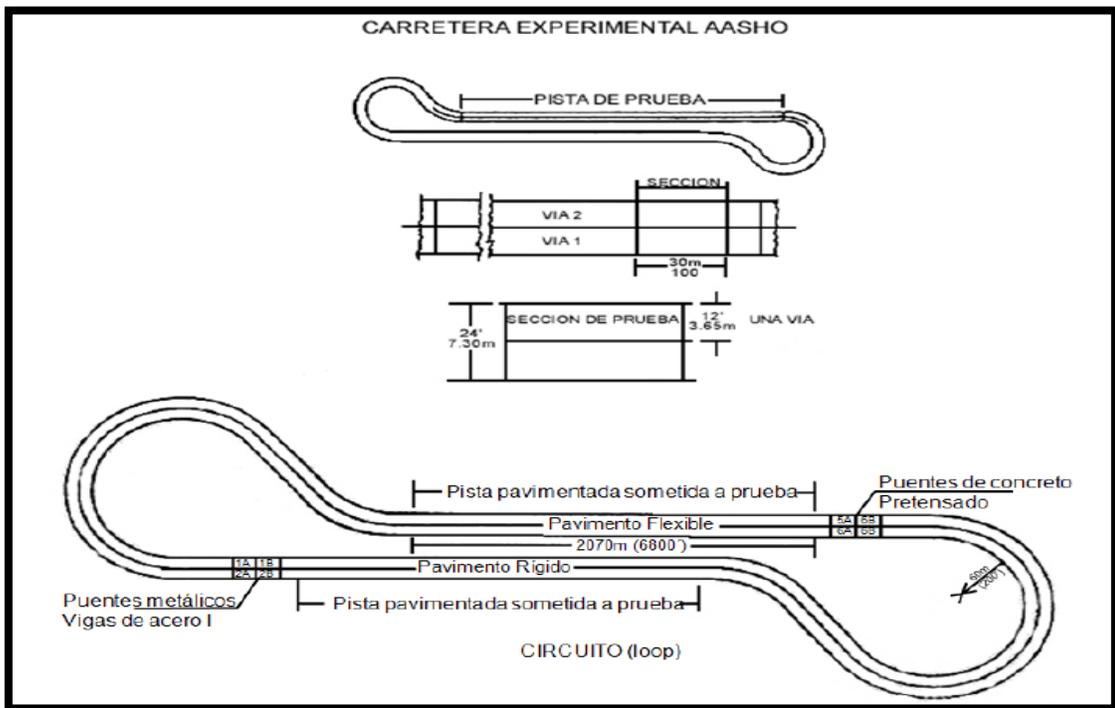
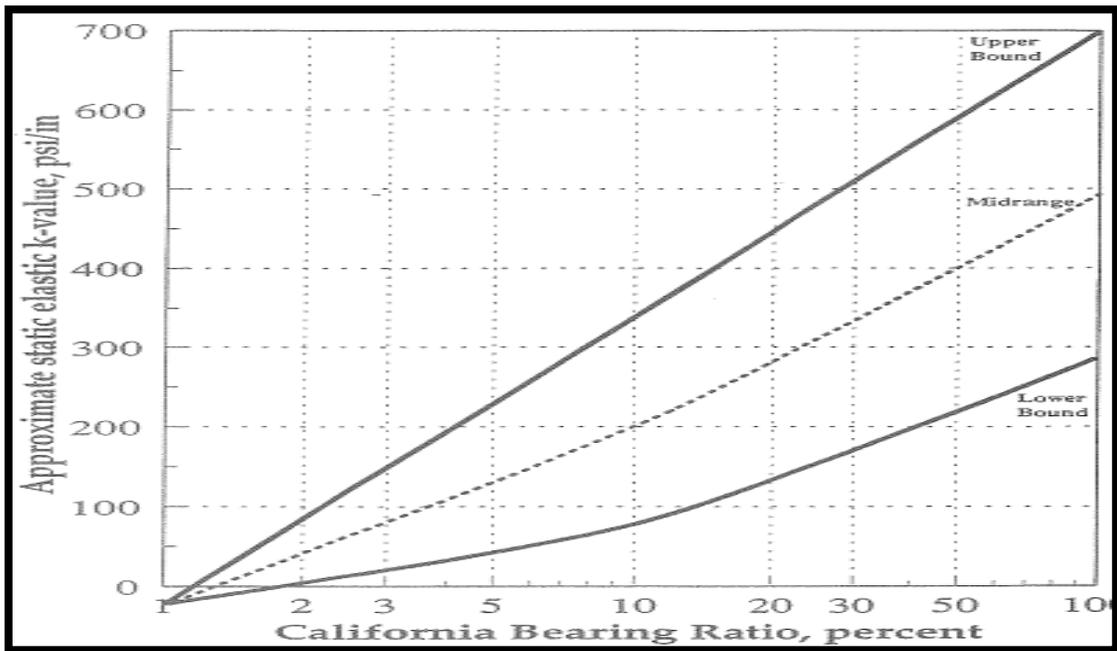


Ilustración 6 Características de las secciones de prueba en los circuitos

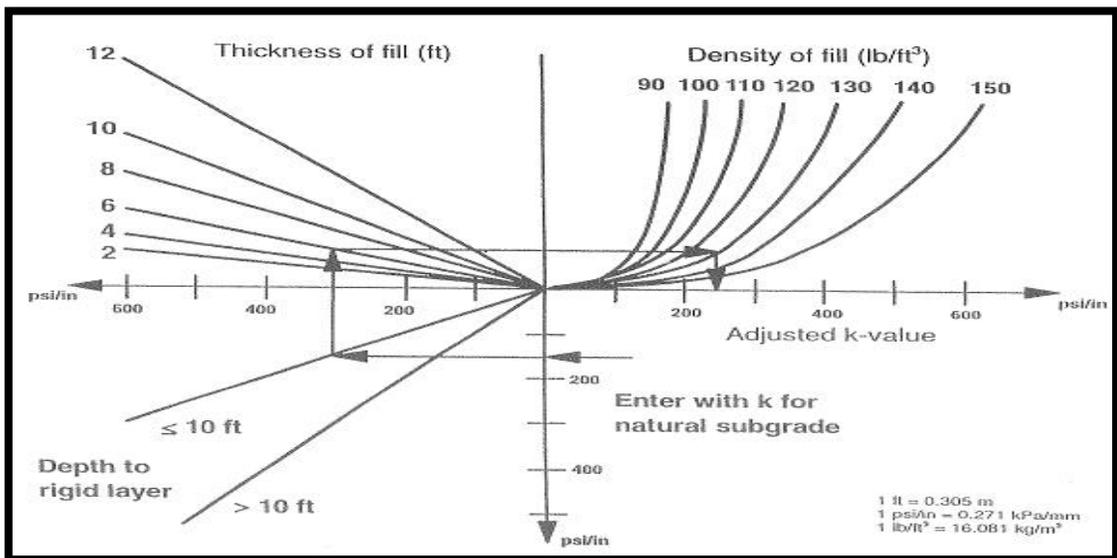


Gráfica 1 Relación aproximada del Rango del K-Valor y el CBR



Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1998, Sección II, Figura 41

Gráfica 2 Ajuste de K para relleno y/o capa rígida



Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1998, Sección II, Figura 43

Tabla 1 MR recomendado según el Tipo de Pavimento

Tipo de Pavimento	MR recomendados	
	Kg/cm ²	PSI
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas Industriales	45.0	640.1
Urbanas Principales	45.0	640.1
Urbanas Secundarias	42.0	597.4

Fuente: Manual de Diseño y Construcción de Pavimento Cemex, capítulo II

Tabla 2 Valores de Z_r , en función de la confiabilidad R

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z_r
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

Ilustración 7 Posiciones críticas de carga sobre la losa de concreto

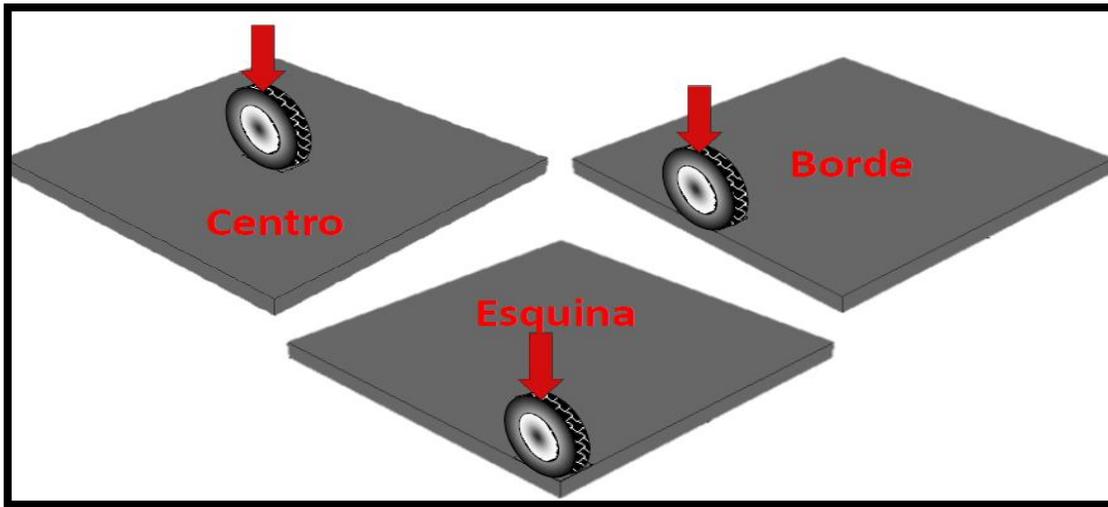


Tabla 3 Descripción general de las pestañas del programa NYSLAB

Pestaña	Descripción General
Información	Permite establecer la identificación de los proyectos estableciendo el nombre del proyecto, lugar y fecha.
Material	Se debe introducir los parámetros estructurales del pavimento. Esto incluye el número de capas, el espesor correspondiente y el tipo de material y otras propiedades mecánicas y térmicas de las placas y la fundación.
Losa	Se establece el número de losas que serán analizadas y la configuración geométrica de cada uno de ellos. El usuario puede también especificar la localización y propiedades presentes en cualquiera de las capas.
Juntas	Se define las características comunes entre losas (espigas u entrelazadas). Diferentes características se pueden establecer para cada conexión de losa. Las propiedades mecánicas de las articulaciones y el espaciado de clavija (si los hay) que se especifican en el proyecto.
Carga	Se requiere que las condiciones de carga que se determine. Existe la opción de utilizar un perfil de camión de carga previamente creado o crear un nuevo perfil con condiciones particulares. El número de grupos de ejes del camión tiene que ser especificado así como las características de carga correspondientes.
Análisis	Se ajusta la posición de camión con respecto a la losa para obtener la respuesta pavimento.

Tabla 4 Rango de valores típicos de Módulo de Poisson

Material	Poisson's Ratio
Asphalt concrete	0.25 to 0.40
Portland cement concrete	0.10 to 0.20
Asphalt stabilized treated base	0.25 to 0.40
Cement stabilized treated base	0.15 to 0.25
Unbound granular bases	0.20 to 0.40
Cohesive soil	0.30 to 0.45
Cement-stabilized soil	0.15 to 0.30
Lime-stabilized soil	0.20 to 0.35

Fuente: Design Pamphlet for the Backcalculation of Pavement Layer Moduli in Support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures, 1997, p. 18

Tabla 5 Ancho mínimos de hombros y aceras

Cuadro 4.3						
ANCHOS MÍNIMOS DE HOMBROS Y ACERAS						
Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AR	Autopistas Regionales	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	1.8 - 2.5	
TS	Troncales Suburbanas	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	1.8 - 2.5	1.2 - 2.0
TR	Troncales Rurales	-	Alto	0.5 - 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 - 1.5
CS	Colectoras Suburbanas	-	Intermedio	0.5*	1.2 - 1.5	1.0 - 1.2
CR	Colectoras Rurales	-	Intermedio	-	1.2 - 1.5	1.0 - 1.2

* Solamente con mediana

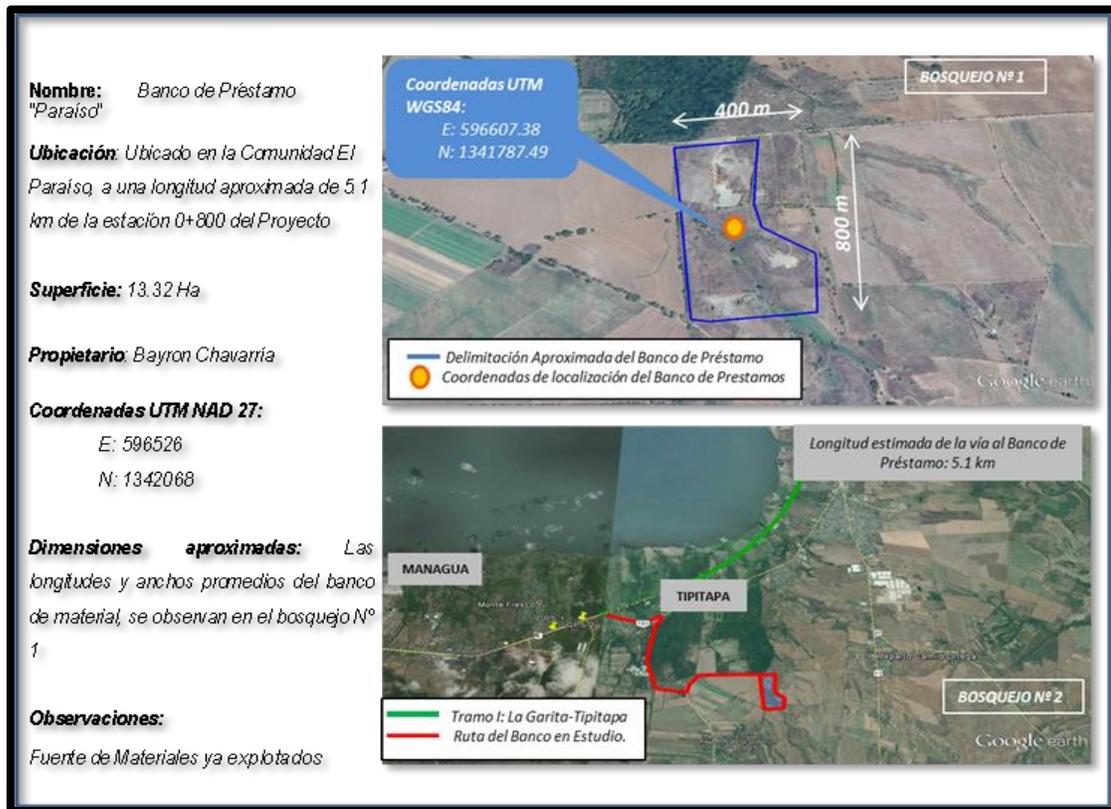
Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, 2004, capítulo 4, p. 9

Tabla 6 Dimensiones y espaciamiento de las barras de amarre en pavimentos de concreto (Grado 60)

Tabla 1. Dimensiones y espaciamiento de las barras de amarre en pavimentos de concreto (Grado 60)						
Espesor de losa (mm)	Diámetro de la barra (mm)	Longitud de la barra (mm)	Espaciamiento entre barras centro a centro (mm)			
			Distancia al extremo libre			
			3.0 m	3.7 m	4.3 m	7.3 m
150	13	600	760	760	760	700
150	13	600	760	760	760	580
180	13	600	760	760	760	500
200	13	600	760	760	760	430
230	16	760	900	900	900	600
250	16	760	900	900	900	560
280	16	760	900	900	860	500
310	16	760	900	900	780	460

Fuente: Instituto Nicaragüense del Cemento y del Concreto, 2014, "Boletín Técnico No. 50"

Ilustración 8 Dimensiones y detalles del banco de materiales El Paraíso



Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, p. 10

Tabla 7 Ensayos efectuados a las muestras de agregados y suelos de la carretera

No.	ENSAYES EFECTUADOS	PROCEDIMIENTO	CANTIDAD		
			HOMBRO	AMPLIACIÓN	Total
1	Sondeos de línea a 1.5 m de profundidad		13	64	77
2	Análisis granulométricos de los agregados	AASHTO T 27	27	150	177
3	Limite Liquido (L.L.)	ASTM D 4318	27	150	177
4	Limite Plástico e Índice de Plasticidad	ASTM D 4318	27	150	177
5	Contenido de humedad natural	AASHTO T 265	27	150	177
6	Clasificación HRB	AASHTO M 145	27	150	177
7	Relación densidad – humedad de suelos (Proctor Estándar)	AASHTO T 99	17	16	33
8	Relación Soporte de California (CBR)	AASHTO T 193	17	16	33
9	Capacidad Soporte In Situ mediante ensayo DCP	ASTM D 6951	-	26	26

Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, Tabla 2, página 5

Tabla 8 Ensayos efectuados a las muestras de agregados y suelos del banco de material El Paraíso

No.	ENSAYES EFECTUADOS	PROCEDIMIENTO	CANTIDAD
1	Sondeos en el banco de material		3
2	Análisis granulométricos de los agregados	AASHTO T 27	9
3	Limite Liquido (L.L.)	ASTM D 4318	9
4	Limite Plástico e Índice de Plasticidad	ASTM D 4318	9
5	Contenido de humedad natural	AASHTO T 265	9
6	Clasificación HRB	AASHTO M 145	9
7	Peso unitario de los agregados	AASHTO T 19	1
8	Relación densidad – humedad de suelos (Proctor Estándar)	AASHTO T 99	2
9	Relación densidad – humedad de suelos (Proctor Modificado)	AASHTO T 180	2
10	Relación Soporte de California (CBR)	AASHTO T 193	4

Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, Tabla 5, p. 12

Tabla 9 Análisis Granulométrico de Agregados del banco de material El Paraíso, Ensayo AASHTO T 27

TAMIZ		MATERIAL QUE PASA (%)								
Pulgada	mm	S-1	S-1	S-1	S-2	S-2	S-2	S-3	S-3	S-3
		M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3
1"	25.000	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	19.000	95	100	96	94	96	97	95	95	99
1/2"	12.500	82	89	87	85	87	87	83	86	90
3/8"	9.500	76	83	81	78	81	81	76	80	84
N.4	4.750	58	64	65	60	65	66	58	61	65
N.10	2.000	41	44	47	41	47	47	42	43	46
N.40	0.425	20	21	24	18	23	18	21	22	23
N.200	0.075	5.8	6.5	9.3	4.5	9.9	9.1	8.4	8.8	9.1

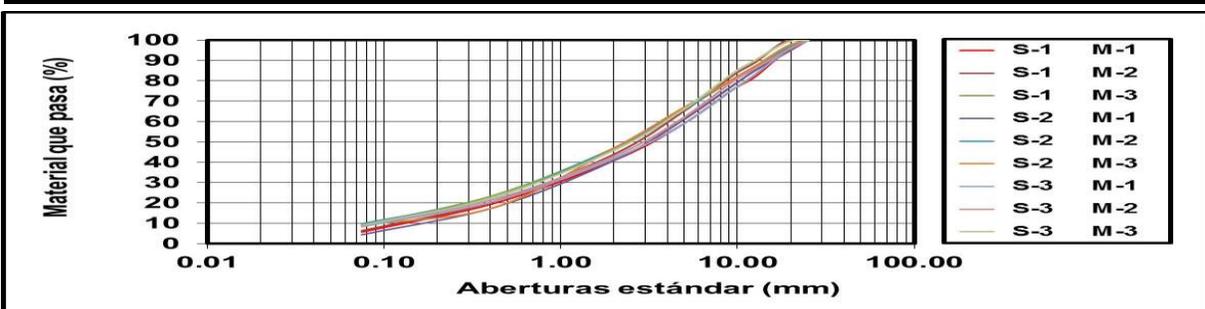


Tabla 10 Límites de Atterberg (LL, LP, IP) y Clasificación de los suelos del banco de material El Paraíso, Ensayo ASTM D 4318, ASTM D 2487 y AASHTO M 145

PROPIEDAD	S-1	S-1	S-1	S-2	S-2	S-2	S-3	S-3	S-3
	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3
Límite Líquido	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Límite Plástico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Índice de Plasticidad	NP								
Humedad in-situ	9.5	11.0	10.0	15.0	9.4	10.8	17.8	14.3	17.4
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)								

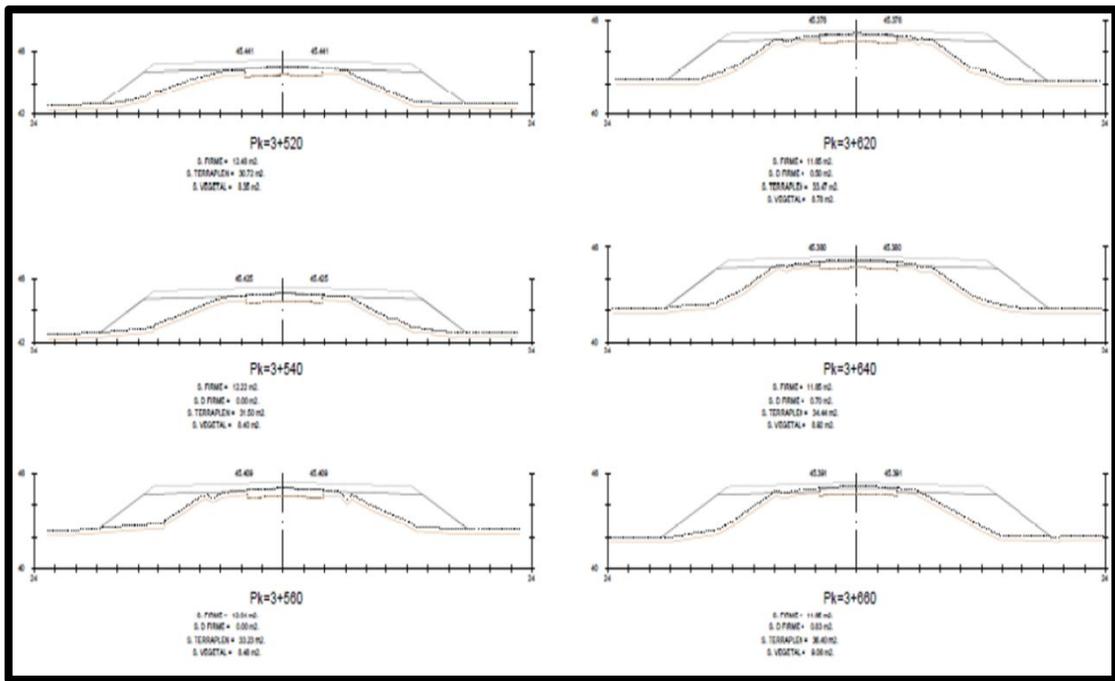
Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, Tabla 7, p. 14

Tabla 11 Relación Densidad-Humedad de suelos del banco de material El Paraíso, Ensayo AASHTO 99 (Proctor Estándar) y AASHTO 180 (Proctor Modificado)

PROPIEDAD	SONDEO	MUESTRA	PROCEDIMIENTO	RESULTADOS (Kg/m ³)
Densidad seca máxima	S-1	M-2	AASHTO T 99	1,465
Humedad óptima	S-1	M-2	AASHTO T 99	23.5
Densidad seca máxima	S-1	M-2	AASHTO T 180	1,569
Humedad óptima	S-1	M-2	AASHTO T 180	20.1
Densidad seca máxima	S-3	M-3	AASHTO T 99	1,452
Humedad óptima	S-3	M-3	AASHTO T 99	26.0
Densidad seca máxima	S-3	M-3	AASHTO T 180	1,569
Humedad óptima	S-3	M-3	AASHTO T 180	21.0

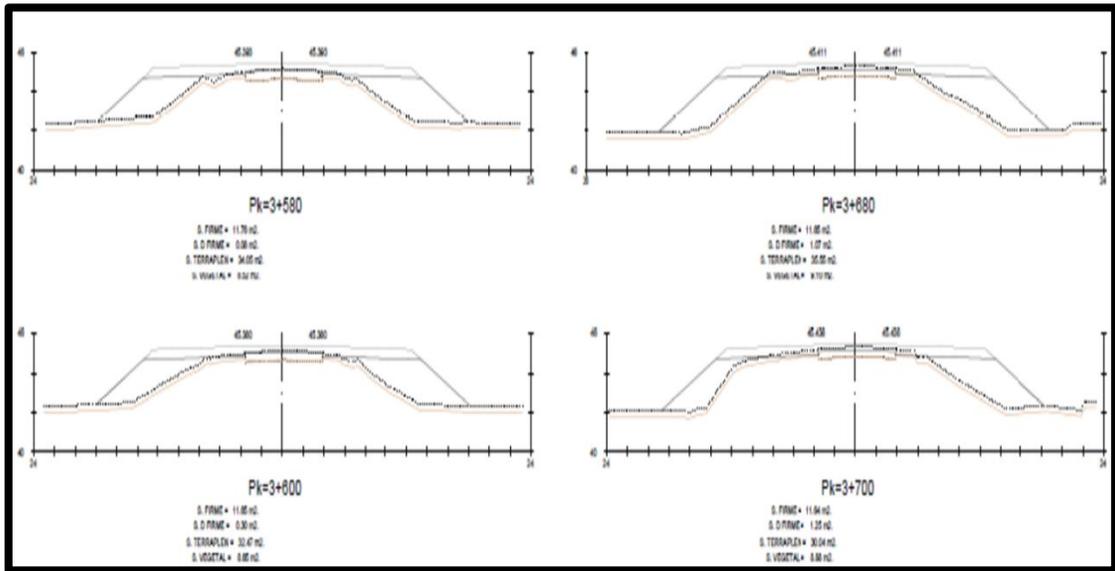
Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, Tabla 7, p. 14

Ilustración 9 Secciones Típicas en Relleno



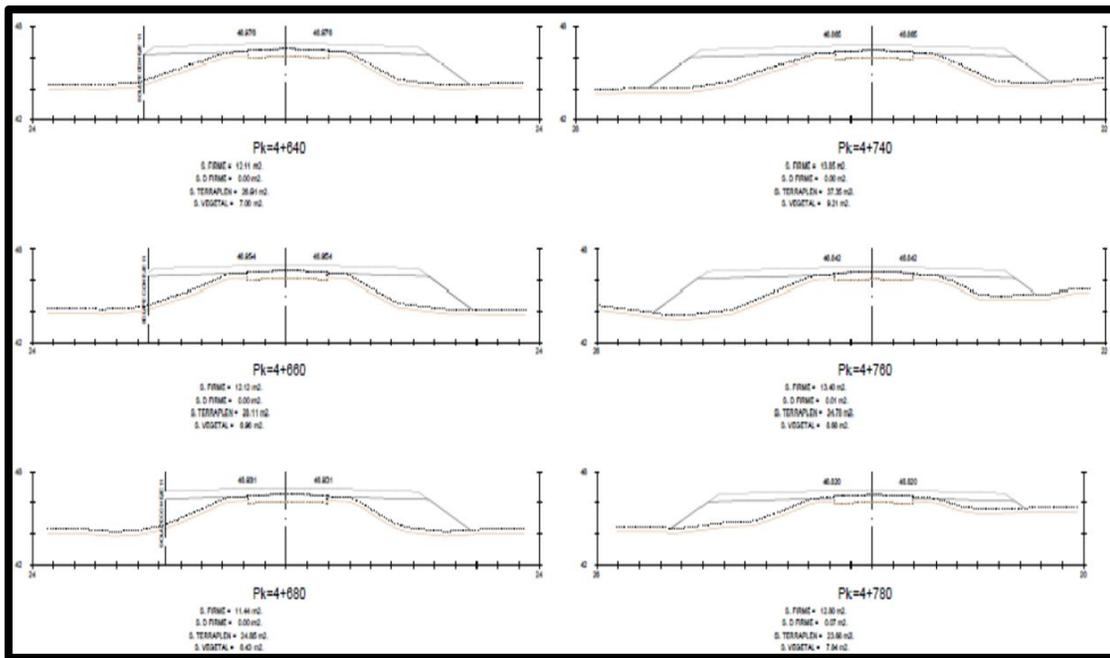
Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, página 69-71

Ilustración 10 Secciones Típicas en Relleno



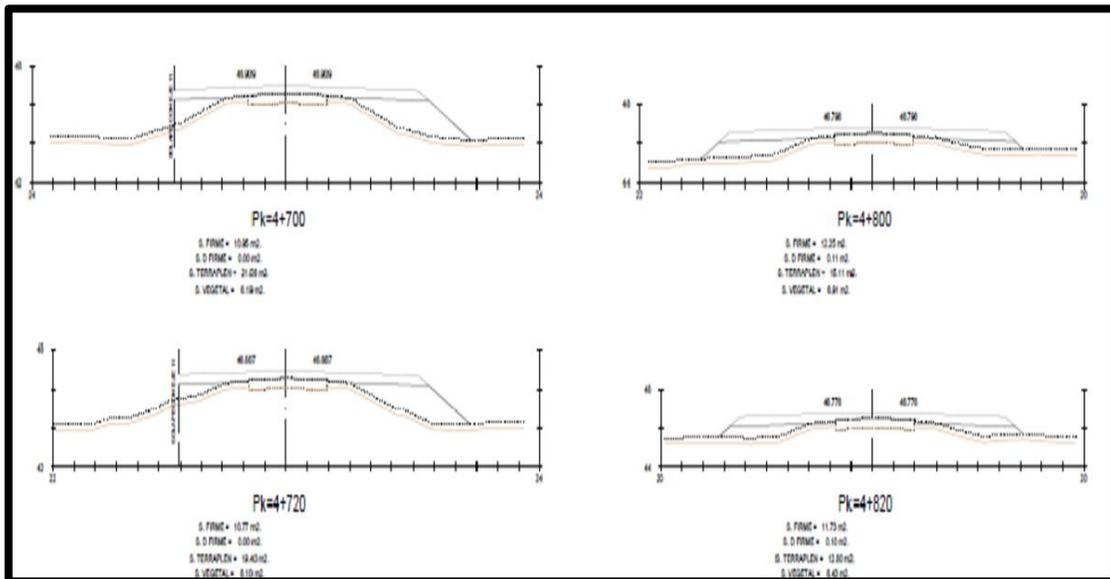
Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, página 69-71

Ilustración 11 Secciones Típicas en Relleno



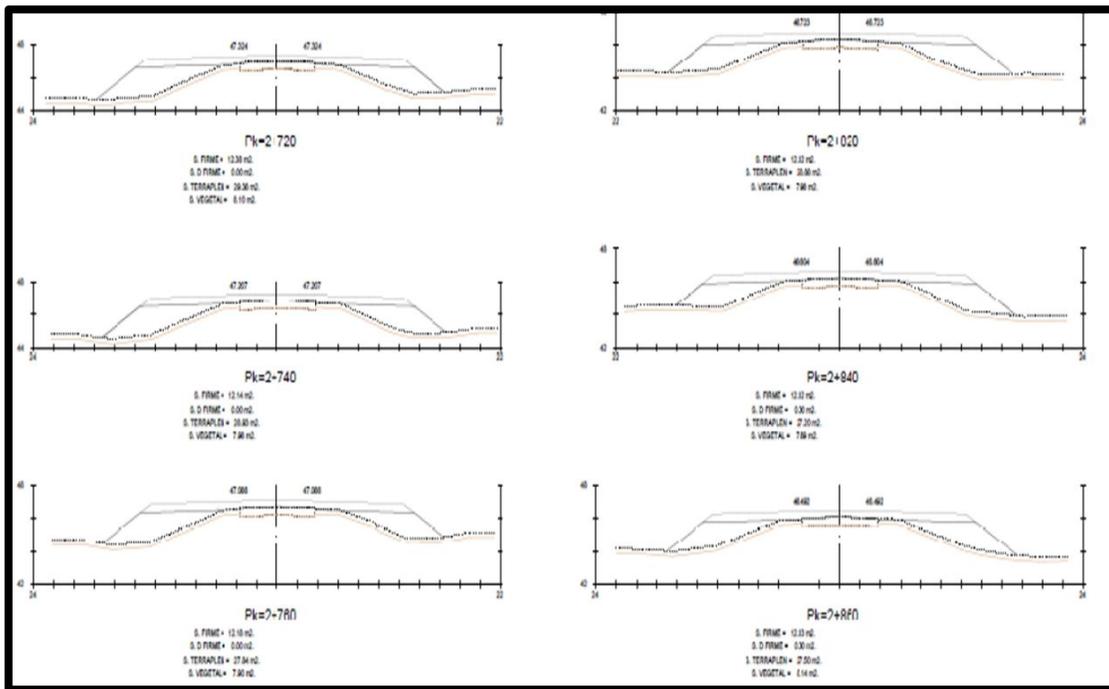
Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, página 69-71

Ilustración 12 Secciones Típicas en Relleno



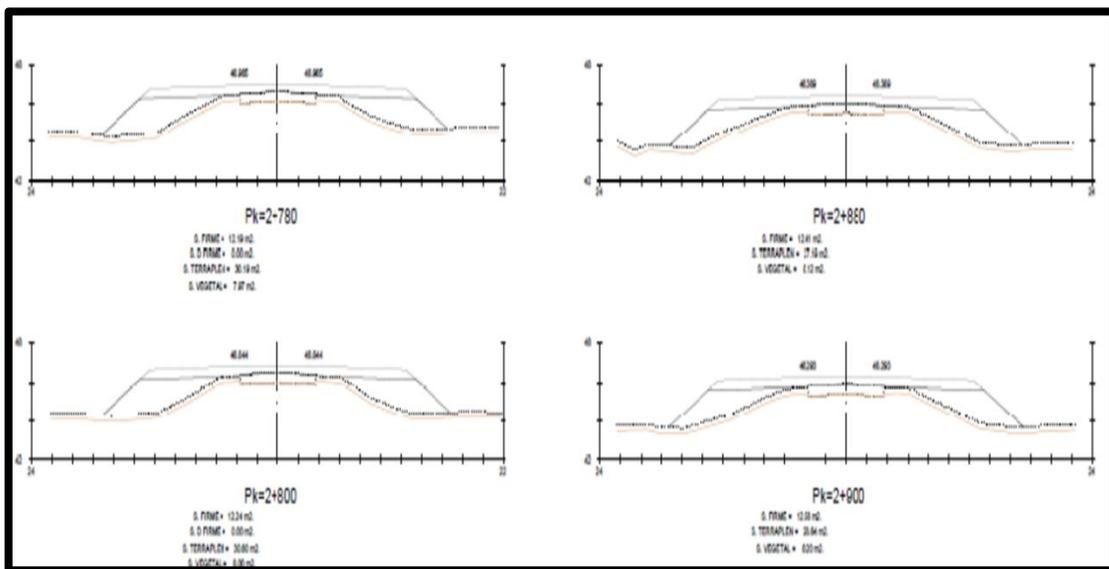
Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, página 69-71

Ilustración 13 Secciones Típicas en Relleno



Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, página 69-71

Ilustración 14 Secciones Típicas en Relleno



Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, página 69-71

Tabla 12 Espesores de Terraplén

ESTACION	ESPEJOR LADO IZQ.	ESPEJOR LADO DER.
0+000	0.47	0.47
0+100	1.06	1.14
0+200	1.38	2.37
0+300	1.5	1.57
0+400	0.47	3.78
0+500	0.47	0.47
0+600	1.44	1.74
0+700	1.69	1.37
0+800	1.71	1.37
0+900	0.78	0.73
1+000	1.56	1.21
1+100	2.73	1.97
1+200	2.36	2.72
1+300	3	3.03
1+400	3.27	3.83
1+500	4.1	3.6
1+600	3.13	3.04
1+700	2.33	2.52
1+800	1.64	1.7
1+900	2.03	1.99
2+000	2.31	2.09
2+100	1.09	1.67
2+200	1.63	1.61
2+300	1.73	1.39
2+400	2.11	1.71
2+500	2.16	2.08
2+600	2.17	2.09
2+700	2.39	1.03
2+800	2.33	2.18
2+900	1.41	1.4
3+000	2.23	2.09

Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa

Tabla 13 Espesores de Terraplén

ESTACION	ESPEJOR LADO IZQ.	ESPEJOR LADO DER.
3+100	1.6	2.28
3+200	1.31	1.24
3+300	1.31	2.29
3+400	1.62	1.55
3+500	1.69	1.61
3+600	1.82	1.91
3+700	1.26	2.16
3+800	1.39	1.51
3+900	1.72	1.89
4+000	1.93	2.01
4+100	2.66	2.02
4+200	2.04	1.14
4+300	1.2	3.01
4+400	2.79	2.7
4+500	2.52	2.45
4+600	1.59	1.55
4+700	1.57	1.59
4+800	1.44	2.36
4+900	1.05	1.04
5+000	1.16	1.46
5+100	1.69	1.53
5+200	1.84	1.86
5+300	2.4	2.03
5+400	2.27	2.56
5+500	3.27	3.53
5+600	3.48	3.11
5+700	3.45	3.18
5+800	2.71	2.11
5+900	2.35	1.63
6+000	2.07	1.39
6+100	1.91	1.83
6+200	1.3	1.63
6+300	1.07	1.12

Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa

Tabla 14 Relación Soporte de California (CBR) del banco de material El Paraíso, Ensayo AASHTO 193

PROPIEDAD	SONDEO	MUESTRA	PROCEDIMIENTO	Resultado (%)
CBR al 90 % del T 99	S-1	M-2	AASHTO T 193	24
CBR al 95 % del T 99	S-1	M-2	AASHTO T 193	41
CBR al 100 % del T 99	S-1	M-2	AASHTO T 193	53
CBR al 90 % del T 180	S-1	M-2	AASHTO T 193	32
CBR al 95 % del T 180	S-1	M-2	AASHTO T 193	50
CBR al 100 % del T 180	S-1	M-2	AASHTO T 193	71
CBR al 90 % del T 99	S-3	M-3	AASHTO T 193	23
CBR al 95 % del T 99	S-3	M-3	AASHTO T 193	37
CBR al 100 % del T 99	S-3	M-3	AASHTO T 193	66
CBR al 90 % del T 180	S-3	M-3	AASHTO T 193	37
CBR al 95 % del T 180	S-3	M-3	AASHTO T 193	62
CBR al 100 % del T 180	S-3	M-3	AASHTO T 193	104

Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa, Tabla 10, p. 15

Tabla 15 Valores más críticos de CBR al 95%

N°	Estación	CBR (%) saturado
1	0+000	20.0
2	0+100	19.0
3	0+200	19.0
4	0+300	28.0
5	0+400	19.0
6	0+500	15.0
7	0+600	28.0
8	0+700	19.0
9	0+800	37.0
10	0+900	28.0
11	1+000	7.0
12	1+100	58.0
13	1+200	50.0
14	1+300	42.0
15	1+400	51.0
16	1+500	11.0
17	1+600	52.0
18	1+700	19.0
19	1+800	52.0
20	1+900	42.0
21	2+000	24.0
22	2+100	14.0
23	2+200	6.0
24	2+300	19.0
25	2+400	37.0
26	2+500	17.0
27	2+600	42.0
28	2+700	3.8
29	2+800	13.0
30	2+900	52.0

Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa

Tabla 16 Valores más críticos de CBR al 95%

N°	Estación	CBR (%) saturado
31	3+000	24.0
32	3+100	37.0
33	3+200	27.0
34	3+300	28.0
35	3+400	37.0
36	3+500	19.0
37	3+600	50.0
38	3+700	51.0
39	3+800	52.0
40	3+900	58.0
41	4+000	34.0
42	4+100	21.0
43	4+200	21.0
44	4+300	27.0
45	4+400	13.0
46	4+500	7.0
47	4+600	58.0
48	4+700	14.0
49	4+800	27.0
50	4+900	5.0
51	5+000	6.0
52	5+100	27.0
53	5+200	51.0
54	5+300	58.0
55	5+400	54.0
56	5+500	17.0
57	5+600	4.0
58	5+700	28.0
59	5+800	6.0
60	5+900	27.0
61	6+000	34.0
62	6+100	6.0
63	6+200	6.0
64	6+300	21.0

Fuente: Estudio geotécnico final: La Garita-Tipitapa

Tabla 17 Resultados de CBR y Modulo de Resiliencia de Secciones Homogéneas

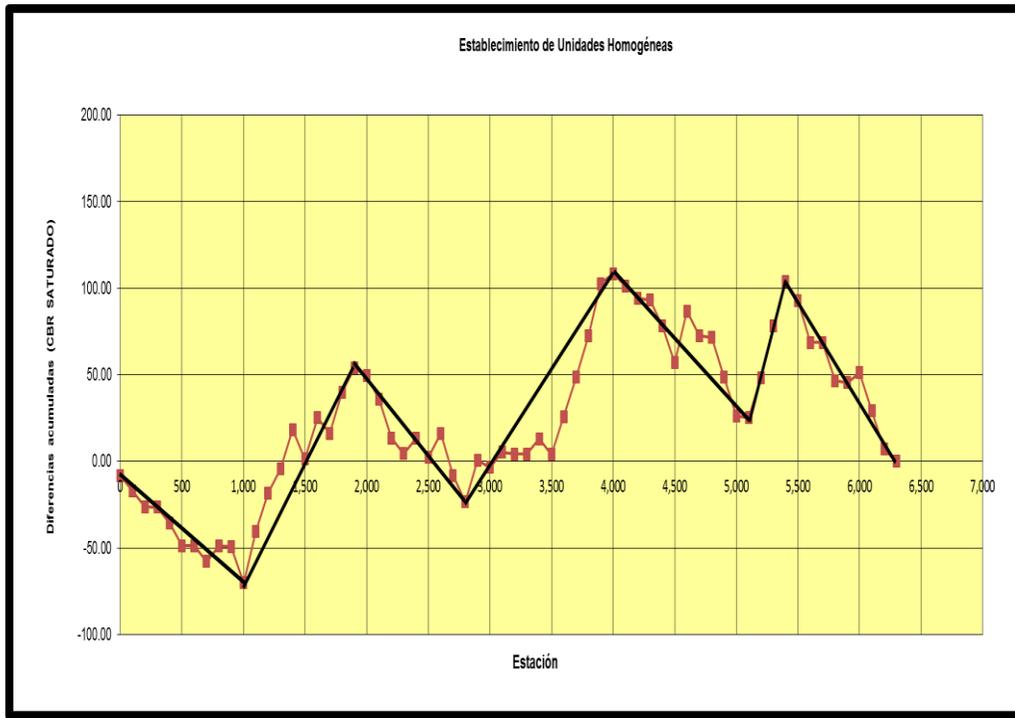
N°	Progresiva	CBR (%) saturado	MR por Venezuela (psi)	CBR PROMEDIO	MR Promedio
1	0+000	20	21,028	22	17,287
2	0+100	19	20,338		
3	0+200	19	20,338		
4	0+300	28	14,656		
5	0+400	19	20,338		
6	0+500	15	17,441		
7	0+600	28	14,656		
8	0+700	19	20,338		
9	0+800	37	15,862		
10	0+900	28	14,656		
11	1+000	7	10,500		
12	1+100	58	17,806		
13	1+200	50	17,164		
14	1+300	42	16,410		
15	1+400	51	17,250		
16	1+500	11	14,257		
17	1+600	52	17,334		
18	1+700	19	20,338		
19	1+800	52	17,334	20	14,754
20	1+900	42	16,410		
21	2+000	24	13,989		
22	2+100	14	16,676		
23	2+200	6	9,000		
24	2+300	19	20,338		
25	2+400	37	15,862		
26	2+500	17	18,920		
27	2+600	42	16,410		
28	2+700	3.8	5,700		
29	2+800	13	15,892		

SECCION DE DISEÑO

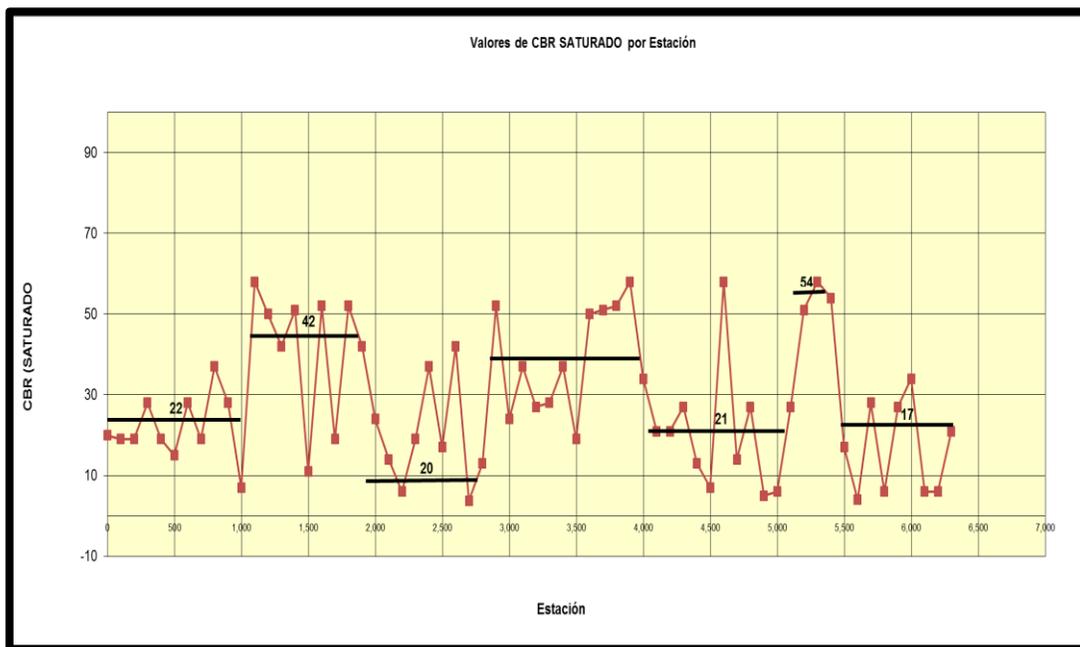
Tabla 18 Resultados de CBR y Modulo de Resiliencia de Secciones Homogéneas

SECCION DE DISEÑO	30	2+900	52	17,334	39	16,466
	31	3+000	24	13,989		
	32	3+100	37	15,862		
	33	3+200	27	14,499		
	34	3+300	28	14,656		
	35	3+400	37	15,862		
	36	3+500	19	20,338		
	37	3+600	50	17,164		
	38	3+700	51	17,250		
	39	3+800	52	17,334		
	40	3+900	58	17,806		
	41	4+000	34	15,496		
	42	4+100	21	13,412		
	43	4+200	21	13,412		
	44	4+300	27	14,499		
	45	4+400	13	15,892		
	46	4+500	7	10,500		
	47	4+600	58	17,806		
	48	4+700	14	16,676		
	49	4+800	27	14,499		
	50	4+900	5	7,500		
	51	5+000	6	9,000		
	52	5+100	27	14,499	54	17,518
	53	5+200	51	17,250		
	54	5+300	58	17,806		
	55	5+400	54	17,497		
	56	5+500	17	18,920	17	12,220
	57	5+600	4	6,000		
	58	5+700	28	14,656		
	59	5+800	6	9,000		
	60	5+900	27	14,499		
	61	6+000	34	15,496		
62	6+100	6	9,000			
63	6+200	6	9,000			
64	6+300	21	13,412			
	PROMEDIO	28.1063	15,392			

Gráfica 3 Establecimiento de Unidades Homogéneas vs Diferencias Acumuladas (CBR Saturado 95%)



Gráfica 4 Valores de CBR Saturados 95% por estaciones vs CBR Saturados



Gráfica 5 Establecimiento de Unidades Homogéneas vs Diferencias Acumuladas (Módulo de Resiliencia)



Gráfica 6 Valores de MR vs Estación

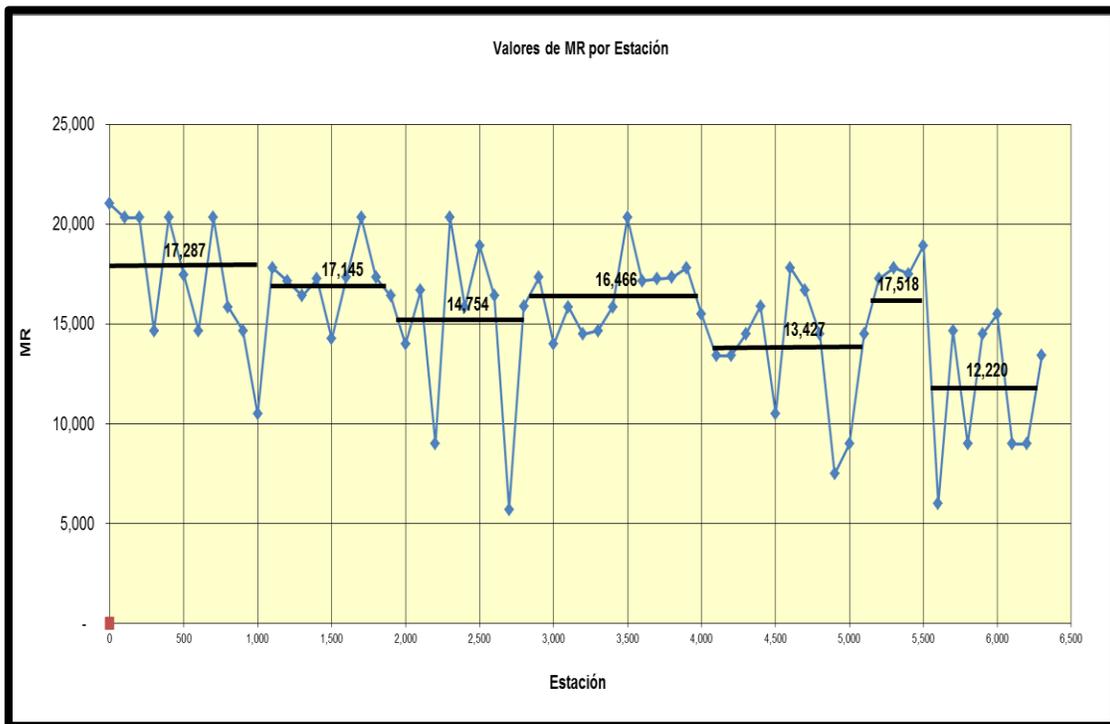


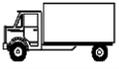
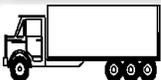
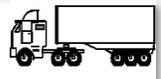
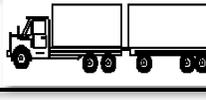
Tabla 19 Ubicación de los puntos de conteos volumétricos de tráfico

Estacionado	Actividad	Días (12 horas diarias)
16+200	Conteo Volumétrico	Viernes, Sábado, Domingo, Lunes, Martes.
19+200	Conteo Volumétrico	Viernes, Sábado, Domingo, Lunes, Martes.

Tabla 20 Tipología y descripción vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos PMS

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadracillos, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas Incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tr-Sp=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tr-Sp=4.
	Tr-Sp=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi-Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx=4
	Cx-Rx=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Traofores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Bemoventes).

Tabla 21 Diagrama de Cargas Permisibles (MTI)

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.
a: Eje sencillo llanta sencilla.
b: Eje sencillo llanta doble.

Fuente: Diagrama de Carga Permisible aprobado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI

Tabla 22 Tránsito Promedio Diurno 12 horas. Estación Número 1

Estación N° 1,		Carretera:La Garita - Tipitapa																				
Día	Bicic.	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga							Veh. Pesados		Otros	Total			
			Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C3R2	C2R2	T2S2	T3S2	T3S3	Veh. Agric			Veh. Const		
Lunes	102	576	1,363	608	1,680	184	66	318	470	528	123	4	1	0	277	29	0	9	8	6,244		
Martes	137	665	2,143	840	2,003	218	12	528	596	613	132	3	0	1	351	82	2	9	10	8,208		
Viernes	107	696	1,465	683	1,902	186	25	404	616	645	142	2	0	0	323	67	0	2	13	7,171		
Sábado	130	740	1,580	782	1,959	243	24	473	588	591	142	4	0	0	354	45	0	4	16	7,545		
Domingo	72	304	853	289	918	55	17	187	206	240	52	0	0	0	110	7	0	1	6	3,245		
Total	548	2,981	7,404	3,202	8,462	886	144	1,910	2,476	2,617	591	13	1	1	1,415	230	2	25	53	32,413		
TPDiurno	110	596	1,481	640	1,692	177	29	382	495	523	118	3	0	0	283	46	0	5	11	6,483		
% Porcentaje		9%	23%	10%	26%	3%	0%	6%	8%	8%	2%	0%	0%	0%	4%	1%	0%	0%	0%	100%		

Tabla 23 Tránsito Promedio Diurno 12 horas. Estación Número 2

Estación: N° 2		Carretera:La Garita - Tipitapa																				
Día	Bicic.	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga							Veh. Pesados		Otros	Total			
			Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C3R2	C2R2	T2S2	T3S2	T3S3	Veh. Agric			Veh. Const		
Lunes	32	669	1716	308	2283	133	22	348	590	570	109	2	0	0	286	45	1	1	3	7086		
Martes	64	565	1719	493	2187	186	45	368	590	651	139	7	1	379	80	1	1	6	14	7432		
Viernes	85	905	2065	362	2709	126	116	471	512	846	284	1	4	4	244	81	3	1	1	8735		
Sábado	56	547	1331	190	1750	117	48	348	336	389	66	1	1	8	277	56	0	2	1	5468		
Domingo	39	301	925	169	1157	48	12	205	215	259	23	0	4	7	102	5	0	3	0	3435		
Total	276	2,987	7,756	1,522	10,086	610	243	1,740	2,243	2,715	621	11	10	398	989	188	5	13	19	32,156		
TPDiurno	55	597	1,551	304	2,017	122	49	348	449	543	124	2	2	80	198	38	1	3	4	6,431		
% Porcentaje		9%	24%	5%	31%	2%	1%	5%	7%	8%	2%	0%	0%	1%	3%	1%	0%	0%	0%	100%		

Tabla 24 Factores correspondientes al tercer cuatrimestre de la EMC 101 B “Zona Franca – La Garita” del Anuario de Tráfico 2013 MTI

Tercer Cuatrimestre: Septiembre - Diciembre																	
Camino: NIC -1	Estación:101B	Tramo: Zona Franca - La Garita										Año: 2013					
Descripción	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros				Pesados de Carga						Veh. Pesados		Otros
		Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	TxSx<=4	TxSx=>5	CxRx<=4	CxRx=>5	Veh. Agric.	Veh. Const.	
Factor Día	1.22	1.33	1.26	1.24	1.31	1.50	1.20	1.19	1.37	1.28	1.00	1.46	1.00	1.00	1.00	1.00	1.25
Factor Semana	0.93	0.97	0.94	0.92	0.93	0.88	0.93	0.87	0.87	0.85	0.86	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor Fin de Semana	1.23	1.09	1.21	1.26	1.21	1.55	1.22	1.56	1.58	1.77	1.71	1.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor Exp. TPDA	0.93	1.01	1.04	1.00	1.00	1.27	0.96	0.95	0.98	1.03	1.83	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98

Fuente: Anuario de Tráfico 2013 del Ministerio de Transporte e Infraestructura, p. 211

Tabla 25 Tránsito Promedio Diario 24 horas. Estación Número 1

Estación Nº 1,		Carretera:La Garita - Tipitapa																	
Dia	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga						Veh. Pesados		Otros	Total		
		Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C3R2	C2R2	T2S2	T3S2	T3S3			Veh. Agric.	Veh. Const.
Lunes	703	1813	766	2083	241	99	382	559	723.4	157.4	4	1	0	404	42	0	9	10	7997.3
Martes	811	2850	1058	2484	286	18	634	709	839.8	169	3	0	1	512	120	2	9	12.5	10518
Viernes	849	1948	861	2358	244	38	485	733	884	181.8	2	0	0	472	98	0	2	16.25	9170.7
Sábado	903	2101	985	2429	318	36	568	700	810	181.8	4	0	0	517	66	0	4	20	9642.3
Domingo	371	1134	364	1138	72	26	224	245	329	66.56	0	0	0	161	10	0	1	7.5	4149.6
Total	3.637	9.847	4.035	10.493	1.161	216	2.292	2.946	3.585	756	13	1	1	2.066	336	2	25	66	41.478
TPDiario (vpd)	727	1.969	807	2.099	232	43	458	589	717	151	3	0	0	413	67	0	5	13	8.296
% Porcentaje	9%	24%	10%	25%	3%	1%	6%	7%	9%	2%	0%	0%	0%	5%	1%	0%	0%	0%	100%

Tabla 26 Tránsito Promedio Diario 24 horas. Estación Número 2

Estación: Nº 2		Carretera:La Garita - Tipitapa																	
Dia	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga						Veh. Pesados		Otros	Total		
		Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C3R2	C2R2	T2S2	T3S2	T3S3			Veh. Agric.	Veh. Const.
Lunes	816	2282	388	2831	174	33	418	702	781	140	2	0	0	418	66	1	1	4	9056
Martes	689	2286	621	2712	244	68	442	702	892	178	7	1	379	117	1	1	6	18	9363
Viernes	1104	2746	456	3359	165	174	565	609	1159	364	1	4	4	356	118	3	1	1	11191
Sábado	667	1770	239	2170	153	72	418	400	533	84	1	1	8	404	82	0	2	1	7007
Domingo	367	1230	213	1435	63	18	246	256	355	29	0	4	7	149	7	0	3	0	4382
Total	3.644	10.315	1.918	12.507	799	365	2.088	2.669	3.720	795	11	10	398	1.444	274	5	13	24	40.998
TPDiario (vpd)	729	2.063	384	2.501	160	73	418	534	744	159	2	2	80	289	55	1	3	5	8.200
%Porcentaje	9%	25%	5%	31%	2%	1%	5%	7%	9%	2%	0%	0%	1%	4%	1%	0%	0%	0%	100%

Tabla 27 Tránsito Promedio Diario Anual. Estación Número 1

Estación N° 1,	Carretera:La Garita - Tipitapa																		
	Ambos sentidos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga							Veh. Pesados		Otros	Total (vpd)	
	Grupo	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C3R2	C2R2	T2S2	T3S2	T3S3			Veh. Agric
TPD 24 horas (días Laborales)	788	2204	895	2308	257	52	500	667	816	169	3	0	0	463	87	1	7	13	9229
TPD 24 horas (Fin de Semana)	637	1,618	675	1,784	195	31	396	472	569	124	2	0	0	339	38	0	3	14	6896
Factor Semana	0.93	0.97	0.94	0.92	0.93	0.88	0.93	0.87	0.87	0.85	1.00	1.00	0.86	0.87	0.87	1.00	1.00	1.00	
Factor Fin de Semana	1.23	1.09	1.21	1.26	1.21	1.55	1.22	1.56	1.58	1.77	1.00	1.00	1.71	1.62	1.62	1.00	1.00	1.00	
TPDS	758	1951	829	2186	237	46	474	659	804	182	3	0	0	476	68	0	5	13	8691
Factor Expasión a TPDA	0.93	1.01	1.04	1.00	1.00	1.27	0.96	0.95	0.98	1.03	1.00	1.00	1.83	1.01	1.01	1.00	1.00	0.98	
TPDA (vpd)	705	1970	862	2186	237	59	455	626	788	187	3	0	0	480	69	0	5	13	8646
% TPDA	8%	23%	10%	25%	3%	1%	5%	7%	9%	2%	0%	0%	0%	6%	1%	0%	0%	0%	100%

Tabla 28 Tránsito Promedio Diario Anual. Estación Número 2

Estación N° 2	Carretera:La Garita - Tipitapa																		
	Ambos sentidos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga							Veh. Pesados		Otros	Total (vpd)	
	Grupo	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C3R2	C2R2	T2S2	T3S2	T3S3			Veh. Agric
TPD 24 horas (días Laborales)	870	2438	488	2967	194	92	475	671	944	227	3	2	128	297	62	2	3	8	9870
TPD 24 horas (Fin de Semana)	517	1,500	226	1,802	108	45	332	328	444	57	1	3	8	277	45	0	3	1	5694
Factor Semana	0.93	0.97	0.94	0.92	0.93	0.88	0.93	0.87	0.87	0.85	1.00	1.00	0.86	0.87	0.87	1.00	1.00	1.00	
Factor Fin de Semana	1.23	1.09	1.21	1.26	1.21	1.55	1.22	1.56	1.58	1.77	1.00	1.00	1.71	1.62	1.62	1.00	1.00	1.00	
TPDS	723	2000	366	2500	156	75	423	548	761	147	2	2	61	353	63	1	3	4	8189
Factor Expasión a TPDA	0.93	1.01	1.04	1.00	1.00	1.27	0.96	0.95	0.98	1.03	1.00	1.00	1.83	1.01	1.01	1.00	1.00	0.98	
TPDA (vpd)	672	2020	381	2500	156	95	406	520	746	151	2	2	112	357	64	1	3	4	8193
% TPDA	8%	25%	5%	31%	2%	1%	5%	6%	9%	2%	0%	0%	1%	4%	1%	0%	0%	0%	100%

Tabla 29 Tránsito Promedio Diario Anual Promedio del Tramo de Carretera

Grupo	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga							Veh. Pesados		Otros	Total (vpd)	
		Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C3R2	C2R2	T2S2	T3S2	T3S3	Veh. Agric			Veh. Const
TPDA PROMEDIO TRAMO	688	1995	622	2343	197	77	431	573	767	169	2	1	56	419	66	1	4	9	8420
% TPDA	8.18%	23.70%	7.38%	27.83%	2.34%	0.92%	5.12%	6.81%	9.11%	2.01%	0.03%	0.01%	0.67%	4.97%	0.79%	0.01%	0.04%	0.10%	100.00%

Tabla 30 Clasificación funcional de las Carreteras Regionales según el TPDA, Número de Carriles y Tipo de Superficie de Rodadura

TPDA	> 20,000		20,000 – 10,000		10,000 – 3,000		3,000 - 500	
	C	S	C	S	C	S	C	S
AR – Autopistas Regionales	6 – 8	Pav.	4 – 6	Pav.				
TS – Troncales Suburbanas	4	Pav.	2 – 4	Pav.	2	Pav.		
TR – Troncales Rurales	4	Pav.	2 – 4	Pav.	2	Pav.		
CS – Colectoras Suburbanas			2 – 4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR – Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

TPDA = Tránsito promedio diario anual; C = Número de carriles; S = Superficie de rodadura; Pav. = pavimentadas

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001

Tabla 31 Cantidad de encuestas por tipo de vehículo

CANTIDAD DE ENCUESTAS POR TIPO DE VEHICULO						
TIPO DE VEHICULO	7/11/2014	8/11/2014	9/11/2014	10/11/2014	11/11/2014	TOTAL
AUTO	9	12	9	3	3	36
MOTO	3	5				8
JEEP	1		1	1		3
MB				1		1
C2L	58	109	86	75	71	399
C2	275	244	171	290	154	1134
C3	64	30	16	40	21	171
C3R2	4	1				5
T3S2	87	39	38	81	63	308
TOTAL	501	440	321	491	312	2065

Tabla 32 Matriz O/D Rutas

O/D	CARAZO	CHINANDEGA	CHONTALES	ESTELI	BOACO	GRANADA	HONDURAS	JINOTEGA	LEON	MADRIZ	MANAGUA	MATAGALPA	MASAYA	NUEVA SEGOVIA	RAAN	RAAS	RIO SAN JUAN	RIVAS	TOTAL	
BOACO											26									26
CHINANDEGA											2					1				3
CHONTALES					1						149								2	152
COSTA RICA											13									13
ESTELI									1		108									109
GRANADA											14									14
HONDURAS											8									8
EL SALVADOR											5									5
JINOTEGA											26									26
LEON											7	1								8
MADRIZ											9									9
MANAGUA	2	3	140	107	63	8	6	56	1	2	811	82	34	13	24	19	4	10	1397	
MASAYA				1							119									120
MATAGALPA		1									103									104
NUEVA SEGOVIA											2				1					3
RAAN											29									29
RAAS											18									18
RIO SAN JUAN											6									6
RIVAS											15									15
TOTAL	2	4	140	108	70	8	6	56	2	2	1470	83	34	19	25	20	4	12	2065	

Tabla 33 Matriz O/D – Porcentaje

O/D	CARAZO	CHINANDEGA	CHONTALES	ESTELI	BOACO	GRANADA	HONDURAS	JINOTEGA	LEON	MADRIZ	MANAGUA	MATAGALPA	MASAYA	NUEVA SEGOVIA	RAAN	RAAS	RIO SAN JUAN	RIVAS	TOTAL	
BOACO	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.26%
CHINANDEGA	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%
CHONTALES	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	7.22%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%	0.00%	7.36%
COSTA RICA	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.63%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.63%
ESTELI	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	5.23%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.28%
GRANADA	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.68%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.68%
HONDURAS	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%
EL SALVADOR	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.24%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.24%
JINOTEGA	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.26%
LEON	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.34%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%
MADRIZ	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.44%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.44%
MANAGUA	0.10%	0.15%	6.78%	5.18%	3.34%	0.39%	0.29%	2.71%	0.05%	0.10%	39.27%	3.97%	1.65%	0.32%	1.16%	0.92%	0.19%	0.48%	0.00%	67.65%
MASAYA	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.78%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.81%
MATAGALPA	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	4.99%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.04%
NUEVA SEGOVIA	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%
RAAN	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.40%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.40%
RAAS	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.87%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.87%
RIO SAN JUAN	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%
RIVAS	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.73%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.73%
TOTAL	0%	0%	7%	5%	3%	0%	0%	3%	0%	0%	71%	4%	2%	1%	1%	1%	0%	1%	0%	100%

Ilustración 15 Carretera Zona Franca - Sabana Grande – Proinco - Tip Top Masaya

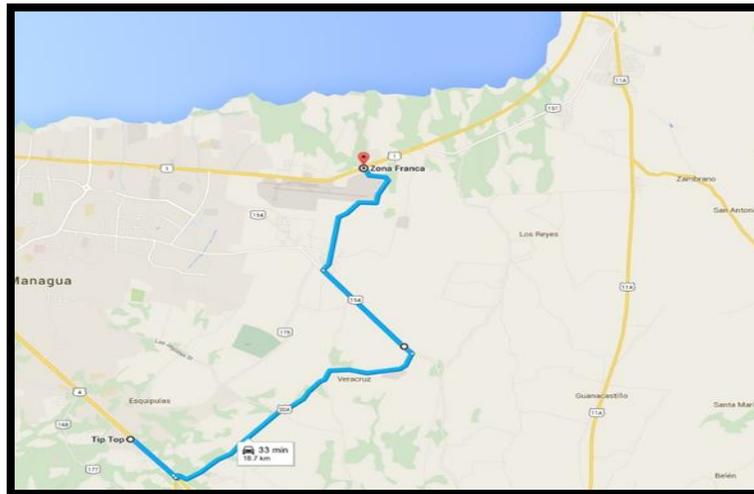


Ilustración 16 Tramo de Carretera “La Garita-Tipitapa”

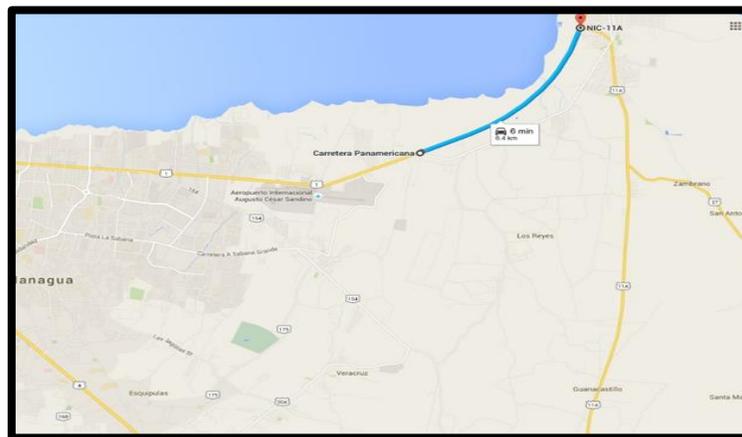
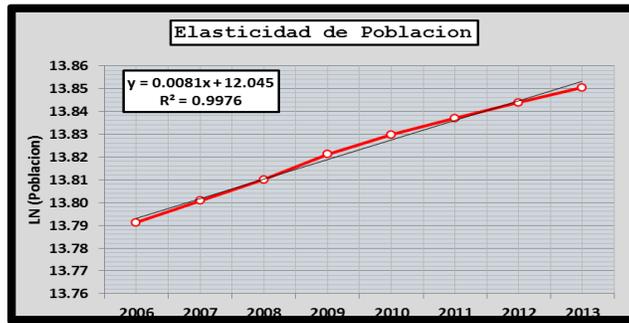


Tabla 34 Usuarios potenciales actuales

O/D	GRANADA	MANAGUA	MASAYA	RIVAS	TOTAL
CHONTALES		149			149
COSTA RICA		13			13
GRANADA		14			14
MANAGUA	8		34	10	52
MASAYA		119			119
RIVAS		15			15
TOTAL	8	310	34	10	362

Gráfica 7 Elasticidad de Población



Gráfica 8 Elasticidad del Parque Vehicular



Gráfica 9 Elasticidad del PIB



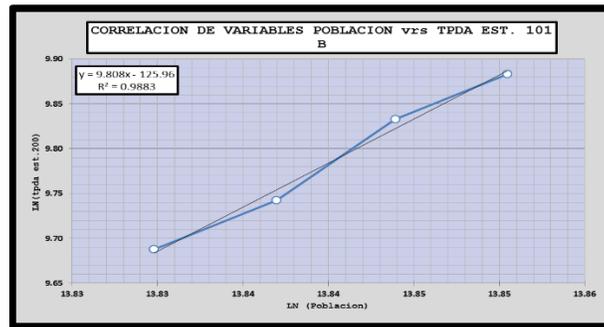
Gráfica 10 Elasticidad de Combustible



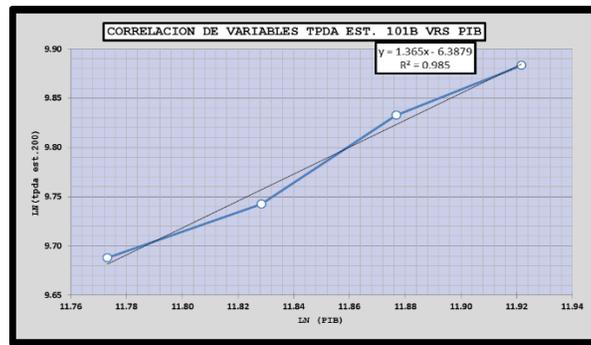
Gráfica 11 Elasticidad del TPDA Est. 101B



Gráfica 12 Correlación de variables Población vs TPDA Est. 101B



Gráfica 13 Correlación de variables TPDA Est. 101B vs PIB



Gráfica 14 Correlación de variables TPDA livianos EMC 101B vs PIB

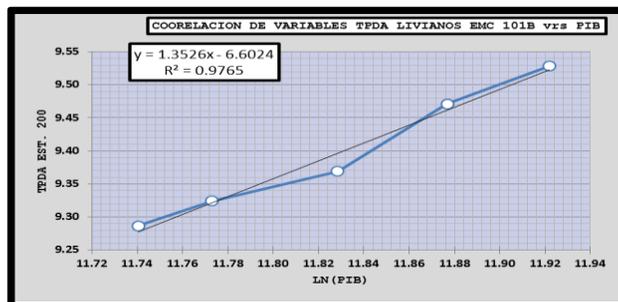


Tabla 35 Cálculo de Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Normal

AÑO	VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHÍCULOS DE PASAJEROS			VEHÍCULOS DE CARGA											VEHÍCULO PESADOS		OTROS	Total	TASAS DE CRECIMIENTO		
	Motos	Autos	Camta.	Jeep	MB	Mediano	Grande	Camión			Camión Remolque			Cabezal/Semi Remolque				V. A.	V. C	Liviano			Pasajeros	Carga	
								Camión Liv.	C2	C3	C2R2	C2R3	C3R3	T2S1	T2S2	T3S2	T3S3								
2014	688	1,995	2,343	622	197	77	431	573	767	169	1	2	0	0	56	419	66	1	4	9	8,420				
2015	721	2,090	2,454	652	207	81	453	601	804	178	2	3	0	0	59	440	70	2	5	10	8,832	4.73%	4.90%	4.78%	
2016	756	2,189	2,571	683	214	84	467	630	843	187	3	4	0	0	62	462	74	3	6	11	9,249	4.73%	2.94%	4.78%	
2017	792	2,293	2,693	716	221	87	481	661	884	196	4	5	0	0	65	485	78	4	7	12	9,684	4.73%	2.94%	4.78%	
2018	830	2,402	2,821	750	228	90	496	693	927	206	5	6	0	0	69	509	82	5	8	13	10,140	4.73%	2.94%	4.78%	
2019	870	2,516	2,955	786	235	93	511	727	972	216	6	7	0	0	73	534	86	6	9	14	10,616	4.73%	2.94%	4.78%	
2020	912	2,636	3,095	824	242	96	527	762	1,019	227	7	8	0	0	77	560	91	7	10	15	11,115	4.73%	2.94%	4.78%	
2021	956	2,761	3,242	863	250	99	543	799	1,068	238	8	9	0	0	81	587	96	8	11	16	11,635	4.73%	2.94%	4.78%	
2022	1,002	2,892	3,396	904	258	102	559	838	1,120	250	9	10	0	0	85	616	101	9	12	17	12,180	4.73%	2.94%	4.78%	
2023	1,050	3,029	3,557	947	266	105	576	879	1,174	262	10	11	0	0	90	646	106	10	13	18	12,749	4.73%	2.94%	4.78%	
2024	1,100	3,173	3,726	992	274	109	593	922	1,231	275	11	12	0	0	95	677	112	11	14	19	13,346	4.73%	2.94%	4.78%	
2025	1,153	3,324	3,903	1,039	283	113	611	967	1,290	289	12	13	0	0	100	710	118	12	15	20	13,972	4.73%	2.94%	4.78%	
2026	1,208	3,482	4,088	1,089	292	117	629	1,014	1,352	303	13	14	0	0	105	744	124	13	16	21	14,624	4.73%	2.94%	4.78%	
2027	1,266	3,647	4,282	1,141	301	121	648	1,063	1,417	318	14	15	0	0	111	780	130	14	17	23	15,308	4.73%	2.94%	4.78%	
2028	1,326	3,820	4,485	1,195	310	125	668	1,114	1,485	334	15	16	0	0	117	818	137	15	18	25	16,023	4.73%	2.94%	4.78%	
2029	1,389	4,001	4,698	1,252	320	129	688	1,168	1,556	350	16	17	0	0	123	858	144	16	19	27	16,771	4.73%	2.94%	4.78%	
2030	1,455	4,191	4,921	1,312	330	133	709	1,224	1,631	367	17	18	0	0	129	900	151	17	20	29	17,554	4.73%	2.94%	4.78%	
2031	1,529	4,404	5,171	1,379	340	137	730	1,287	1,715	386	18	19	0	0	136	947	159	18	22	31	18,428	5.07%	2.94%	5.12%	
2032	1,607	4,628	5,434	1,449	350	142	752	1,353	1,803	406	19	20	0	0	143	996	168	19	24	33	19,346	5.07%	2.94%	5.12%	
2033	1,689	4,863	5,710	1,523	361	147	775	1,423	1,896	427	20	22	0	0	151	1,047	177	20	26	35	20,312	5.07%	2.94%	5.12%	
2034	1,775	5,110	6,000	1,601	372	152	798	1,496	1,994	449	22	24	0	0	159	1,101	187	22	28	37	21,327	5.07%	2.94%	5.12%	
2035	1,865	5,370	6,305	1,683	383	157	822	1,573	2,097	472	24	26	0	0	168	1,158	197	24	30	39	22,393	5.07%	2.94%	5.12%	
2036	1,960	5,643	6,625	1,769	395	162	847	1,654	2,205	497	26	28	0	0	177	1,218	208	26	32	41	23,513	5.07%	2.94%	5.12%	
2037	2,060	5,930	6,961	1,859	407	167	872	1,739	2,318	523	28	30	0	0	187	1,281	219	28	34	44	24,687	5.07%	2.94%	5.12%	
%Porcentaje	8.34%	24.02%	28.20%	7.53%	1.65%	0.68%	3.53%	7.04%	9.39%	2.12%	0.11%	0.12%	0.00%	0.00%	0.76%	5.19%	0.89%	0.11%	0.14%	0.18%	100.00%				

Tabla 36 Tabla de Producción total (en toneladas), Con/Sin Proyecto

PRODUCCIÓN TOTAL (EN TONELADAS)				
Año	Sin Proyecto	Con Proyecto	Excedente Anual	Excedente por día
0	154130.39	154130.39	0.00	0
1	155702.81	155702.81	0.00	0
2	157291.42	158177.33	885.90	2.427127634
3	158896.40	163977.86	5081.46	13.92181764
4	160517.90	169992.23	9474.33	25.95707963
5	162156.11	176228.35	14072.24	38.55408574
6	163811.19	182694.39	18883.20	51.73480348
7	165483.33	189398.87	23915.54	65.52202523
8	167172.70	196350.58	29177.88	79.93939896
9	168879.48	203558.66	34679.18	95.01145995
10	170603.85	211032.59	40428.74	110.7636638
11	172346.00	218782.19	46436.18	127.2224205
12	174106.12	226817.64	52711.52	144.4151301
13	175884.39	235149.52	59265.13	162.3702192
14	177680.99	243788.76	66107.77	181.1171793
15	179496.13	252746.74	73250.61	200.6866061
16	181330.00	262035.24	80705.24	221.1102409
17	183182.79	271666.46	88483.67	242.4210124
18	185054.69	281653.07	96598.37	264.6530816
19	186945.92	292008.21	105062.29	287.8418871
20	188856.67	302745.50	113888.83	312.0241925

Tabla 37 Vehículos de carga presentes en el tramo y su porcentaje de participación

TIPO DE VEHÍCULO	VEHÍCULOS DE CARGA										Cantidad Total
	Camión			Camión Remolque			Cabezal/Semi Remolque				
	Camión L	C2	C3	C2R2	C2R3	C3R3	T2S1	T2S2	T3S2	T3S3	
Cantidad en el año 2037	1,716	2,296	506	3	6	0	0	168	1,254	198	6,147
% Porcentaje	27.91%	37.36%	8.23%	0.05%	0.10%	0.00%	0.00%	2.73%	20.41%	3.21%	100.00%
Carga Permisible	5	15	21.5	26.5	34	37.5	23	30	37	41	Toneladas
Índice de Utilización	50%										Porcentaje de Carga

Tabla 38 Cálculo de Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Desarrollado

AÑO	VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHÍCULOS DE PASAJEROS			VEHÍCULOS DE CARGA										VEHÍCULO PESADOS		Total
	Motos	Autos	Camta.	Jeep	MB	Mediano	Grand e	Camión			Camión Remolque			Cabezal/Semi Remolque			V. A.	V. C		
								Camión I	C2	C3	C2R2	C2R3	C3R3	T2S1	T2S2	T3S2			T3S3	
2014																				
2015																				
2016																				
2017																				
2018								0	0	0						0				0
2019								0	0	0						0				0
2020								0	0	0						0				0
2021								1	0	0						0				1
2022								1	0	0						0				1
2023								1	1	0						0				2
2024								2	1	0						0				3
2025								2	1	0						0				3
2026								3	1	0						0				4
2027								3	1	0						0				4
2028								4	2	0						0				6
2029								4	2	0						0				6
2030								5	2	0						0				7
2031								5	2	0						0				7
2032								6	2	0						1				9
2033								6	3	0						1				10
2034								7	3	0						1				11
2035								7	3	1						1				12
2036								8	4	1						1				14
2037								9	4	1						1				15
%Porcentaje	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	60.00%	26.67%	6.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

Tabla 39 Cálculo de Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Desviado

PORCENTAJE DE DESVIACIÓN		17.53%																			
AÑO	VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHÍCULOS DE PASAJEROS			VEHÍCULOS DE CARGA											VEHÍCULOS PESADOS		Total
	Motos	Autos	Camta.	Jeep	MB	Mediano	Grande	Camión			Camión Remolque			Cabezal/Semi Remolque			V. A.	V. C			
								Camión n L	C2	C3	C2R2	C2R3	C3R3	T2S1	T2S2	T3S2			T3S3		
2014																					
2015																					
2016																					
2017																					
2018	146	422	495	132				122	163	37	1	2	0	0	13	90	15			1,638	
2019	153	442	519	138				128	171	38	2	2	0	0	13	94	16			1,716	
2020	160	463	543	145				134	179	40	2	2	0	0	14	99	16			1,797	
2021	168	485	569	152				141	188	42	2	2	0	0	15	103	17			1,884	
2022	176	507	596	159				147	197	44	2	2	0	0	15	108	18			1,971	
2023	185	531	624	167				155	206	46	2	2	0	0	16	114	19			2,067	
2024	193	557	654	174				162	216	49	2	3	0	0	17	119	20			2,166	
2025	203	583	685	183				170	227	51	3	3	0	0	18	125	21			2,272	
2026	212	611	717	191				178	238	54	3	3	0	0	19	131	22			2,379	
2027	222	640	751	201				187	249	56	3	3	0	0	20	137	23			2,492	
2028	233	670	787	210				196	261	59	3	3	0	0	21	144	25			2,612	
2029	244	702	824	220				205	273	62	3	3	0	0	22	151	26			2,735	
2030	256	735	863	230				215	286	65	3	4	0	0	23	158	27			2,865	
2031	269	773	907	242				226	301	68	4	4	0	0	24	167	28			3,013	
2032	282	812	953	255				238	317	72	4	4	0	0	26	175	30			3,168	
2033	297	853	1,001	267				250	333	75	4	4	0	0	27	184	32			3,327	
2034	312	896	1,052	281				263	350	79	4	5	0	0	28	194	33			3,497	
2035	327	942	1,106	296				276	368	83	5	5	0	0	30	203	35			3,676	
2036	344	990	1,162	311				290	387	88	5	5	0	0	32	214	37			3,865	
2037	362	1,040	1,221	326				305	407	92	5	6	0	0	33	225	39			4,061	
% Porcentaje	8.91%	25.61%	30.07%	8.03%	0.00%	0.00%	0.00%	7.51%	10.02%	2.27%	0.12%	0.15%	0.00%	0.00%	0.81%	5.54%	0.96%	0.00%	0.00%	100.00%	

Tabla 40 Cálculo de Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual Total

AÑO	VEHÍCULOS LIVIANOS				VEHÍCULOS DE PASAJEROS			VEHÍCULOS DE CARGA										VEHÍCULOS PESADOS		OTROS	Total
	Motos	Autos	Camta	Jeep	MB	Mediano	Grande	Camión			Camión Remolque			Cabezal/Semi Remolque				V. A.	V. C.		
								Camión L	C2	C3	C2R2	C2R3	C3R3	T2S1	T2S2	T3S2	T3S3				
2014	688	1,995	2,343	622	197	77	431	573	767	169	1	2	0	0	56	419	66	1	4	9	8,420
2015	721	2,090	2,454	652	207	81	453	601	804	178	2	3	0	0	59	440	70	2	5	10	8,832
2016	756	2,189	2,571	683	214	84	467	630	843	187	3	4	0	0	62	462	74	3	6	11	9,249
2017	792	2,293	2,693	716	221	87	481	661	884	196	4	5	0	0	65	485	78	4	7	12	9,684
2018	684	1,980	2,326	618	228	90	496	571	764	169	4	4	0	0	56	419	67	5	8	13	8,502
2019	717	2,074	2,436	648	235	93	511	599	801	178	4	5	0	0	60	440	70	6	9	14	8,900
2020	752	2,173	2,552	679	242	96	527	628	840	187	5	6	0	0	63	461	75	7	10	15	9,318
2021	788	2,276	2,673	711	250	99	543	659	880	196	6	7	0	0	66	484	79	8	11	16	9,752
2022	826	2,385	2,800	745	258	102	559	692	923	206	7	8	0	0	70	508	83	9	12	17	10,210
2023	865	2,498	2,933	780	266	105	576	725	969	216	8	9	0	0	74	532	87	10	13	18	10,684
2024	907	2,616	3,072	818	274	109	593	762	1,016	226	9	9	0	0	78	558	92	11	14	19	11,183
2025	950	2,741	3,218	856	283	113	611	799	1,064	238	9	10	0	0	82	585	97	12	15	20	11,703
2026	996	2,871	3,371	898	292	117	629	839	1,115	249	10	11	0	0	86	613	102	13	16	21	12,249
2027	1,044	3,007	3,531	940	301	121	648	879	1,169	262	11	12	0	0	91	643	107	14	17	23	12,820
2028	1,093	3,150	3,698	985	310	125	668	922	1,226	275	12	13	0	0	96	674	112	15	18	25	13,417
2029	1,145	3,299	3,874	1,032	320	129	688	967	1,285	288	13	14	0	0	101	707	118	16	19	27	14,042
2030	1,199	3,456	4,058	1,082	330	133	709	1,014	1,347	302	14	14	0	0	106	742	124	17	20	29	14,696
2031	1,260	3,631	4,264	1,137	340	137	730	1,066	1,416	318	14	15	0	0	112	780	131	18	22	31	15,422
2032	1,325	3,816	4,481	1,194	350	142	752	1,121	1,488	334	15	16	0	0	117	822	138	19	24	33	16,187
2033	1,392	4,010	4,709	1,256	361	147	775	1,179	1,566	352	16	18	0	0	124	864	145	20	26	35	16,995
2034	1,463	4,214	4,948	1,320	372	152	798	1,240	1,647	370	18	19	0	0	131	908	154	22	28	37	17,841
2035	1,538	4,428	5,199	1,387	383	157	822	1,304	1,732	390	19	21	0	0	138	956	162	24	30	39	18,729
2036	1,616	4,653	5,463	1,458	395	162	847	1,372	1,822	410	21	23	0	0	145	1,005	171	26	32	41	19,662
2037	1,698	4,890	5,740	1,533	407	167	872	1,443	1,915	432	23	24	0	0	154	1,057	180	28	34	44	20,641
¿ Porcentaje	8.23%	23.69%	27.81%	7.43%	1.97%	0.81%	4.22%	6.99%	9.28%	2.09%	0.11%	0.12%	0.00%	0.00%	0.75%	5.12%	0.87%	0.14%	0.16%	0.21%	100.00%
Total/ Tipo de Veh.	13,861				1,446			5,228										62		44	20,641
¿ Porcentaje/ Tipo de Veh.	67.15%				7.01%			25.33%										0.30%		0.21%	100.00%
TOTAL DE VEHÍCULOS MIXTOS POR DÍA EN LOS 20 AÑOS DE VIDA ÚTIL																					272,953

Tabla 41 Cálculo de la Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual al final del período de operación

AÑO	VEHÍCULOS LIVIANOS			VEHÍCULOS DE PASAJEROS			VEHÍCULOS DE CARGA								VEHÍCULOS PESADOS		Total
	Autos	Camta	Jeep	MB	Mediano	Grande	Camión			Camión Remolque		Cabezal/Semi Remolque			V. A.	V. C.	
							Camión L	C2	C3	C2R2	C2R3	T2S2	T3S2	T3S3			
2014	1,995	2,343	622	197	77	431	573	767	169	1	2	56	419	66	1	4	7,723
2015	2,090	2,454	652	207	81	453	601	804	178	2	3	59	440	70	2	5	8,101
2016	2,189	2,571	683	214	84	467	630	843	187	3	4	62	462	74	3	6	8,482
2017	2,293	2,693	716	221	87	481	661	884	196	4	5	65	485	78	4	7	8,880
2018	1,980	2,326	618	228	90	496	571	764	169	4	4	56	419	67	5	8	7,805
2019	2,074	2,436	648	235	93	511	599	801	178	4	5	60	440	70	6	9	8,169
2020	2,173	2,552	679	242	96	527	628	840	187	5	6	63	461	75	7	10	8,551
2021	2,276	2,673	711	250	99	543	659	880	196	6	7	66	484	79	8	11	8,948
2022	2,385	2,800	745	258	102	559	692	923	206	7	8	70	508	83	9	12	9,367
2023	2,498	2,933	780	266	105	576	725	969	216	8	9	74	532	87	10	13	9,801
2024	2,616	3,072	818	274	109	593	762	1,016	226	9	9	78	558	92	11	14	10,257
2025	2,741	3,218	856	283	113	611	799	1,064	238	9	10	82	585	97	12	15	10,733
2026	2,871	3,371	898	292	117	629	839	1,115	249	10	11	86	613	102	13	16	11,232
2027	3,007	3,531	940	301	121	648	879	1,169	262	11	12	91	643	107	14	17	11,753
2028	3,150	3,698	985	310	125	668	922	1,226	275	12	13	96	674	112	15	18	12,299
2029	3,299	3,874	1,032	320	129	688	967	1,285	288	13	14	101	707	118	16	19	12,870
2030	3,456	4,058	1,082	330	133	709	1,014	1,347	302	14	14	106	742	124	17	20	13,468
2031	3,631	4,264	1,137	340	137	730	1,066	1,416	318	14	15	112	780	131	18	22	14,131
2032	3,816	4,481	1,194	350	142	752	1,121	1,488	334	15	16	117	822	138	19	24	14,829
2033	4,010	4,709	1,256	361	147	775	1,179	1,566	352	16	18	124	864	145	20	26	15,568
2034	4,214	4,948	1,320	372	152	798	1,240	1,647	370	18	19	131	908	154	22	28	16,341
2035	4,428	5,199	1,387	383	157	822	1,304	1,732	390	19	21	138	956	162	24	30	17,152
2036	4,653	5,463	1,458	395	162	847	1,372	1,822	410	21	23	145	1,005	171	26	32	18,005
2037	4,890	5,740	1,533	407	167	872	1,443	1,915	432	23	24	154	1,057	180	28	34	18,889
½ Porcentaje	25.87%	30.37%	8.11%	2.15%	0.88%	4.61%	7.64%	10.13%	2.29%	0.12%	0.13%	0.81%	5.59%	0.95%	0.15%	0.18%	100.00%
Total de Veh. En los 20 años	64,168	75,346	20,077	6,197	2,496	13,354	18,781	24,985	5,598	238	258	1,950	13,758	2,294	300	378	250,178
½ Porcentaje de Veh. En los 20 años	25.65%	30.12%	8.03%	2.48%	1.00%	5.34%	7.51%	9.99%	2.24%	0.10%	0.10%	0.78%	5.50%	0.92%	0.12%	0.15%	100.00%

Tabla 42 Factor de Distribución por dirección

Factor de distribución por dirección	
Número de carriles en ambas direcciones	LD ¹⁰
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993

Tabla 43 Factor Carril

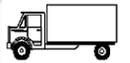
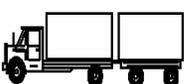
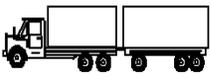
Factor de distribución por carril	
Número de carriles en una sola dirección	LC ¹¹
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993

Tabla 44 Cálculo del Tránsito de en el carril de diseño

Tipo de Vehículo	Vehículos Livianos	Vehículos de Pasajeros			Vehículos de Carga								Vehículos Pesados	TOTAL
		MB	Mediano	Grande	Camión L	C2	C3	C2R2	C2R3	T2S2	T3S2	T3S3		
TPDA TOTAL	159,591	6,197	2,496	13,354	18,781	24,985	5,598	238	258	1,950	13,758	2,294	678	250,178
365 días/año	58,250,715	2,261,905	911,040	4,874,210	6,855,065	9,119,525	2,043,270	86,870	94,170	711,750	5,021,670	837,310	247,470	91,314,970
Factor Dirección (0.45)	26,212,822	1,017,858	409,968	2,193,395	3,084,780	4,103,787	919,472	39,092	42,377	320,288	2,259,752	376,790	111,362	41,091,743
Factor Carril (0.90)	23,591,540	916,073	368,972	1,974,056	2,776,302	3,693,409	827,525	35,183	38,140	288,260	2,033,777	339,111	100,226	36,982,574

Tabla 45 Diagrama de Cargas Permisibles (MTI)

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.
a : Eje sencillo llanta sencilla.
b : Eje sencillo llanta doble.

Fuente: Diagrama de Carga Permisible aprobado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura

Tabla 46 Factores Equivalentes de Carga para pavimentos rígidos, ejes simples, Pt=2.5

<i>Appendix D</i>										<i>D-15</i>
Table D.13. Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Single Axles and p_t of 2.5										
Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)									
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	
4	003	002	002	002	002	002	002	002	002	
6	012	011	010	010	010	010	010	010	010	
8	039	035	033	032	032	032	032	032	032	
10	097	089	084	082	081	080	080	080	080	
12	203	189	181	176	175	174	174	173	173	
14	376	360	347	341	338	337	336	336	336	
16	634	623	610	604	601	599	599	599	598	
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	
20	1 51	1 52	1 55	1 57	1 58	1 58	1 59	1 59	1 59	
22	2 21	2 20	2 28	2 34	2 38	2 40	2 41	2 41	2 41	
24	3 16	3 10	3 22	3 36	3 45	3 50	3 53	3 54	3 55	
26	4 41	4 26	4 42	4 67	4 85	4 95	5 01	5 04	5 05	
28	6 05	5 76	5 92	6 29	6 61	6 81	6 92	6 98	7 01	
30	8 16	7 67	7 79	8 28	8 79	9 14	9 35	9 46	9 52	
32	10 8	10 1	10 1	10 7	11 4	12 0	12 3	12 6	12 7	
34	14 1	13 0	12 9	13 6	14 6	15 4	16 0	16 4	16 5	
36	18 2	16 7	16 4	17 1	18 3	19 5	20 4	21 0	21 3	
38	23 1	21 1	20 6	21 3	22 7	24 3	25 6	26 4	27 0	
40	29 1	26 5	25 7	26 3	27 9	29 9	31 6	32 9	33 7	
42	36 2	32 9	31 7	32 2	34 0	36 3	38 7	40 4	41 6	
44	44 6	40 4	38 8	39 2	41 0	43 8	46 7	49 1	50 8	
46	54 5	49 3	47 1	47 3	49 2	52 3	55 9	59 0	61 4	
48	66 1	59 7	56 9	56 8	58 7	62 1	66 3	70 3	73 4	
50	79 4	71 7	68 2	67 8	69 6	73 3	78 1	83 0	87 1	

Fuente: Guía de diseño para pavimentos AASHTO, 1993, Apéndice D, p. 15

Tabla 47 Factores Equivalentes de Carga para pavimentos rígidos, ejes tándem, Pt=2.5

<i>D-16</i>		<i>Design of Pavement Structures</i>							
Table D.14. Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Tandem Axles and p_t of 2.5									
Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005
6	002	002	002	002	002	002	002	002	002
8	007	006	006	005	005	005	005	005	005
10	015	014	013	013	012	012	012	012	012
12	031	028	026	026	025	025	025	025	025
14	057	052	049	048	047	047	047	047	047
16	097	089	084	082	081	081	080	080	080
18	155	143	136	133	132	131	131	131	131
20	234	220	211	206	204	203	203	203	203
22	340	325	313	308	305	304	303	303	303
24	475	462	450	444	441	440	439	439	439
26	644	637	627	622	620	619	618	618	618
28	855	854	852	850	850	850	849	849	849
30	1 11	1 12	1 13	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14
32	1 43	1 44	1 47	1 49	1 50	1 51	1 51	1 51	1 51
34	1 82	1 82	1 87	1 92	1 95	1 96	1 97	1 97	1 97
36	2 29	2 27	2 35	2 43	2 48	2 51	2 52	2 52	2 53
38	2 85	2 80	2 91	3 03	3 12	3 16	3 18	3 20	3 20
40	3 52	3 42	3 55	3 74	3 87	3 94	3 98	4 00	4 01
42	4 32	4 16	4 30	4 55	4 74	4 86	4 91	4 95	4 96
44	5 26	5 01	5 16	5 48	5 75	5 92	6 01	6 06	6 09
46	6 36	6 01	6 14	6 53	6 90	7 14	7 28	7 36	7 40
48	7 64	7 16	7 27	7 73	8 21	8 55	8 75	8 86	8 92
50	9 11	8 50	8 55	9 07	9 68	10 14	10 42	10 58	10 66
52	10 8	10 0	10 0	10 6	11.3	11 9	12 3	12 5	12 7
54	12 8	11 8	11 7	12 3	13 2	13 9	14 5	14 8	14 9
56	15 0	13 8	13 6	14 2	15 2	16 2	16 8	17 3	17 5
58	17 5	16 0	15 7	16 3	17 5	18 6	19 5	20 1	20 4
60	20 3	18 5	18 1	18 7	20 0	21 4	22 5	23 2	23 6
62	23 5	21 4	20 8	21 4	22 8	24 4	25 7	26 7	27 3
64	27 0	24 6	23 8	24 4	25 8	27 7	29 3	30 5	31 3
66	31 0	28 1	27 1	27 6	29 2	31 3	33 2	34 7	35 7
68	35 4	32 1	30 9	31 3	32 9	35 2	37 5	39 3	40 5
70	40 3	36 5	35 0	35 3	37 0	39 5	42 1	44 3	45 9
72	45 7	41 4	39 6	39 8	41 5	44 2	47 2	49 8	51 7
74	51 7	46 7	44 6	44 7	46 4	49 3	52 7	55 7	58 0
76	58 3	52 6	50 2	50 1	51 8	54 9	58 6	62 1	64 8
78	65 5	59 1	56 3	56 1	57 7	60 9	65 0	69 0	72 3
80	73 4	66 2	62 9	62 5	64 2	67 5	71 9	76 4	80 2
82	82 0	73 9	70 2	69 6	71 2	74 7	79 4	84 4	88 8
84	91 4	82 4	78 1	77 3	78 9	82 4	87 4	93 0	98 1
86	102	92	87	86	87	91	96	102	108
88	113	102	96	95	96	100	105	112	119
90	125	112	106	105	106	110	115	123	130

Fuente: Guía de diseño para pavimentos AASHTO, 1993, Apéndice D, p. 16

Tabla 48 Factores Equivalentes de Carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, Pt=2.5

D-17

Table D.15. Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Triple Axles and p_t of 2.5

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	.0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003
6	001	001	001	001	001	001	001	001	001
8	003	002	002	002	002	002	002	002	002
10	006	005	005	.005	005	005	.005	005	005
12	011	010	010	009	009	009	009	009	009
14	020	018	017	017	016	016	016	016	016
16	033	030	029	028	027	027	027	027	027
18	053	048	045	044	044	043	043	043	043
20	080	073	069	067	066	066	066	066	066
22	116	107	101	099	098	097	097	097	097
24	163	151	144	141	139	139	138	138	138
26	222	209	200	195	194	193	192	192	192
28	295	281	271	265	263	262	262	262	262
30	384	371	359	354	351	350	349	349	349
32	490	480	468	463	460	459	458	458	458
34	616	609	601	596	594	593	592	592	592
36	765	762	759	757	756	755	755	755	755
38	939	941	946	948	950	951	951	951	951
40	1 14	1 15	1 16	1 17	1 18	1 18	1 18	1 18	1 18
42	1 38	1 38	1 41	1 44	1 45	1 46	1 46	1 46	1 46
44	1 65	1 65	1 70	1 74	1 77	1 78	1 78	1 78	1 79
46	1 97	1 96	2 03	2 09	2 13	2 15	2 16	2 16	2 16
48	2 34	2 31	2 40	2 49	2 55	2 58	2 59	2 60	2 60
50	2 76	2 71	2 81	2 94	3 02	3 07	3 09	3 10	3 11
52	3 24	3 15	3 27	3 44	3 56	3 62	3 66	3 68	3 68
54	3 79	3 66	3 79	4 00	4 16	4 26	4 30	4 33	4 34
56	4 41	4 23	4 37	4 63	4 84	4 97	5 03	5 07	5 09
58	5 12	4 87	5 00	5 32	5 59	5 76	5 85	5 90	5 93
60	5 91	5 59	5 71	6 08	6 42	6 64	6 77	6 84	6 87
62	6 80	6 39	6 50	6 91	7 33	7 62	7 79	7 88	7 93
64	7 79	7 29	7 37	7 82	8 33	8 70	8 92	9 04	9 11
66	8 90	8 28	8 33	8 83	9 42	9 88	10 17	10 33	10 42
68	10 1	9 4	9 4	9 9	10 6	11 2	11 5	11 7	11 9
70	11 5	10 6	10 6	11 1	11 9	12 6	13 0	13 3	13 5
72	13 0	12 0	11 8	12 4	13 3	14 1	14 7	15 0	15 2
74	14 6	13 5	13 2	13 8	14 8	15 8	16 5	16 9	17 1
76	16 5	15 1	14 8	15 4	16 5	17 6	18 4	18 9	19 2
78	18 5	16 9	16 5	17 1	18 2	19 5	20 5	21 1	21 5
80	20 6	18 8	18 3	18 9	20 2	21 6	22 7	23 5	24 0
82	23 0	21 0	20 3	20 9	22 2	23 8	25 2	26 1	26 7
84	25 6	23 3	22 5	23 1	24 5	26 2	27 8	28 9	29 6
86	28 4	25 8	24 9	25 4	26 9	28 8	30 5	31 9	32 8
88	31 5	28 6	27 5	27 9	29 4	31 5	33 5	35 1	36 1
90	34 8	31 5	30 3	30 7	32 2	34 4	36 7	38 5	39 8

Fuente: Guía de diseño para pavimentos AASHTO, 1993, Apéndice D, p. 17

Tabla 49 Iteraciones requeridas para el eje simple

ITERACIONES REQUERIDAS PARA EL EJE SIMPLE					
N°	PARA CARGA EN EL EJE DE: (TON)	PARA CARGA EN EL EJE DE: (KIPS)	CARGA TABLA AASHTO 93 (KIPS)	F.E.C. TABLA AASHTO 93	F.E.C. REQUERIDO
1	2.00	4.40	4	0.0020	0.0038
			6	0.0110	
2	2.50	5.50	4	0.0020	0.0088
			6	0.0110	
3	3.50	7.70	6	0.0110	0.0314
			8	0.0350	
4	4.00	8.80	8	0.0350	0.0566
			10	0.0890	
5	4.50	9.90	8	0.0350	0.0863
			10	0.0890	
6	5.00	11.00	10	0.0890	0.1390
			12	0.1890	
7	7.00	15.40	14	0.3600	0.5441
			16	0.6230	
8	9.00	19.80	18	1.0000	1.4680
			20	1.5200	

Tabla 50 Iteraciones requeridas para el eje tándem

ITERACIONES REQUERIDAS PARA EL EJE TANDEM					
N°	PARA CARGA EN EL EJE DE: (TON)	PARA CARGA EN EL EJE DE: (KIPS)	CARGA TABLA AASHTO 93 (KIPS)	F.E.C. TABLA AASHTO 93	F.E.C. REQUERIDO
1	16.00	35.20	34	1.8200	2.0900
			36	2.2700	
2	16.50	36.30	36	2.2700	2.3500
			38	2.8000	

Tabla 51 Configuración de eje y Factores Equivalentes de Carga por cada tipo de vehículo correspondiente a la vía en estudio

VEHÍCULOS 100% CARGADOS						
		Espesor (D)		7 in		
		Serviciabilidad Final (Pt)		2.5		
TIPO DE VEHICULO		PESO POR EJE (TON)	PESO POR EJE (KIPS)	TIPO DE EJE	F.E.C	F.E.C Total
Veh. Livianos	Autos, Camta, Jeep	0.91	2.00	SIMPLE	0.0002	0.0004
		0.91	2.00	SIMPLE	0.0002	
Vehículos de Pasajeros	Micro Bus	2.00	4.40	SIMPLE	0.0038	0.0352
		3.50	7.70	SIMPLE	0.0314	
	Mediano	2.00	4.40	SIMPLE	0.0038	0.0352
		3.50	7.70	SIMPLE	0.0314	
	Grande	5.00	11.00	SIMPLE	0.1390	0.6831
		7.00	15.40	SIMPLE	0.5441	
Vehículos de Carga	Camión Liviano	2.50	5.50	SIMPLE	0.0088	0.1478
		5.00	11.00	SIMPLE	0.1390	
	C2	5.00	11.00	SIMPLE	0.1390	2.3390
		10.00	22.00	SIMPLE	2.2000	
	C3	5.00	11.00	SIMPLE	0.1390	2.4885
		16.50	36.30	TANDEM	2.3495	
	C2R2	4.50	9.90	SIMPLE	0.0863	1.6675
		9.00	19.80	SIMPLE	1.4680	
		4.00	8.80	SIMPLE	0.0566	
		4.00	8.80	SIMPLE	0.0566	
	C2R3	4.50	9.90	SIMPLE	0.0863	1.9359
		9.00	19.80	SIMPLE	1.4680	
		4.00	8.80	SIMPLE	0.0566	
		10.00	22.00	TANDEM	0.3250	
	T2S2	5.00	11.00	SIMPLE	0.1390	3.6970
		9.00	19.80	SIMPLE	1.4680	
		16.00	35.20	TANDEM	2.0900	
	T3S2	5.00	11.00	SIMPLE	0.1390	4.3190
		16.00	35.20	TANDEM	2.0900	
		16.00	35.20	TANDEM	2.0900	
T3S3	5.00	11.00	SIMPLE	0.1390	3.8790	
	16.00	35.20	TANDEM	2.0900		
	20.00	44.00	TRIDEM	1.6500		
Veh. Pesados	Veh. Agrícolas y de construcción	5.00	11.00	SIMPLE	0.1390	3.6970
		9.00	19.80	SIMPLE	1.4680	
		16.00	35.20	TANDEM	2.0900	

Fuente: Departamento de Pesos y Dimensiones del Ministerio de Transporte e Infraestructura

Tabla 52 Cálculo del Eje Equivalente de Carga de 18 Kips ó ESAL'S de diseño

Tipo de Vehículo	Vehículos Livianos	Vehículos de Pasajeros			Vehículos de Carga								Vehículos Pesados	TOTAL
		MB	Mediano	Grande	Camión L	C2	C3	C2R2	C2R3	T2S2	T3S2	T3S3		
TPDA TOTAL	159,591	6,197	2,496	13,354	18,781	24,985	5,598	238	258	1,950	13,758	2,294	678	250,178
365 días/año	58,250,715	2,261,905	911,040	4,874,210	6,855,065	9,119,525	2,043,270	86,870	94,170	711,750	5,021,670	837,310	247,470	91,314,970
Factor Dirección (0.45)	26,212,822	1,017,858	409,968	2,193,395	3,084,780	4,103,787	919,472	39,092	42,377	320,288	2,259,752	376,790	111,362	41,091,743
Factor Carril (0.90)	23,591,540	916,073	368,972	1,974,056	2,776,302	3,693,409	827,525	35,183	38,140	288,260	2,033,777	339,111	100,226	36,982,574
Factor Equivalente de Carga	0.0004	0.0352	0.0352	0.6831	0.1478	2.3390	2.4885	1.6675	1.9359	3.6970	4.3190	3.8790	3.697	
Esal's en el carril de DISEÑO	9,437	32,246	12,988	1,348,478	410,338	8,638,884	2,059,296	58,668	73,836	1,065,698	8,783,883	1,315,412	370,536	
Esal's TOTAL DE DISEÑO	24,179,700													

Tabla 53 MR recomendado según el Tipo de Pavimento

Tipo de Pavimento	MR recomendados	
	Kg/cm ²	PSI
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas Industriales	45.0	640.1
Urbanas Principales	45.0	640.1
Urbanas Secundarias	42.0	597.4

Fuente: Manual de Diseño y Construcción de Pavimento Cemex, capítulo II

Tabla 54 Rango de valores típicos de Módulo de Poisson

Material	Poisson's Ratio
Asphalt concrete	0.25 to 0.40
Portland cement concrete	0.10 to 0.20
Asphalt stabilized treated base	0.25 to 0.40
Cement stabilized treated base	0.15 to 0.25
Unbound granular bases	0.20 to 0.40
Cohesive soil	0.30 to 0.45
Cement-stabilized soil	0.15 to 0.30
Lime-stabilized soil	0.20 to 0.35

Fuente: Design Pamphlet for the Backcalculation of Pavement Layer Moduli in Support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures, 1997, p. 18

Tabla 55 Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Fricción para varios tipos de bases

Base Type or Interface Treatment	Modulus of Elasticity (psi)	Peak Friction Coefficient		
		low	mean	high
Fine-grained soil	3,000 - 40,000	0.5	1.3	2.0
Sand	10,000 - 25,000	0.5	0.8	1.0
Aggregate	15,000 - 45,000	0.7	1.4	2.0
Polyethylene sheeting	NA	0.5	0.6	1.0
Lime-stabilized clay	20,000 - 70,000	3.0	NA	5.3
Cement-treated gravel	(500 + CS) * 1000	8.0	34	63
Asphalt-treated gravel	300,000 - 600,000	3.7	5.8	10
Lean concrete without curing compound	(500 + CS) * 1000	> 36		
Lean concrete with single or double wax curing compound	(500 + CS) * 1000	3.5	4.5	

Notes: CS = compressive strength, psi
 Low, mean, and high measured peak coefficients of friction summarized from various references are shown above
 1 psi = 6.89 kPa

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1998, Tabla 14, p. 21

Tabla 56 Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 - 99.9	80 - 99.9
Troncales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	50 - 80

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA, 2001, p. capítulo II, p. 56

Tabla 57 Confiabilidad y factores de seguridad recomendados

Tránsito esperado en el carril de diseño en millones de ejes equivalentes	Confiabilidad R	Z_r	S_o	Factor de Seguridad F.S.
<5	50	0.000	0.35	1.00
5 – 15	50 – 60	0.000-0.253	0.35	1.00 – 1.23
15 – 30	60 – 70	0.253 – 0.524	0.35	1.23 – 1.83
30 – 50	70 – 75	0.524 – 0.674	0.34	1.51 – 1.70
50 – 70	75 – 80	0.674 – 0.841	0.32	1.64 – 1.88
70 – 90	80 – 85	0.841 – 1.037	0.30	1.78 – 2.05

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales
SIECA, 2001, p. capítulo II, p. 56

Tabla 58 Valores de Z_r , en función de la confiabilidad R

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z_r
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

Tabla 59 Valores de Confiabilidad

Valor de Confiabilidad R	Zr	So	Factor de Seguridad ($10^{zr \cdot so}$)
50	0	0.35	1.00
60	0.253		1.23
70	0.524		1.53
75	0.674		1.72
80	0.841		1.97
85	1.037		2.31
90	1.282		2.81
95	1.645		3.76
99	2.327		6.52

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales SIECA, 2001, p. capítulo II, p. 56

Tabla 60 Coeficiente de dilatación térmica de algunos materiales

MATERIALES	$\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$
Concreto	$5,0 \times 10^{-5}$
Acero	12×10^{-6}
Hierro	12×10^{-6}
Plata	$2,0 \times 10^{-5}$
Oro	$1,5 \times 10^{-5}$
Aluminio	23×10^{-6}
Cobre	17×10^{-6}
Diamante	$0,9 \times 10^{-6}$
Sílice	$0,4 \times 10^{-5}$
Plomo	29×10^{-5}

Fuente: Libro de Física General, Autor: Beatriz Álvarez y Antonio Ribeiro

Tabla 61 Rango de valores típicos de Módulo de Poisson

Material	Poisson's Ratio
Asphalt concrete	0.25 to 0.40
Portland cement concrete	0.10 to 0.20
Asphalt stabilized treated base	0.25 to 0.40
Cement stabilized treated base	0.15 to 0.25
Unbound granular bases	0.20 to 0.40
Cohesive soil	0.30 to 0.45
Cement-stabilized soil	0.15 to 0.30
Lime-stabilized soil	0.20 to 0.35

Fuente: Design Pamphlet for the Backcalculation of Pavement Layer Moduli in Support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures, 1997, p. 18

Tabla 62 Valores designados de K para bases tratadas con cemento

Subgrade k value, pci	Subbase k value, pci			
	4 in	6 in	8 in	10 in
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	-

Fuente: Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements, PCA (Portland Cement Association, página 6

Ilustración 17 Pestaña de Información del Proyecto

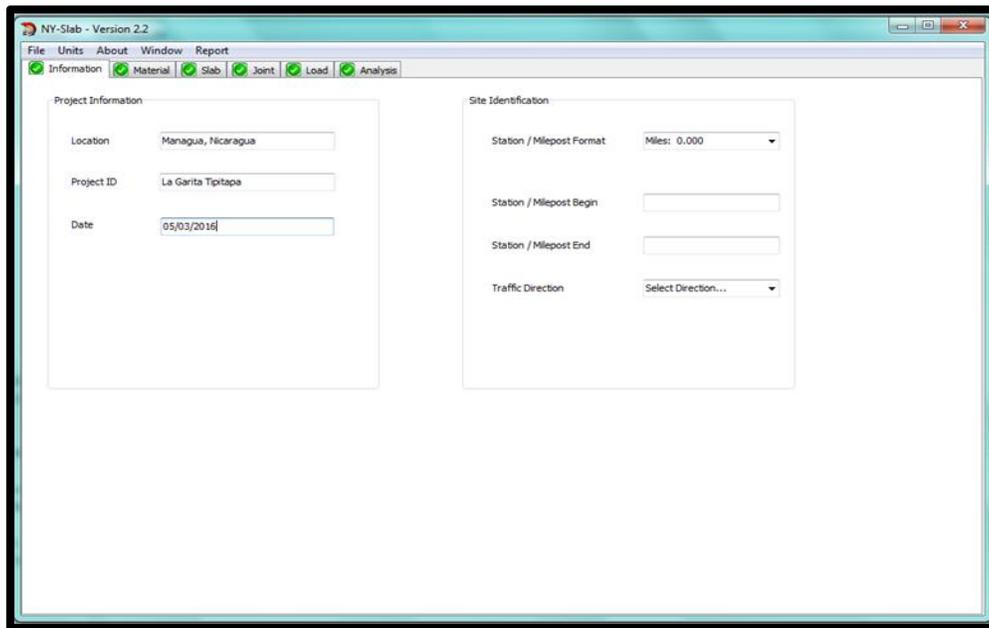


Ilustración 18 Pestaña de materiales de la estructura de pavimento y gradiente térmico diario

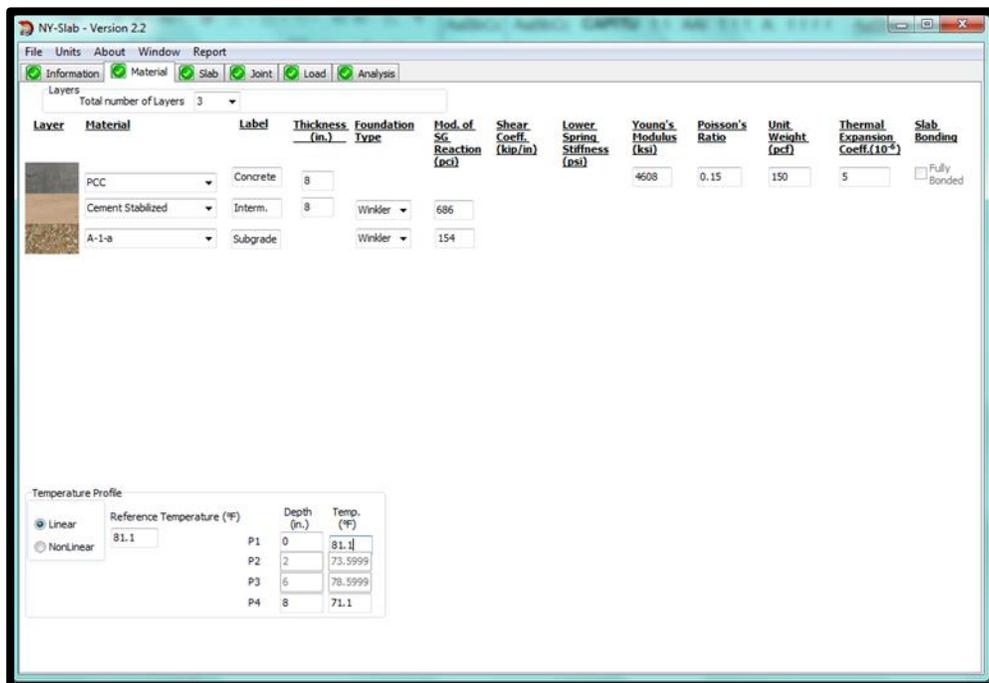


Ilustración 19 Pestaña de características de la losa

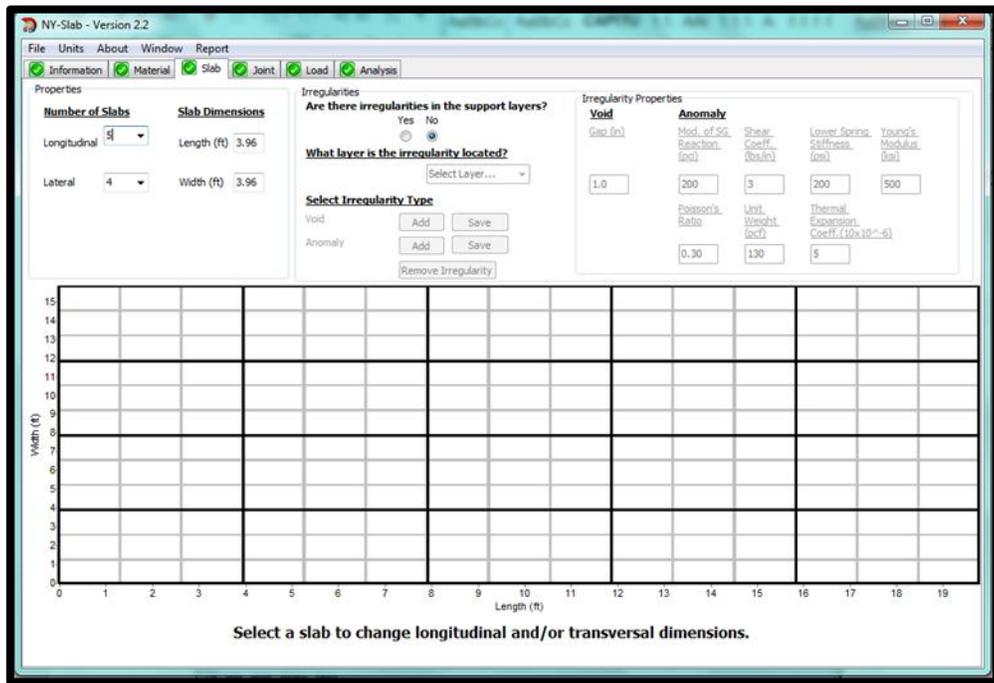


Ilustración 20 Pestaña de características de Juntas Transversales

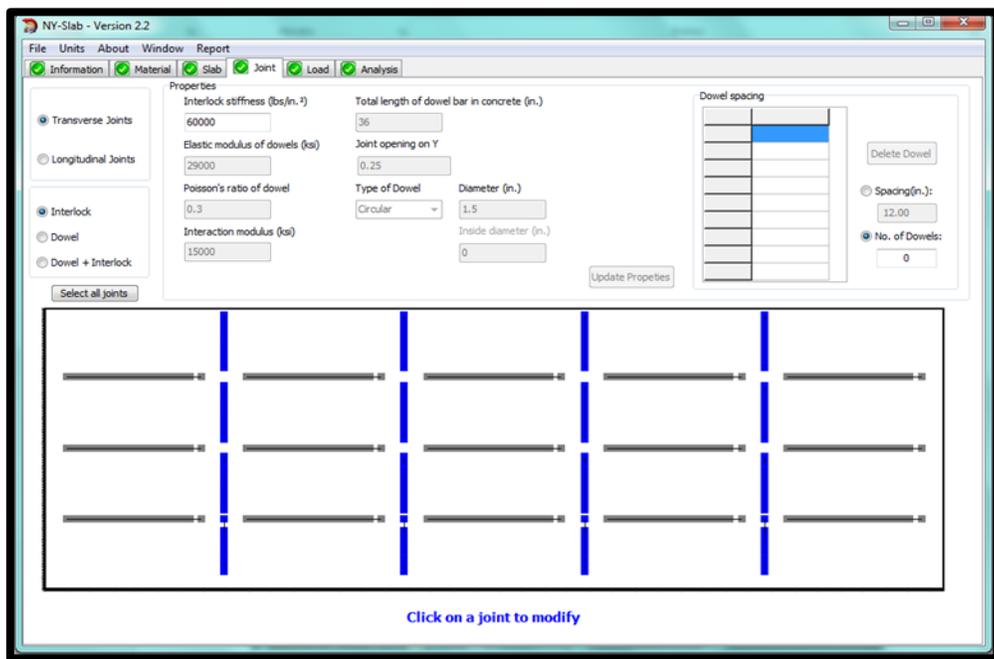


Ilustración 21 Pestaña de características de Juntas Longitudinales

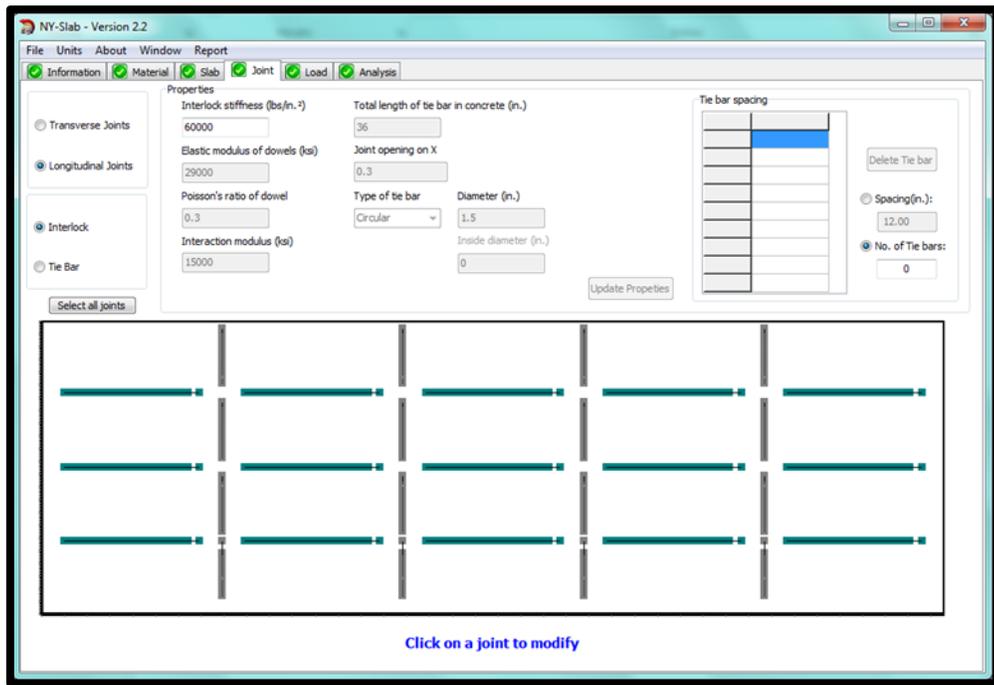


Ilustración 22 Pestaña de características de carga (Eje simple)

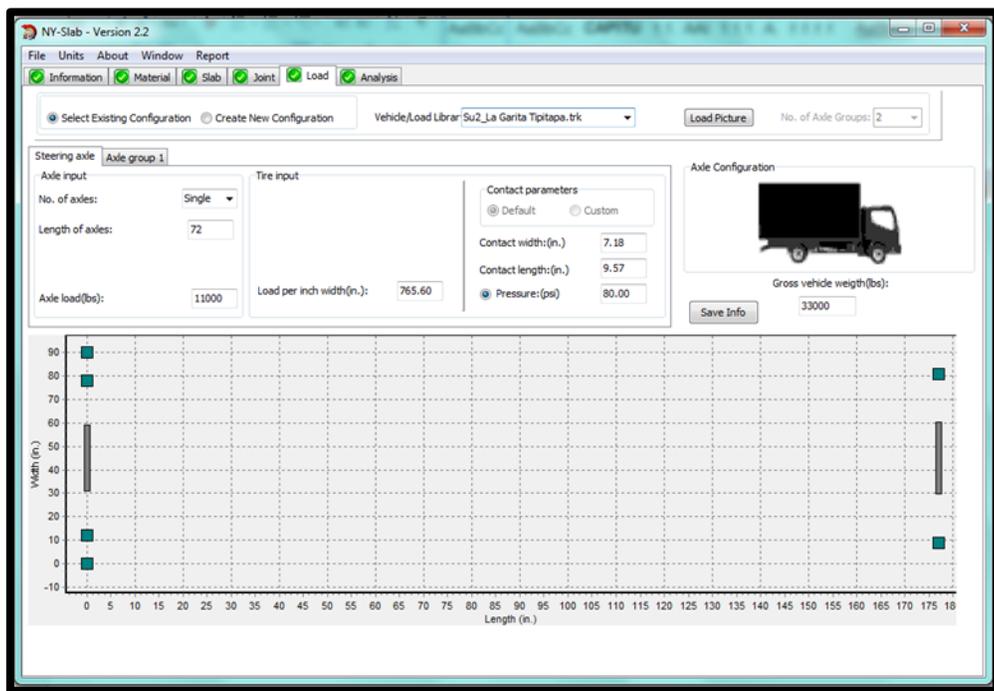


Ilustración 23 Pestaña de características de carga (Eje Tandem)

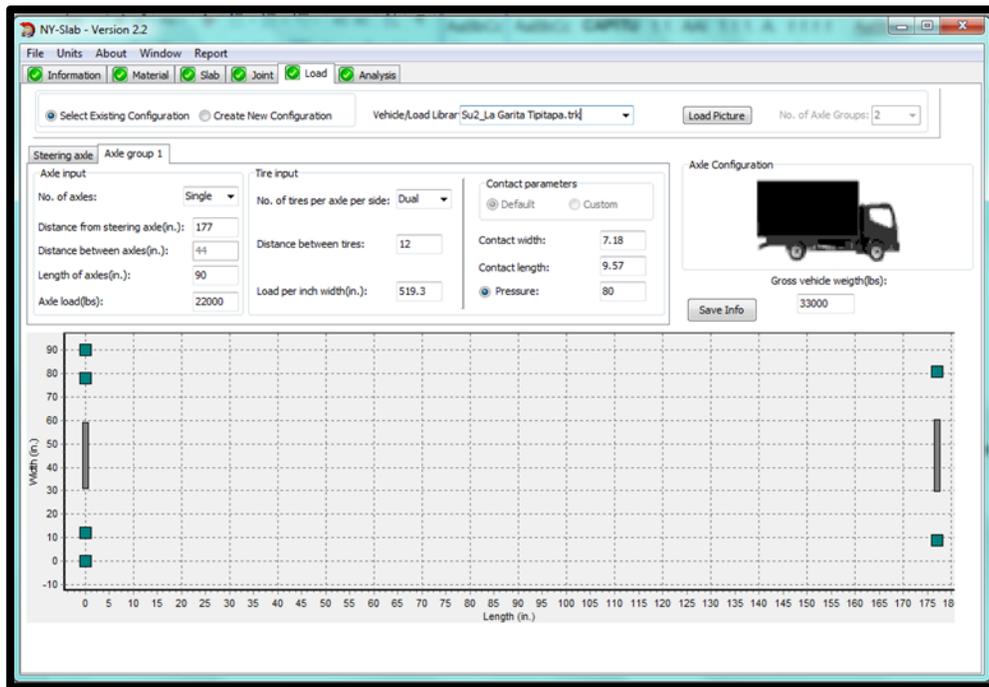


Ilustración 24 Pestaña de posición de carga, esquina de losa y gradiente térmico diurno

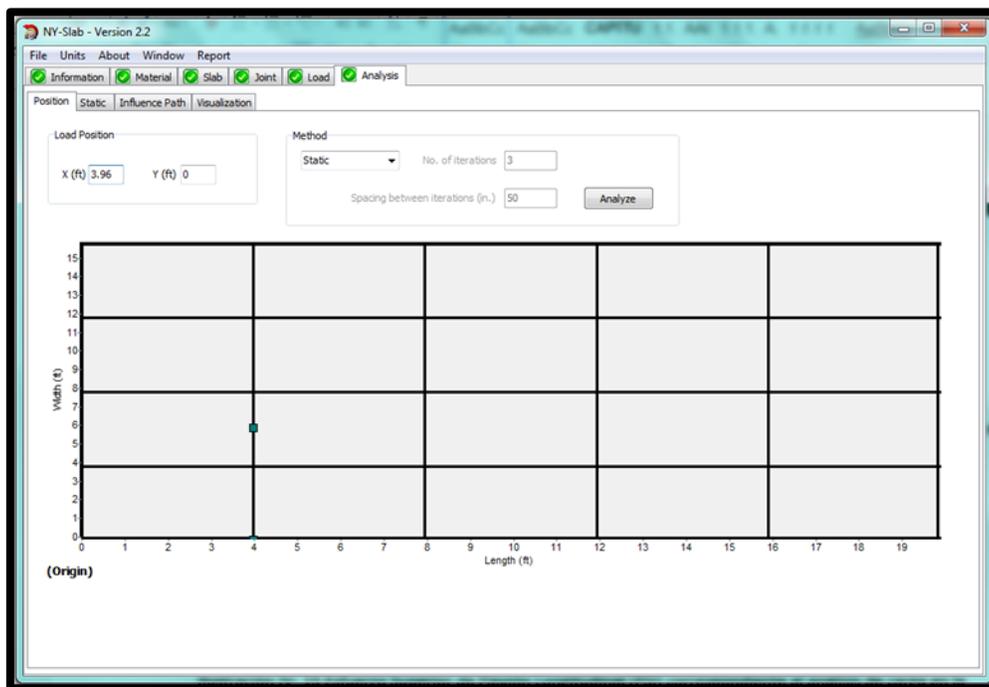


Ilustración 25 Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI) correspondiente al análisis de carga en la esquina, gradiente diurno

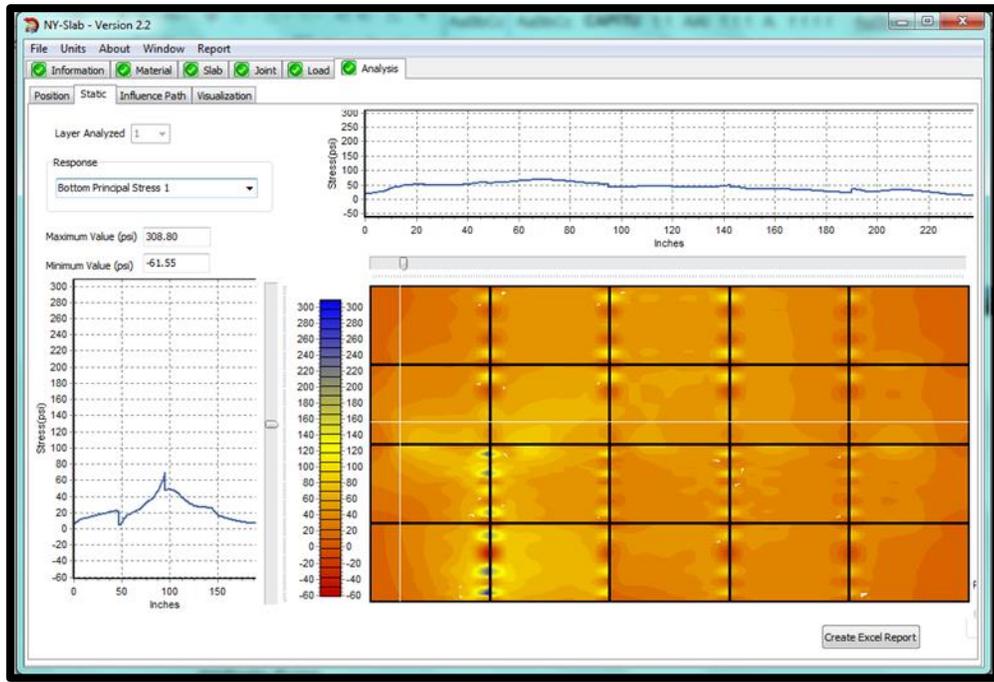


Ilustración 26 Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI) correspondiente al análisis de carga en la esquina, gradiente diurno, vista 3D

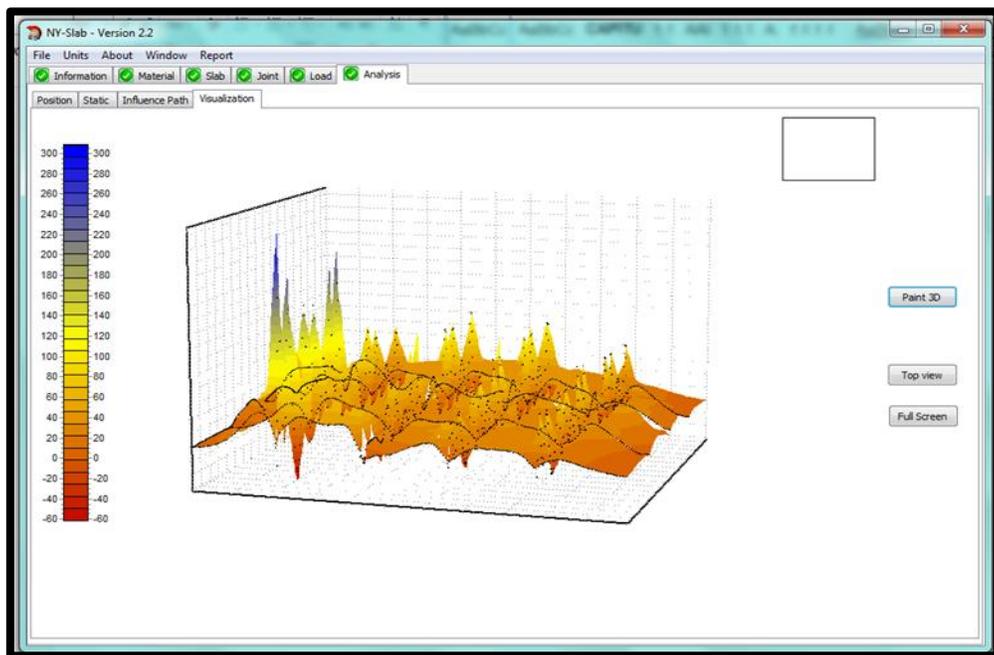


Ilustración 27 Pestaña de materiales de la estructura de pavimento y gradiente térmico nocturno

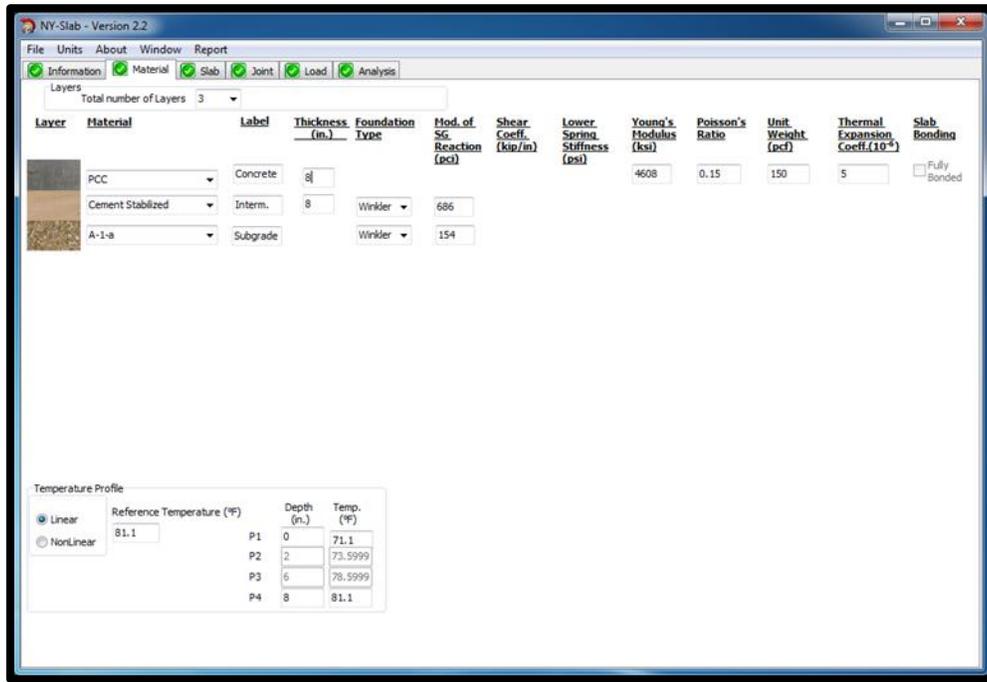


Ilustración 28 Pestaña de posición de carga, esquina de losa y gradiente térmico nocturno

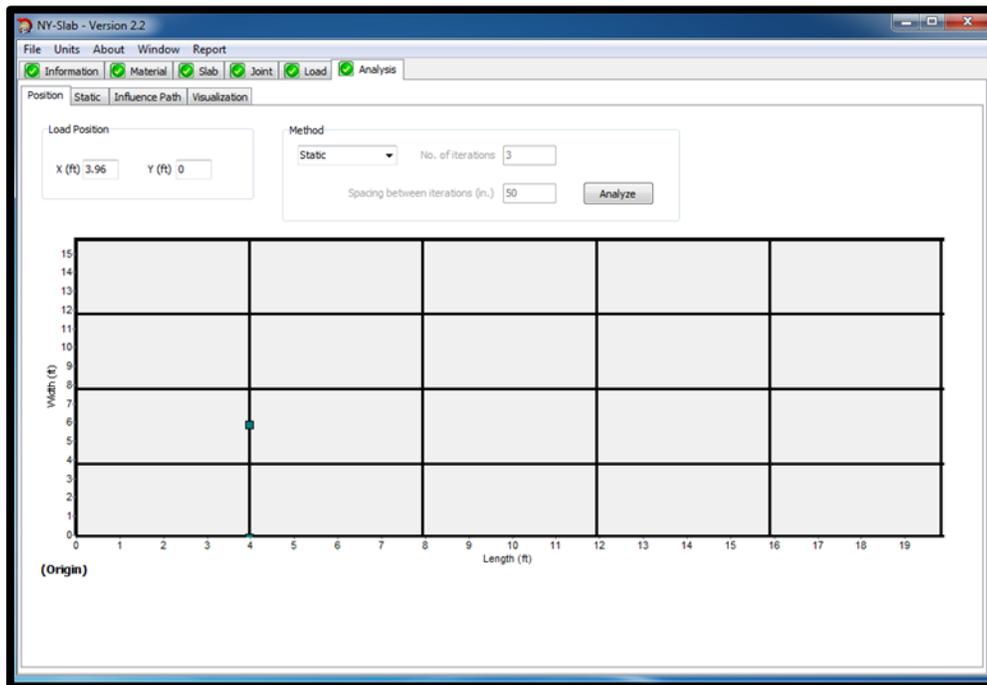


Ilustración 29 Esfuerzo Superior Principal 1 (psi) correspondiente al análisis de carga en la esquina, gradiente nocturno.

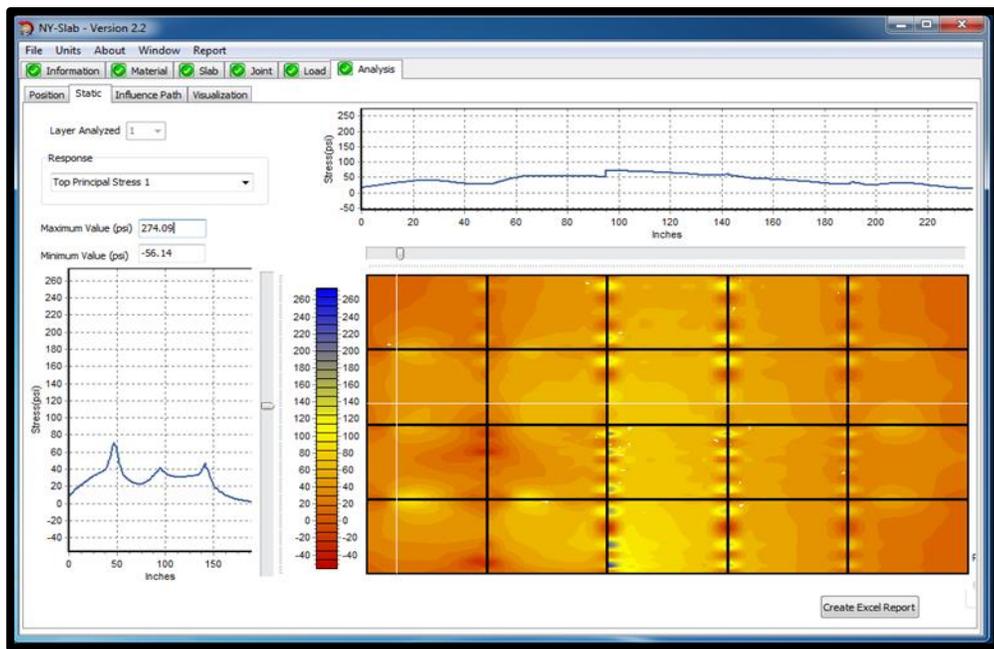


Ilustración 30 Esfuerzo Superior Principal 1 (psi) correspondiente al análisis de carga en la esquina, gradiente nocturno, vista 3D.

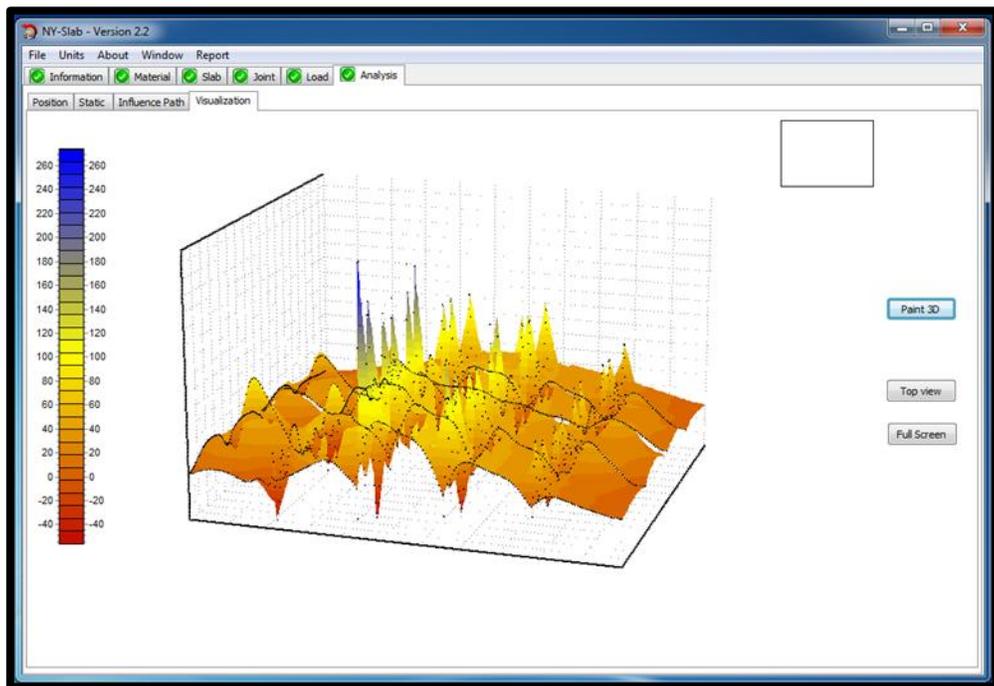


Ilustración 31 Pestaña de materiales de la estructura de pavimento y gradiente térmico diurno

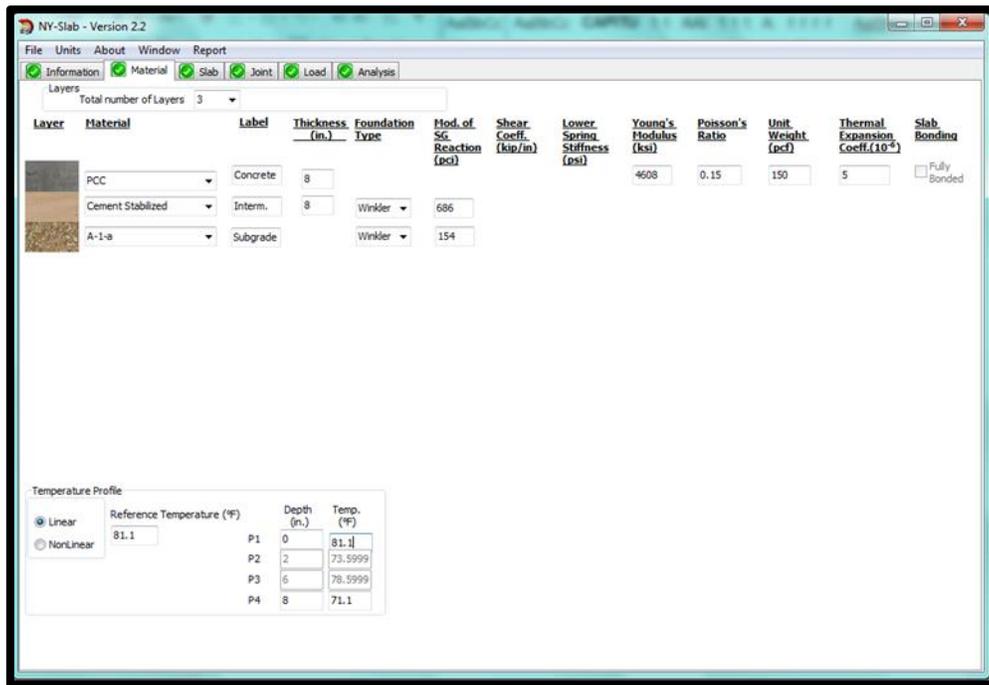


Ilustración 32 Pestaña de posición de carga, borde de losa y gradiente térmico diurno

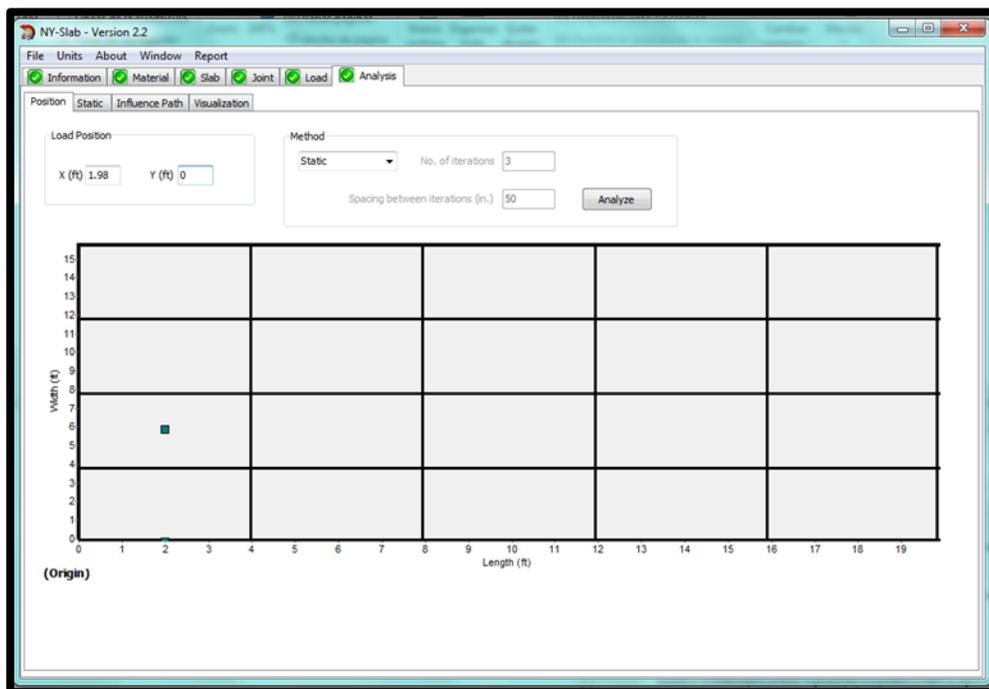


Ilustración 33 Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI) correspondiente al análisis de carga en el borde, gradiente diurno.

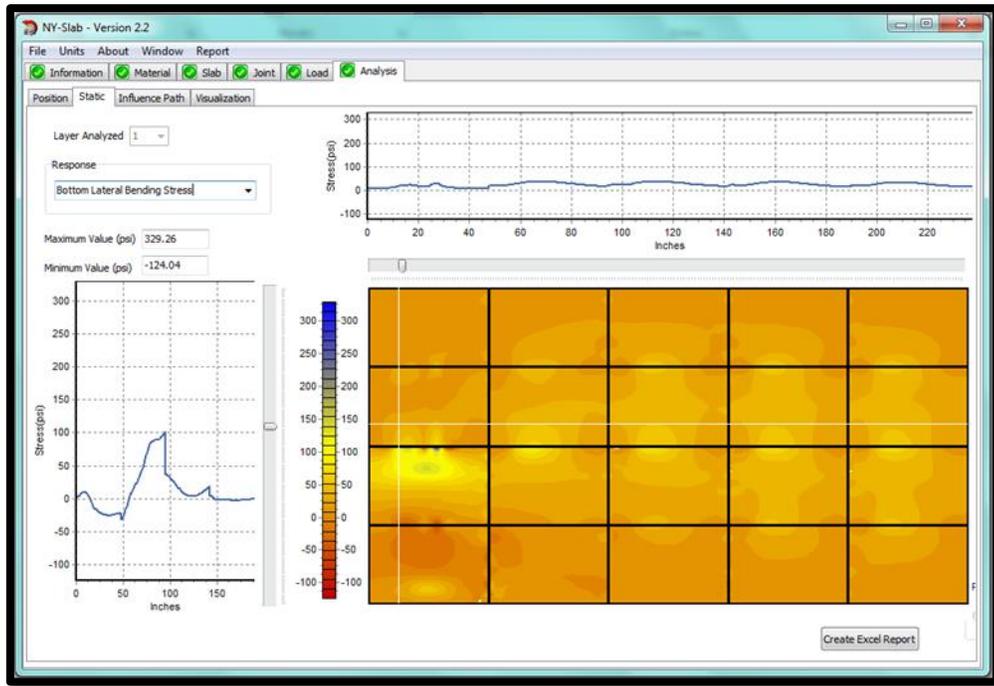


Ilustración 34 Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI) correspondiente al análisis de carga en el borde, gradiente diurno, vista 3D.

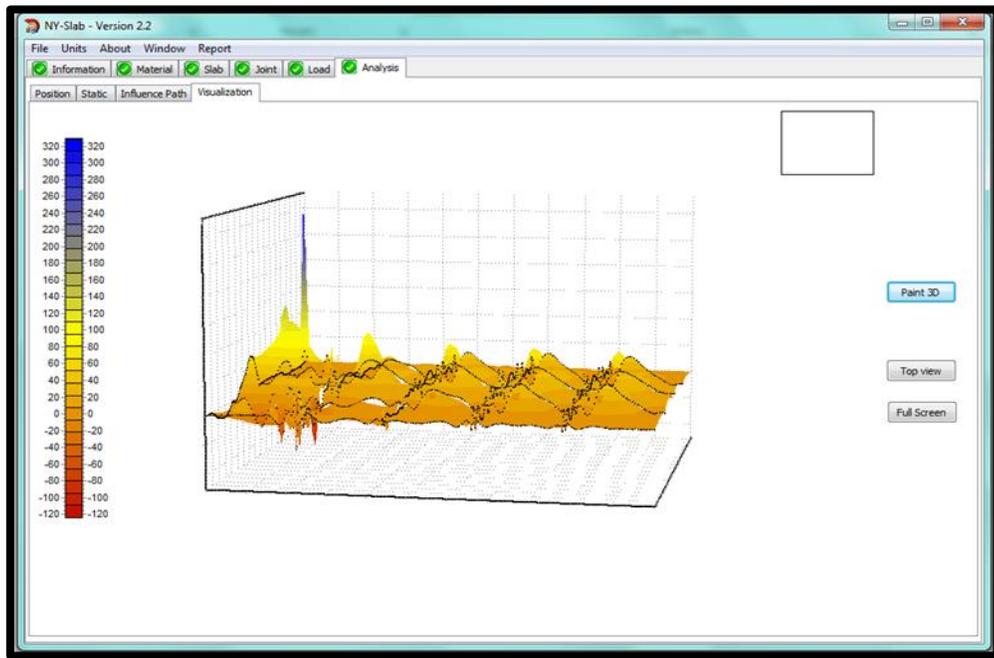


Ilustración 35 Pestaña de materiales de la estructura de pavimento y gradiente térmico nocturno.

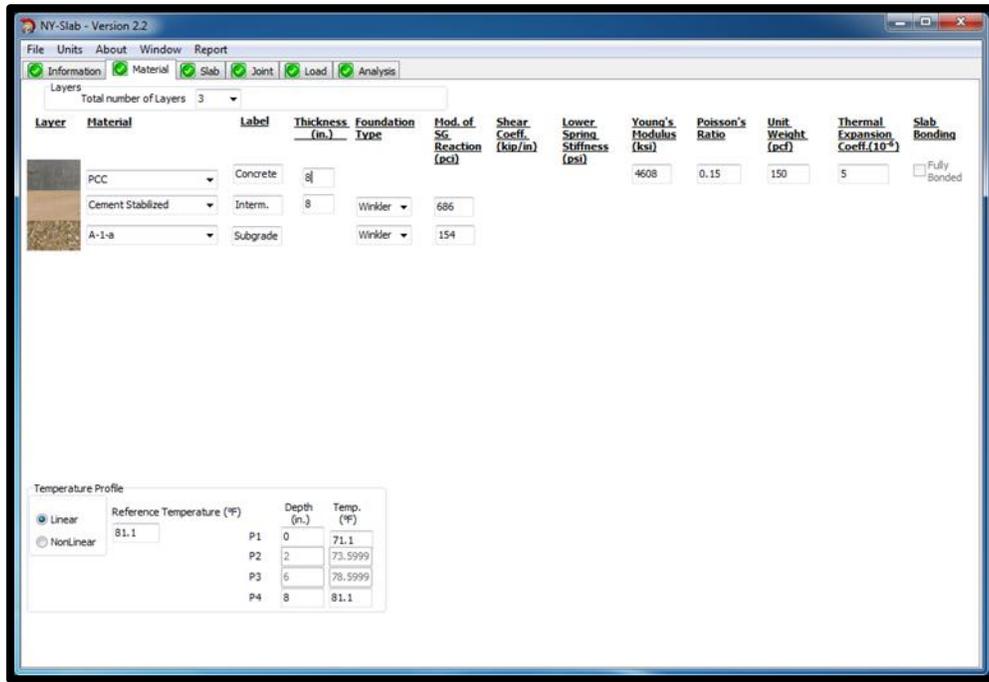


Ilustración 36 Pestaña de posición de carga, borde de losa y gradiente térmico nocturno.

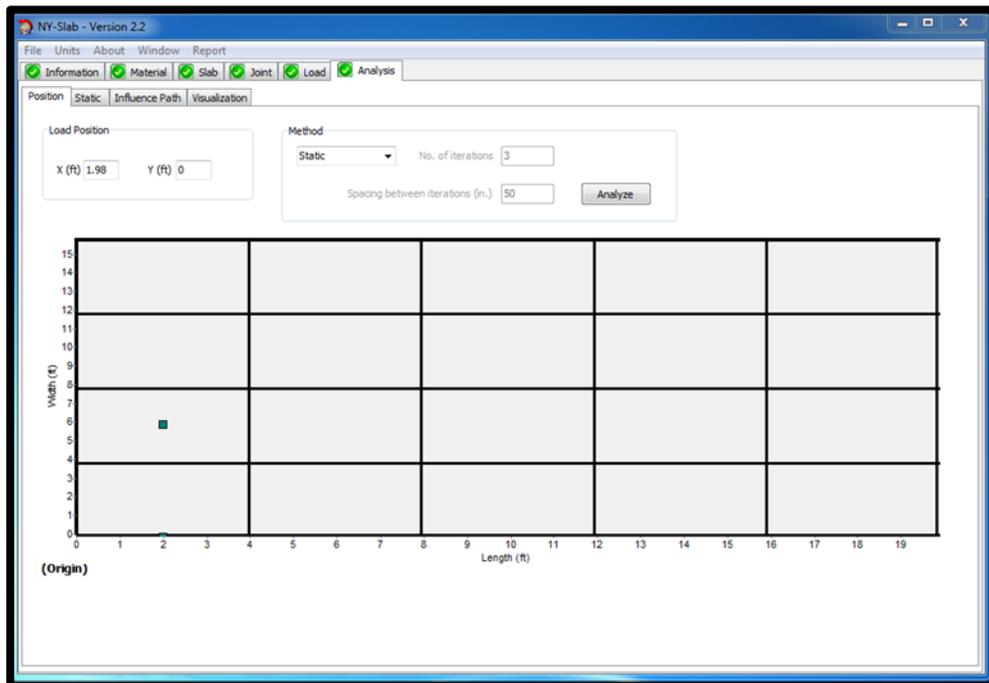


Ilustración 37 Esfuerzo Superior Principal 1 (psi) correspondiente al análisis de carga en el borde, gradiente nocturno.

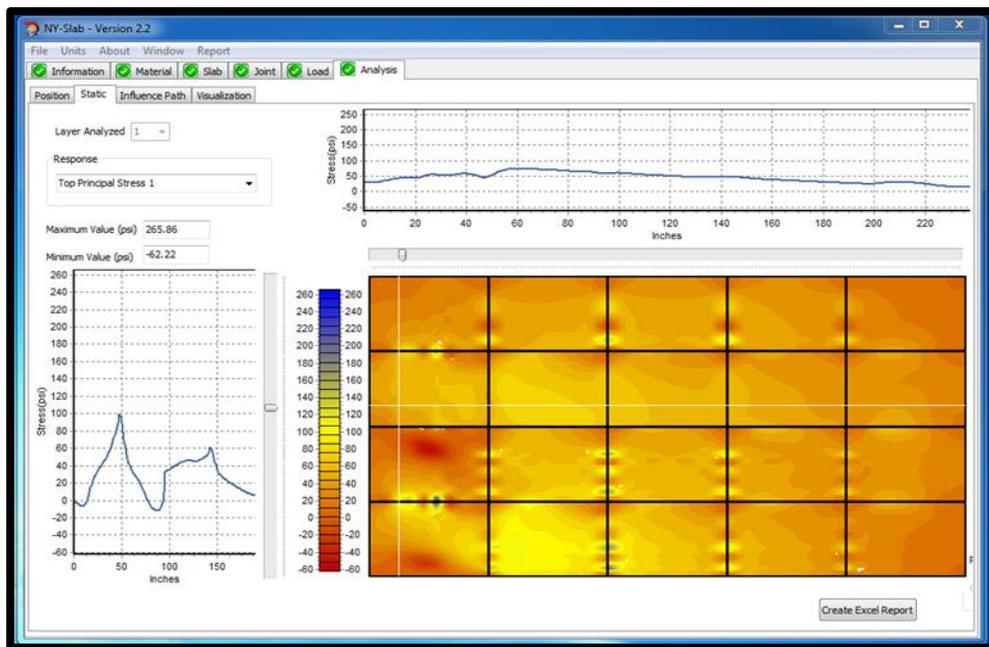


Ilustración 38 Esfuerzo Superior Principal 1 (psi) correspondiente al análisis de carga en el borde, gradiente nocturno, vista 3D.

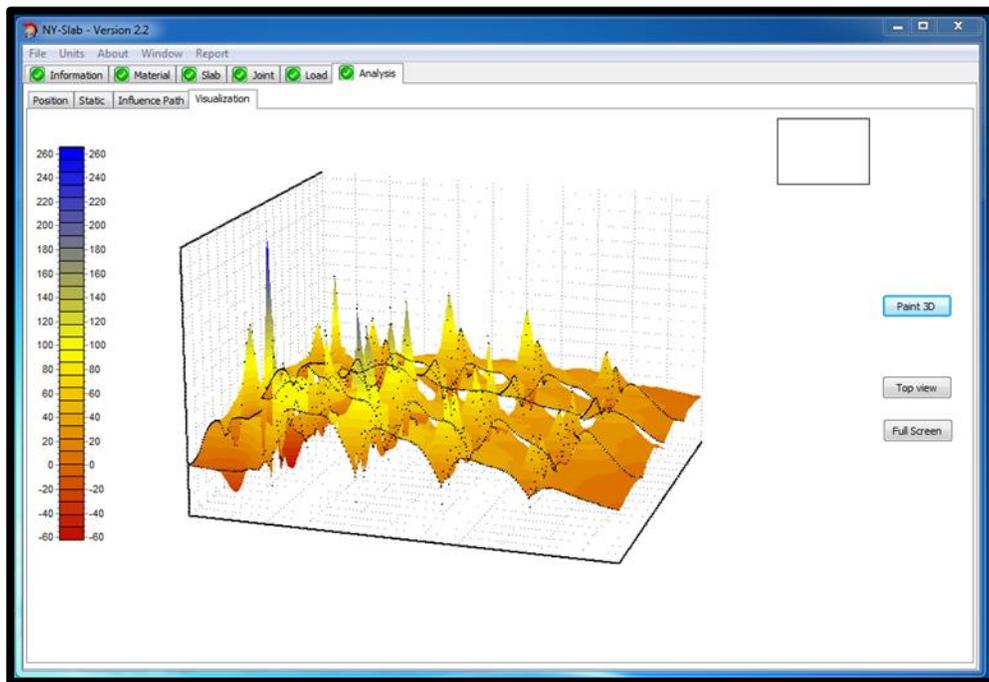


Ilustración 39 Pestaña de materiales de la estructura de pavimento y gradiente térmico diurno

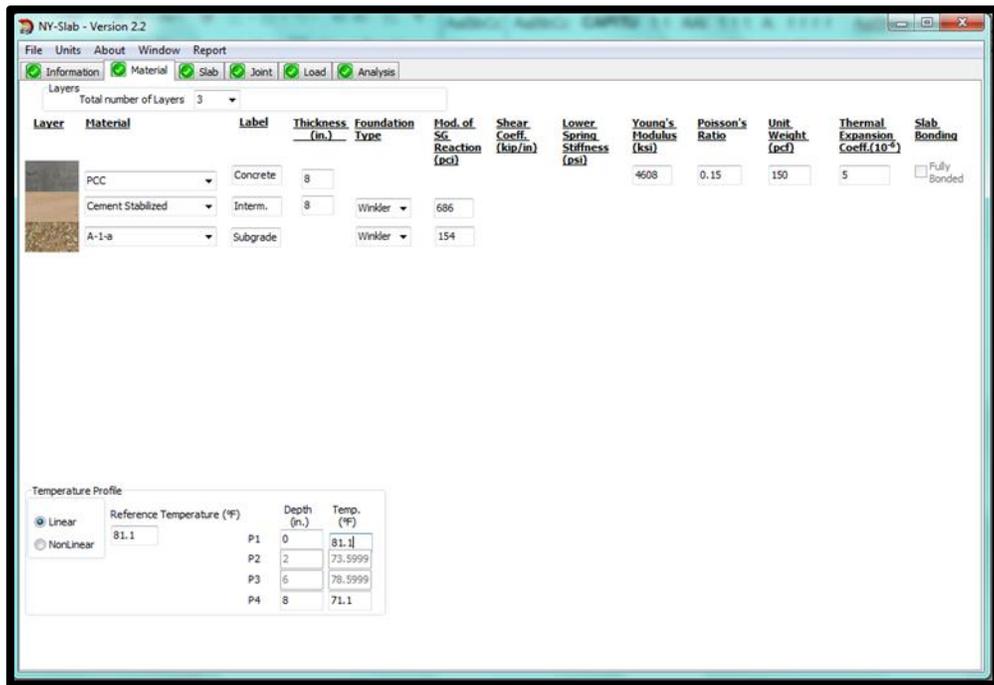


Ilustración 40 Pestaña de posición de carga, centro de losa y gradiente térmico diurno

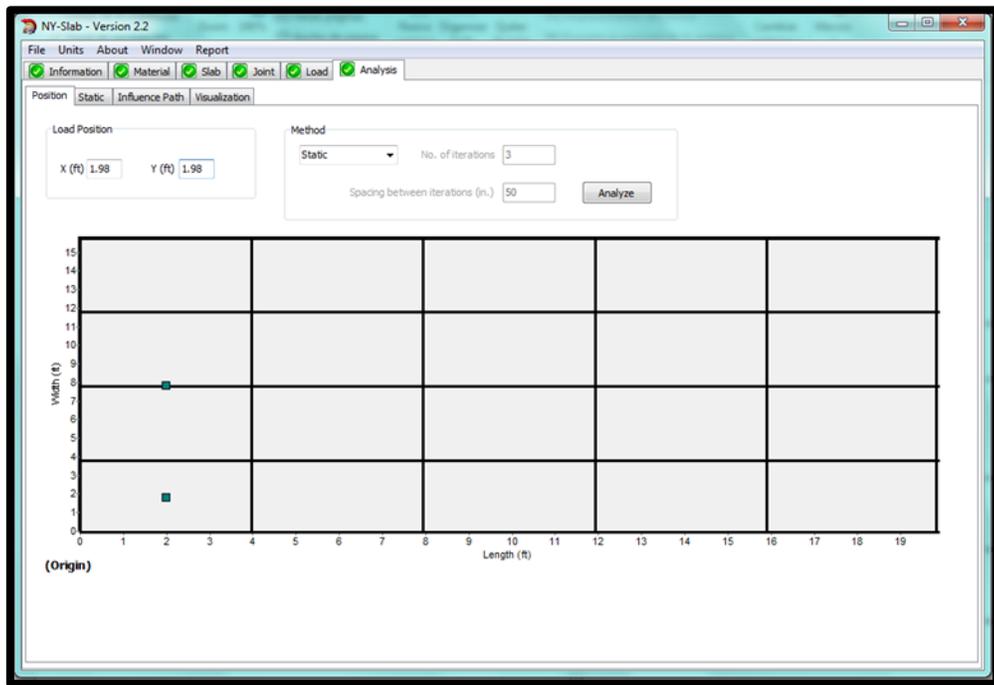


Ilustración 41 Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI) correspondiente al análisis de carga en el centro, gradiente diurno.

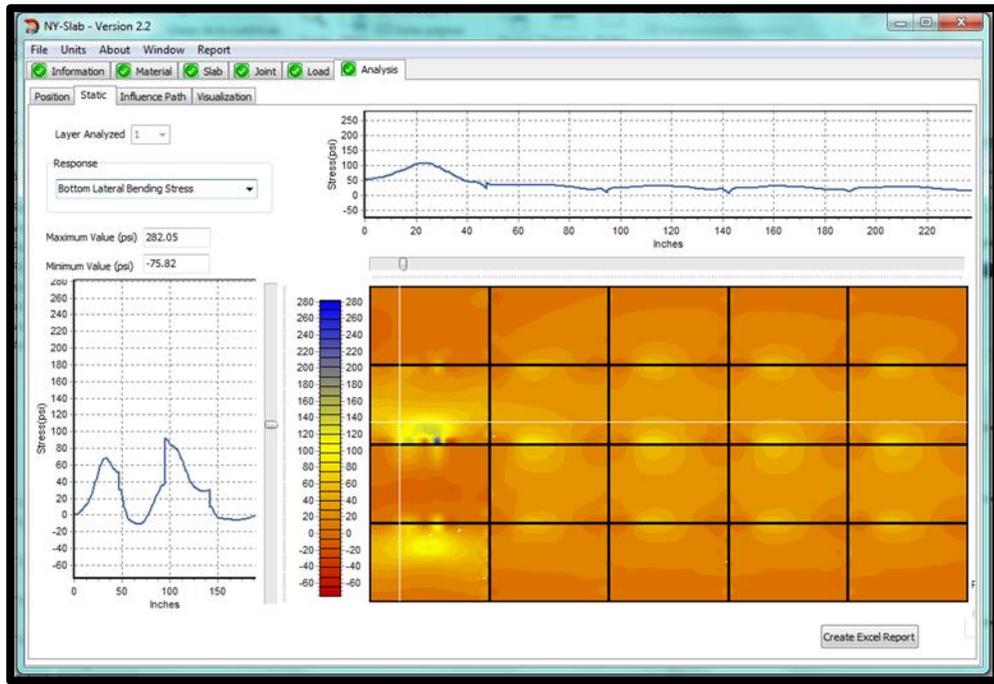


Ilustración 42 Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI) correspondiente al análisis de carga en el centro, gradiente diurno, vista 3D.

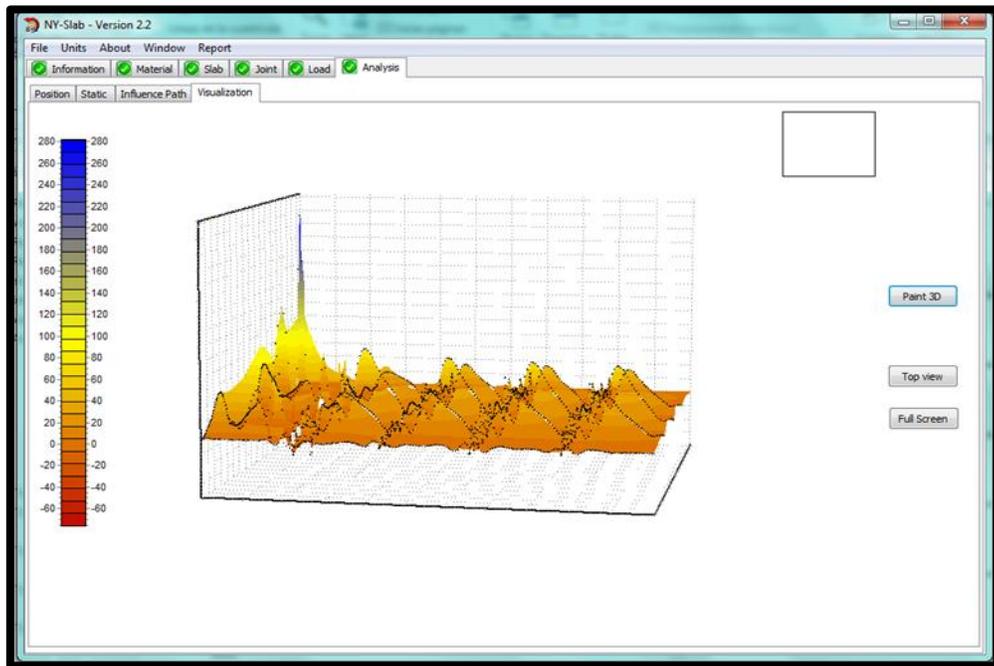


Ilustración 43 Pestaña de materiales de la estructura de pavimento y gradiente térmico nocturno.

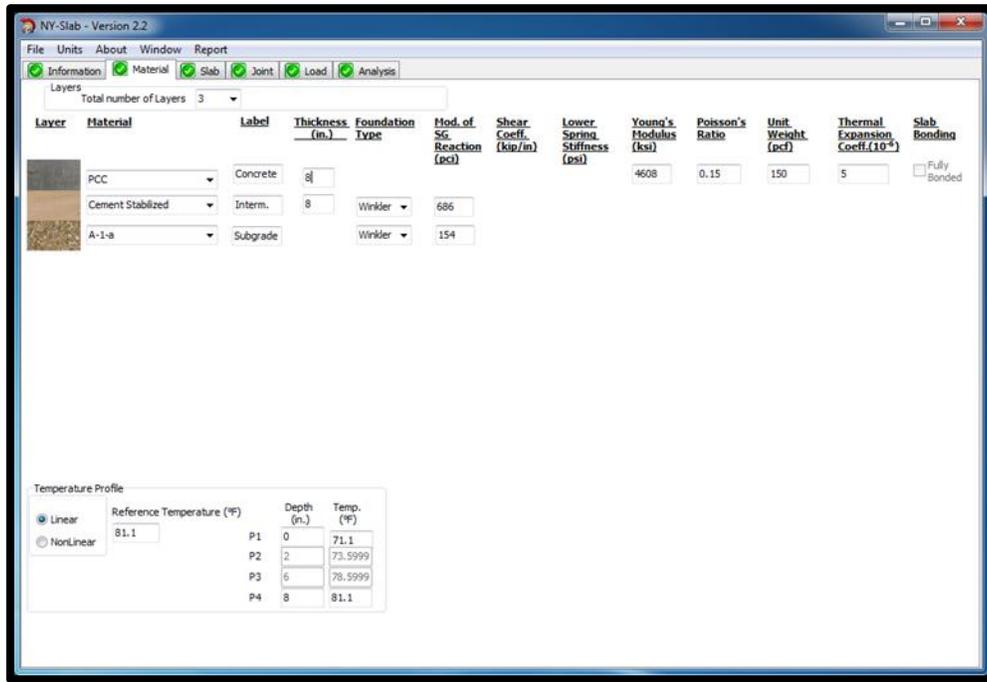


Ilustración 44 Pestaña de posición de carga, centro de losa y gradiente térmico nocturno.

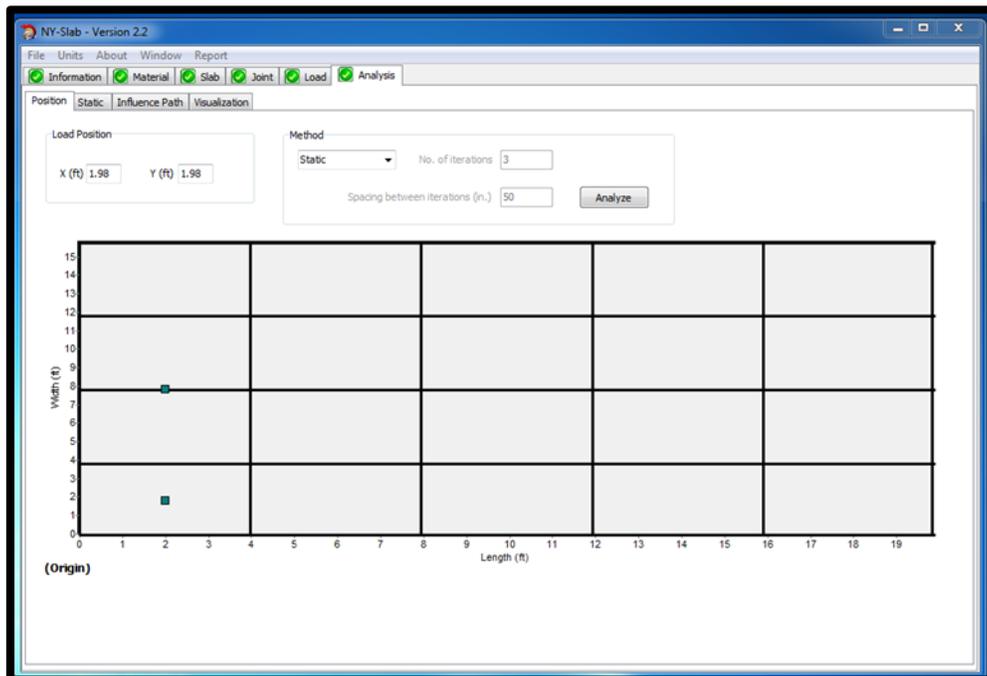


Ilustración 45 Esfuerzo Superior de Flexión Longitudinal (psi) correspondiente al análisis de carga en el centro, gradiente nocturno.

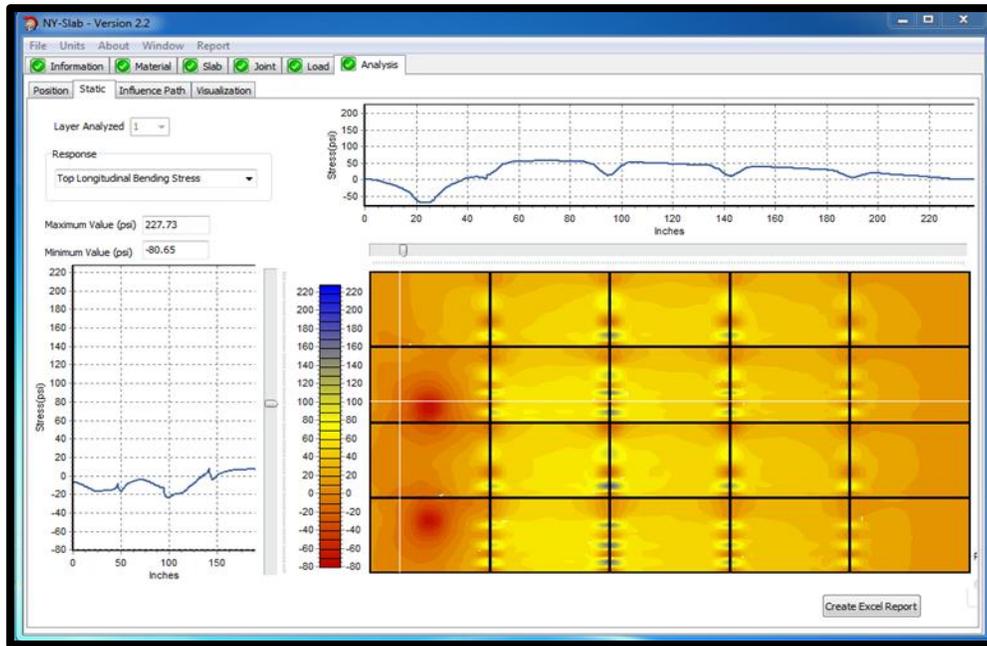


Ilustración 46 Esfuerzo Superior de Flexión Longitudinal (psi) correspondiente al análisis de carga en el centro, gradiente nocturno, vista 3D.

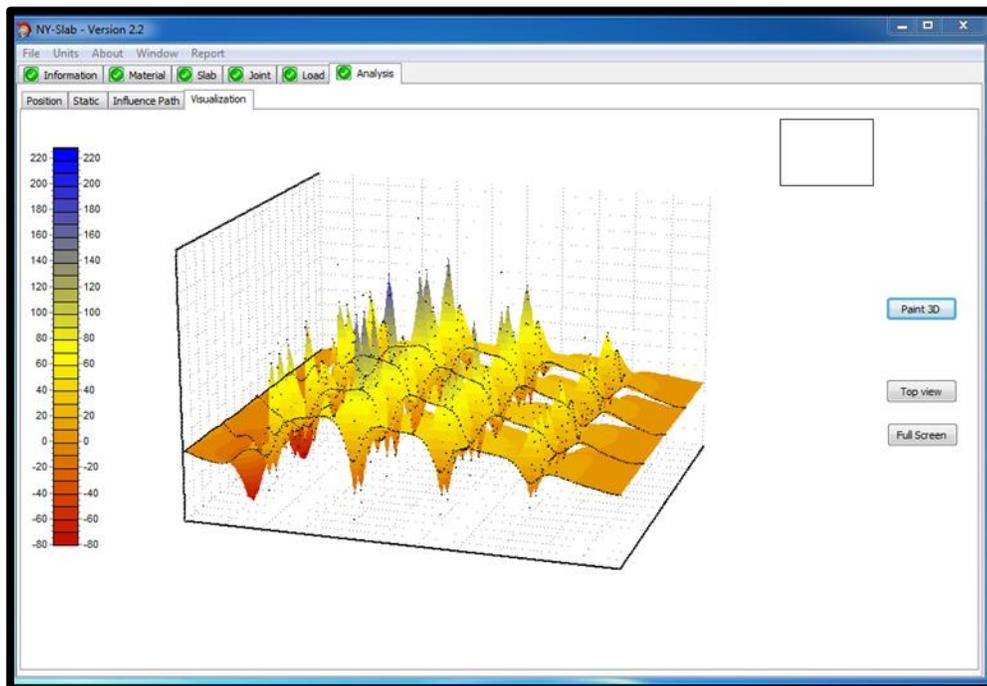


Tabla 63 Tabla de Esfuerzos resultantes en la esquina de la losa, gradiente diurno (positivo)
81.11°F en fibra superior y 71.11°F fibra inferior.

POSICIÓN DE ANÁLISIS	ESQUINA DE LOSA		GRADIENTE	81.11/71.11
	ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	X/Y (Ft)	VALOR MAX	VALOR MIN
Deflexión Vertical (mils)	3.96/0	-0.002	-0.0273	341.25>δ MAX
Esfuerzo Superior de Flexión Longitudinal (PSI)	3.96/0	100.02	-299.94	OK
Esfuerzo Superior de Flexión Lateral (PSI)	3.96/0	44.35	-130.57	OK
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	3.96/0	65.32	-63.73	OK
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	3.96/0	96.2	-130.52	OK
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	3.96/0	61.55	-308.8	OK
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	3.96/0	86.91	-79.15	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Longitudinal (PSI)	3.96/0	299.94	-100.02	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI)	3.96/0	130.57	-44.35	OK
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	3.96/0	63.73	-65.32	OK
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	3.96/0	308.8	-61.55	OK
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	3.96/0	130.52	-96.2	OK
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	3.96/0	86.91	-79.15	OK

Tabla 64 Tabla de Esfuerzos resultantes en la esquina de la losa, gradiente nocturno (positivo)
71.11°F en fibra superior y 81.11°F fibra inferior.

POSICIÓN DE ANÁLISIS	ESQUINA DE LOSA		GRADIENTE	71.10/81.10
	ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	X/Y (Ft)	VALOR MAX	VALOR MIN
Deflexión Vertical (mils)	3.96/0	0.0053	-0.0209	341.25>δ MAX
Esfuerzo Superior de Flexión Longitudinal (PSI)	3.96/0	269.61	-149.98	OK
Esfuerzo Superior de Flexión Lateral (PSI)	3.96/0	94.91	-63.7	OK
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	3.96/0	69.91	-51.9	OK
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	3.96/0	274.09	-56.14	OK
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	3.96/0	74.29	-155.46	OK
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	3.96/0	90.94	-76.49	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Longitudinal (PSI)	3.96/0	149.98	-269.61	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI)	3.96/0	63.70	-94.91	OK
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	3.96/0	51.90	-69.91	OK
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	3.96/0	155.46	-74.29	OK
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	3.96/0	56.14	-274.09	OK
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	3.96/0	90.94	-76.49	OK

Tabla 65 Tabla de Esfuerzos resultantes en el borde de la losa, gradiente diurno (positivo) 81.11°F en fibra superior y 71.11°F fibra inferior.

POSICIÓN DE ANÁLISIS	BORDE DE LOSA		GRADIENTE	81.11/71.11
ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	X/Y (Ft)	VALOR MAX	VALOR MIN	MR> δ MAX
Deflexión Vertical (mils)	1.98/0	-0.0016	-0.049	341.25>δ MAX
Esfuerzo Superior de Flexión Longitudinal (PSI)	1.98/0	211.77	-258.29	OK
Esfuerzo Superior de Flexión Lateral (PSI)	1.98/0	124.09	-329.26	OK
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	1.98/0	78.86	-40.19	OK
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	1.98/0	212.81	-146.04	OK
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	1.98/0	55.11	-329.19	OK
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	1.98/0	102.14	-86.11	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Longitudinal (PSI)	1.98/0	258.29	-211.77	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI)	1.98/0	329.26	-124.04	OK
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	1.98/0	40.19	-78.86	OK
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	1.98/0	329.19	-5511	OK
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	1.98/0	146.04	-212.81	OK
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	1.98/0	102.14	-86.11	OK

Tabla 66 Tabla de Esfuerzos resultantes en el borde de la losa, gradiente nocturno (positivo) 71.11°F en fibra superior y 81.11°F fibra inferior.

POSICIÓN DE ANÁLISIS	BORDE DE LOSA		GRADIENTE	71.10/81.10
ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	X/Y (Ft)	VALOR MAX	VALOR MIN	MR> δ MAX
Deflexión Vertical (mils)	1.98/0	0.0019	-0.029	341.25>δ MAX
Esfuerzo Superior de Flexión Longitudinal (PSI)	1.98/0	205.79	-116.91	OK
Esfuerzo Superior de Flexión Lateral (PSI)	1.98/0	265.35	-77.33	OK
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	1.98/0	66.09	-45.25	OK
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	1.98/0	265.86	-62.22	OK
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	1.98/0	72.05	-126.18	OK
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	1.98/0	88.18	-80.65	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Longitudinal (PSI)	1.98/0	116.91	-205.79	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI)	1.98/0	77.33	-265.35	OK
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	1.98/0	45.25	-66.09	OK
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	1.98/0	126.18	-72.05	OK
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	1.98/0	62.22	-265.86	OK
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	1.98/0	88.18	-80.65	OK

Tabla 67 Tabla de Esfuerzos resultantes en el centro de la losa, gradiente diurno (positivo) 81.11°F en fibra superior y 71.11°F fibra inferior.

POSICIÓN DE ANÁLISIS ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	CENTRO DE LOSA		GRADIENTE	81.11/71.11
	X/Y (Ft)	VALOR MAX	VALOR MIN	MR> δ MAX
Deflexión Vertical (mils)	1.98/1.98	-0.0024	-0.0304	341.25>δ MAX
Esfuerzo Superior de Flexión Longitudinal (PSI)	1.98/1.98	119.78	-233.53	OK
Esfuerzo Superior de Flexión Lateral (PSI)	1.98/1.98	75.82	-282.05	OK
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	1.98/1.98	63.98	-65.66	OK
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	1.98/1.98	114.89	-129.76	OK
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	1.98/1.98	27.05	-281.49	OK
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	1.98/1.98	132.55	-121.52	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Longitudinal (PSI)	1.98/1.98	233.53	-119.78	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI)	1.98/1.98	282.05	-75.82	OK
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	1.98/1.98	65.66	-63.98	OK
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	1.98/1.98	281.49	-27.05	OK
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	1.98/1.98	129.76	-114.89	OK
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	1.98/1.98	132.55	-121.52	OK

Tabla 68 Tabla de Esfuerzos resultantes en el centro de la losa, gradiente nocturno (positivo) 71.11°F en fibra superior y 81.11°F fibra inferior.

POSICIÓN DE ANÁLISIS ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	CENTRO DE LOSA		GRADIENTE	71.10/81.10
	X/Y (Ft)	VALOR MAX	VALOR MIN	MR> δ MAX
Deflexión Vertical (mils)	1.98/1.98	0.0022	-0.0182	341.25>δ MAX
Esfuerzo Superior de Flexión Longitudinal (PSI)	1.98/1.98	227.73	-80.65	OK
Esfuerzo Superior de Flexión Lateral (PSI)	1.98/1.98	141.05	-85.18	OK
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	1.98/1.98	70.81	-73.42	OK
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	1.98/1.98	217.55	-78.06	OK
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	1.98/1.98	72.23	-93.62	OK
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	1.98/1.98	106.66	-150.86	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Longitudinal (PSI)	1.98/1.98	80.65	-227.73	OK
Esfuerzo Inferior de Flexión Lateral (PSI)	1.98/1.98	85.18	-141.05	OK
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	1.98/1.98	73.42	-70.81	OK
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	1.98/1.98	93.62	-72.23	OK
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	1.98/1.98	78.06	-217.55	OK
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	1.98/1.98	106.66	-150.86	OK

Tabla 69 Anchos de Medianas recomendables para las carreteras de la red vial regional

Tipo	Clasificación	Ancho de Mediana (m)
AR	Autopistas Regionales	4 – 12
TS	Troncales Suburbanas	4-10
TR	Troncales Rurales	2 – 6
CS	Colectoras Suburbanas	Sin mediana
CR	Colectoras Rurales	Sin mediana

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA), 2001, capítulo IV, p. 15

Tabla 70 Ancho mínimos de hombros y aceras

Cuadro 4.3

ANCHOS MÍNIMOS DE HOMBROS Y ACERAS

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AR	Autopistas Regionales	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	1.8 – 2.5	
TS	Troncales Suburbanas	Controlado	Alto	1.0 -1.5	1.8 - 2.5	1.2 – 2.0
TR	Troncales Rurales	-	Alto	0.5 – 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 – 1.5
CS	Colectoras Suburbanas	-	Intermedio	0.5*	1.2 - 1.5	1.0 – 1.2
CR	Colectoras Rurales	-	Intermedio	-	1.2 – 1.5	1.0 – 1.2

* Solamente con mediana

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA), 2001, capítulo IV, p. 9

Tabla 71 Dimensiones y espaciamiento de las barras de amarre en pavimentos de concreto (Grado 60)

Tabla 1. Dimensiones y espaciamiento de las barras de amarre en pavimentos de concreto (Grado 60)

Espesor de losa (mm)	Diámetro de la barra (mm)	Longitud de la barra (mm)	Espaciamiento entre barras centro a centro (mm)			
			Distancia al extremo libre			
			3.0 m	3.7 m	4.3 m	7.3 m
150	13	600	760	760	760	700
150	13	600	760	760	760	580
180	13	600	760	760	760	500
200	13	600	760	760	760	430
230	16	760	900	900	900	600
250	16	760	900	900	900	560
280	16	760	900	900	860	500
310	16	760	900	900	780	460

Fuente: Instituto Nicaragüense del Cemento y del Concreto, 2014, “Boletín Técnico No. 50”