



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía.

**“DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA 6.6 KILÓMETROS DE CALLE, EN
LOTIFICACIÓN COLINAS DEL DIAMANTE, ESTELÍ”.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Ángel José Rodríguez Palacios

Br. Alder Enrique Zeaz Moran

Tutor

Ing. Denis Alberto Lanuza Blandón

Managua, abril 2018

DEDICATORIA.

A Dios, por haberme dado la oportunidad de vivir, pues sin ello nada de esto sería posible, por darme la oportunidad de crecer en una familia que me inculco valores y hacer de mí alguien de bien, de aprovechar mi tiempo en el presente para beneficios futuros.

A mi madre, Esperanza Palacios Valdívía, por su apoyo incondicional, consejos que en muchas ocasiones no entendí y los confundía con regaños, sin darme cuenta que me hizo todo el bien que podía hacerme falta y por eso hoy soy quien soy.

A mi padre, Rafael Arcángel Rodríguez Portillo, por su rectitud en nuestra educación y enseñarnos que siempre debemos ayudar sin esperar nada a cambio, pues nuestra recompensa será invaluable sin si quiera darnos cuenta, en conjunto con mi madre por preocuparse de que nunca me faltara nada para mis estudios.

A mis hermanos: Laura Rafaela Rodríguez Palacios, Rafael Arcángel Rodríguez Palacios, por contar con ellos en mis dudas, por cuidar de mí, y aportar en mí, preocupación y responsabilidad por mis estudios.

Mi familia, este triunfo es para ustedes.

Ángel José Rodríguez Palacios.

AGRADECIMIENTO.

Nada de esto sería posible sin la mano divina de Dios, que nos ha dado la capacidad de disponer de sus obras para beneficio nuestro, que en muchas ocasiones son nuestro sustento y la mejora de la calidad de vida de muchas personas beneficiadas por nuestro trabajo.

Son muchas las personas involucradas que brindaron sus conocimientos para realizar este trabajo con el mejor esfuerzo y dedicación posible.

A mis padres que se preocuparon por dar todo de ellos para mi educación desde primaria hasta ver lo que hoy busco ser, un Ingeniero competente que se suman a la búsqueda de soluciones viables a problemas cotidianos y complejos.

Esa ayuda que fue brindada por maestros que hacen de su profesión un estilo de vida y nos compartieron sus conocimientos a lo largo de nuestra formación, especialmente puedo mencionar a los ingenieros Ajax Moncada Castillo, Denis Alberto Lanuza Blandón, Jimmy Sierra, Vicente Díaz, Carlos Manuel Alfaro Báez; quienes pusieron a prueba mis capacidades y me hicieron comprender que no hay barrera que no se pueda vencer más que la impuesta por nuestra propia mente sin antes intentar superarla.

Ángel José Rodríguez Palacios.

DEDICATORIA.

En primer lugar a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, ser El quine me dio lo necesario para poder seguir adelante día a día y así culminar mis objetivos, además de su infinita bondad y amor incondicional durante mi preparación profesional.

A mis padres que me dieron la oportunidad de llegar a este mundo, y poder haber compartido tantas cosas que sin ellos no sería posible.

A la persona más importante que ha llegado a i vida, sin ella no sería posible tantas cosas, por sus consejos, el tiempo dedicado, por ser una madre para mí, por eso y muchas cosas más, gracias Jocabet Rodríguez Alemán.

A mi familia en general porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Alder Enrique Zeas Moran.

AGRADECIMIENTO.

En este punto no podía faltar la bendición de Dios, a Él todo nuestro esfuerzo y dedicación, gracias a Dios nuestro por cada día que nos brinda y así poder servir a las personas que necesitan de nuestra voluntad.

Este ha sido un proceso de aprendizaje y experimentación personal, que se necesitó de la paciencia de muchas personas para llegar donde estamos, sin ellos nada habría sido posible, de corazón gracias por sus buenos deseos. A ustedes maestros que durante gran parte de nuestras vidas nos brindaron su tiempo sin esperar nada a cambio. Gracias.

Un trabajo como este es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a un número de investigaciones arduas que nos llevaron hasta el final, gracias a esos amigos que estuvieron siempre a nuestro lado.

Gracias UNI, porque sin todos ustedes los involucrados jamás habría sido posible tanto sacrificio.

Alder Enrique Zeas Moran.

Resumen ejecutivo.

La infraestructura vial es un pilar muy importante dentro del patrimonio de nuestra nación considerando su vínculo directo con el desarrollo socioeconómico; pues permite la comunicación y relación entre poblados.

La estructura de un pavimento como parte fundamental de la infraestructura vial juega un papel muy importante ya que su finalidad es ofrecer al usuario un rodaje cómodo, seguro y económico.

La presente monografía tiene como objetivo diseñar la estructura del pavimento rígido para 6.6 km de calles en el proyecto Lotificación Colinas del Diamante, Estelí.

Para efectuar lo antes mencionado son necesarios estudio de tránsito, estudio geotécnico y para diseñar la estructura de pavimento se implementará el método orientado por Portland Cement Association (PCA) verificando el resultado con el software WinPas. Versión 1.0.4.

El presente trabajo se compone de 4 capítulos, en los cuales se describe de manera concisa los procedimientos y cálculos correspondientes para cada estudio.

Capítulo 1: generalidades. Se describen aspectos claves que nos permitirán comprender de manera lógica el documento abordado, siendo estos: introducción, ubicación del proyecto, antecedentes, justificación y objetivos.

Capítulo 2: estudio de tránsito. Es la herramienta básica para diseñar el espesor del pavimento, pues el propósito es obtener la información específica del volumen vehicular por medio de un aforo o conteo vehicular en uno o más puntos clave elegidos estratégicamente, obteniendo al final un número de repeticiones que deberá soportar el pavimento a lo largo de su vida útil.

Dichas repeticiones deben descomponerse por el tipo de eje: simples, tándem o tridem si lo existiera.

Capítulo 3: estudio geotécnico. Se citan los ensayos que serán básicos de realizar al suelo sobre el cual se colocará el pavimento de concreto : clasificación del suelo por el método AASHTO M 145, límites de Atterberg bajo la norma ASTM designación D 4318, ensayos proctor: método estándar AASHTO T-99-01, modificado AASHTO T 180-01; ensayo CBR ASTM D 1883-07, y ensayo DCP norma ASTM D 6951-03, los resultados nos brindan las características físicas, y las propiedades mecánicas del suelo en estudio, evaluando así su utilidad en la vía.

Capítulo 4: diseño de la estructura del pavimento. Se utilizará el método de la PCA para el diseño del pavimento, el espesor y la resistencia a la flexión con la cual debe diseñarse el concreto (módulo de rotura MR) para que sea capaz de soportar los esfuerzos generados con el paso de los vehículos. Para ello necesitamos: el módulo de reacción de la base (K), los pesos, frecuencias y tipos de cargas axiales que deberá soportar, y el periodo de diseño o vida útil, estipulado para este caso 20 años.

Se elaboraran conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos de cada estudio, y las pautas que nos permitirá tomar decisiones y precauciones para la ejecución más eficiente de este proyecto.

Como complemento de éste proyecto, constará con los anexos que presentan las especificaciones, nomogramas, esquemas y fotografías que soportan el estudio realizado.

Contenido

CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES.	1
1.1 INTRODUCCIÓN.	1
1.1.1 Descripción general del proyecto.....	2
1.2 ANTECEDENTES	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.	5
1.4 OBJETIVOS.	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos.	6
CAPITULO II. ESTUDIO DE TRÁNSITO.	8
2.1 Aforo vehicular.	8
2.2 Factor día.	8
2.3 Tráfico promedio diario (TPD).	9
2.4 Volumen promedio diario.	9
2.5 Tráfico promedio diario anual.	10
2.6 Proyección del tránsito.....	12
CAPITULO III. ESTUDIO DE SUELOS.	15
3.1 Sondeo.	15
3.2 Extracción de la muestra.	15
3.2.1 Reducción de la muestra.	15
3.3 Ensayos para suelo en laboratorio.	16
3.3.1 Humedad natural.	16

El contenido de humedad es obtenido mediante la siguiente expresión:	16
3.3.2 Granulometría.....	16
3.3.3 Límites de Atterberg.	18
3.3.3.1 Límite líquido.....	18
3.3.3.2 Límite plástico.	19
3.3.3.3 Índice de plasticidad.....	19
3.3.4 Clasificación del suelo	19
3.3.5 Ensayo proctor.	21
3.3.6 Ensayo de CBR	23
3.3.7 Ensayo DCP o cono dinámico de penetración.	23
CAPITULO IV. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO..	26
4.1 Subrasante.	26
4.2 Base.....	26
4.2.1 Material para base.	27
4.2.2 Granulometría y clasificación del material para base.	27
4.2.3 Ensayo proctor, material de préstamo.	28
4.2.4 Ensayo CBR, material de préstamo.	29
4.2.5 Módulo de reacción “K”.....	29
4.3 Carpeta de rodamiento.	33
4.4 Descripciones de la carpeta de rodamiento.	33
4.5 Cálculo del diseño.....	34
4.5.1 Descomposición vehicular y repeticiones esperadas.	35
4.5.2 Análisis por fatiga y erosión.	36
4.5.3 Comprobación de diseño con el Software Winpas.....	41
4.5.4 Comportamiento de losas analizado con el software EverFe.....	52

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
Conclusiones.....	59
Recomendaciones.....	60
Bibliografía.....	61
ANEXOS.....	I

CAPITULO I

ASPECTOS

GENERALES

CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES.

1.1 INTRODUCCIÓN.

Con el objetivo de promover el crecimiento de la ciudad en la economía y en mejorar las condiciones de las vías para sus usuarios, facilitando a la vez la comunicación entre poblados, nos complace demostrar nuestros conocimientos adquiridos, diseñando el pavimento rígido del nuevo residencial en la ciudad de Estelí.

El presente trabajo monográfico comprende el diseño de la estructura de pavimento rígido que soportará el paso vehicular en la nueva urbanización ubicada en el departamento antes mencionado, realizando un estudio de tráfico en puntos clave adyacentes al proyecto “Lotificación colinas del diamante”, localizado en el barrio El Higo, donde se ha acondicionado un área de 24 hectáreas más 3,708 m² para futura urbanización, donde se obtuvieron 527 lotes para la construcción de viviendas unifamiliares.

Dicho estudio de tráfico, se elabora con el propósito principal de obtener el tráfico promedio diario anual (TPDA) para calcular el espesor del pavimento rígido de las calles que quedaron por defecto del proceso de lotificación, las cuales ocupan un área total de 52,841 m² y para una estructura que otorgue el mejor desempeño, es necesario conocer el volumen vehicular y la caracterización del mismo.

El método de diseño que se usará es el establecido por la PCA (Portland Cement Association) de los Estados Unidos, que centraliza su objetivo en identificar la cantidad, tipo de eje, y sus pesos respectivos, el módulo de reacción de la base y la resistencia a flexión del concreto para verificar el espesor del pavimento.

El tipo de concreto seleccionado para la carpeta de rodamiento es un concreto hidráulico simple con barras de amarre (barras corrugadas) en la junta longitudinal, y dovelas (barras lisas) en sus juntas de construcción únicamente, en las demás juntas de control las cargas serán transmitidas únicamente por trabazón de agregados.

1.1.1 Descripción general del proyecto.

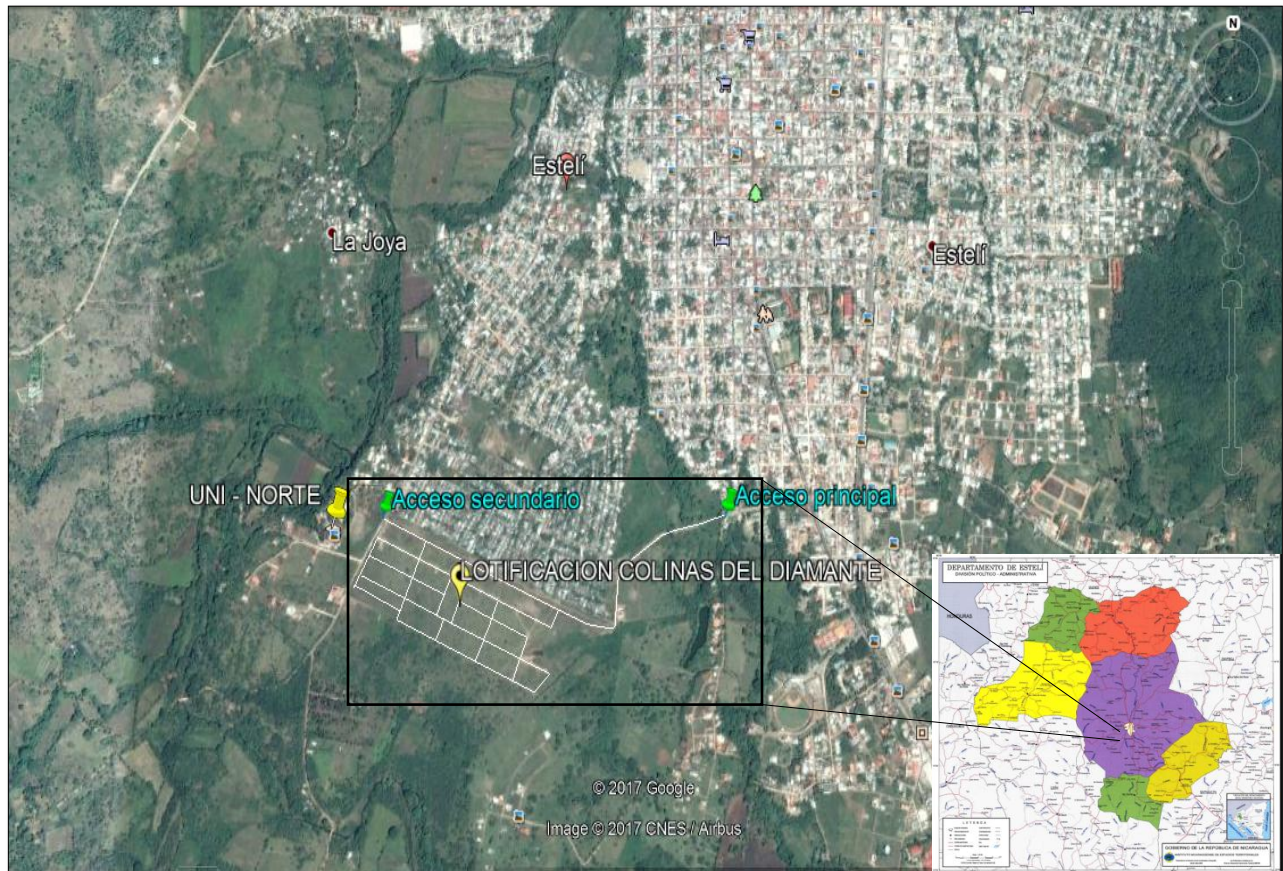
El proyecto se enfoca en el diseño de la estructura de pavimento en un residencial que se está desarrollando en el departamento de Estelí, localizado en el municipio Estelí, barrio El Higo. Hay dos accesos al proyecto, uno ubicado hacia el este, en el barrio Boris Bega, contiguo a la escuela Belén Fé y Alegría, este es el acceso principal al residencial en construcción y corresponde a las coordenadas **13°04'26.32"N 86°2'25.9"O**, el acceso dos, se encuentra en el lado oeste de la lotificación, en el barrio La Chiriza, dicha entrada al proyecto, está del portón principal de la UNI, quinientos metros hacia el sur, corresponde a la coordenada **13°04'29.8"N 86°21'34.77"O**, y cubre un área total de 24 hectáreas más 3,708 metros cuadrados, de los cuales 52,841 metros cuadrados, son calles.

Figura 1. Mapa de Macro-localización del proyecto.



Fuente: INETER.

Figura 2. Mapa de Micro-localización



Fuente: INETER /Google earth

1.2 ANTECEDENTES

En los últimos 5 años, Nicaragua ha enfrentado un crecimiento considerable en el parque vehicular, las cifras oficiales entre el año 2012 al 2016 el número de vehículos aumento en el país en un cincuenta y seis por ciento (56%). En este período, pasaron de 511,631 vehículos a 800,000 según registros de la dirección de tránsito de la policía nacional, lo que representa 288,369 unidades más en la vía.

En ese mismo periodo, la red vial pavimentada aumentó en un veinticinco por ciento (25%) al pasar en 2012 de 3,282 a 4,113 kilómetros en 2016, es decir 831 kilómetros nuevos.

Partiendo de ese dato, es la causa de la demanda de más espacios para los vehículos que circulan, así como más hogares para las familias que poseen esos vehículos, hogares que tienen lugar en áreas destinadas a ese fin, como es el caso en estudio, una nueva urbanización y las tareas que lleva consigo de la mano, aportando a la economía de la ciudad, de tal manera que se involucra a empresas que ejecutaran los resultados aquí obtenidos para brindar a los usuarios de las calles de dicho residencial, una estructura de pavimento a base de concreto hidráulico que minimizará los costos a largo plazo en cuanto a mantenimiento periódico de las calles, menor consumo de combustible y transitar con seguridad en la vía.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

La ciudad de Estelí ha tenido un gran desarrollo en los últimos años. Como resultado de la vialidad se espera dar mayor auge a esta región, impulsando el progreso de la ciudad disminuyendo los problemas viales.

El tener un sistema vial que no cumple con las exigencias de la sociedad, el desarrollo urbanístico y la economía de la zona se puede ver afectada considerablemente, ya que el tiempo de transporte y los daños a los vehículos serían cada vez mayores, se puede decir que actualmente es una vialidad que solo funciona para realizar actividades de menor relevancia.

Lo que se desea, es comunicar en condiciones económicas y competitivas a una sociedad en donde la actividad del transporte es básica para su desarrollo. Debemos estar conscientes que se requiere de un transporte cada vez más económico, rápido y seguro.

La ubicación del proyecto es un punto estratégico, cercano al colegio primario, Belén Fé y Alegría y a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI NORTE). Lo cual permitirá fortalecer las bases de la educación de los jóvenes.

Con este proyecto se pretende dar solución a largo plazo a los problemas viales en la zona, mitigando así toda problemática de estancamiento de agua por un drenaje inadecuado y poder satisfacer las necesidades de los usuarios.

Cada día debemos dedicarnos a mejorar las condiciones de vida de los habitantes de un país, ciudad, comunidad, etc., está en nuestras manos, y es la iniciativa lo que hace la diferencia para lograr el perfeccionamiento de nuestras actividades y nuestra comodidad.

Dejar las calles sobre el terreno natural, deteriora rápidamente la superficie y si sumamos a ello el paso de vehículos en la época de invierno el daño es aún mayor, pues sabemos que el agua es el peor enemigo en los caminos, incluso en pavimentos construidos si a este no se le dio el diseño ideal de drenaje.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo general

- Elaborar el diseño de pavimento rígido para las calles del proyecto “Lotificación Colinas del diamante” en el departamento de Estelí.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Realizar sondeos sobre la línea de proyecto para ensayos de granulometría y clasificación del suelo de la zona.
- Realizar ensayo proctor y CBR de la muestra extraída del proyecto para conocer la densidad máxima y capacidad soporte del suelo.
- Realizar estudio de tráfico y encuestas a posibles habitantes en el residencial, para obtener un TPDA y guiarnos con el “diseño de pavimentos cuando no existen ejes disponibles” por el método PCA.
- Diseñar la estructura de pavimento rígido utilizando el método de la PCA (Portland Cement Association).
- Presentar con ayuda del software EverFe el comportamiento de las losas del pavimento al recibir cargas por el tráfico vehicular, así como comprobar si el espesor de la losa es el óptimo, con el software WinPas.

CAPITULO II
ESTUDIO DE TRÁNSITO

CAPITULO II. ESTUDIO DE TRÁNSITO.

El tránsito vehicular es el factor más importante al momento de realizar el diseño del pavimento, que el estudio se lleve a cabo de la manera más exacta posible nos asegura un diseño con mejores prestaciones a sus usuarios, ya que la cantidad de ejes proyectados, nos dará a conocer las repeticiones por tipo de eje que debe soportar el pavimento, con lo cual se evalúan las propiedades del concreto diseñado a soporte por flexión, así como en cuanto a fatiga y erosión resiste.

2.1 Aforo vehicular.

Se realizó el conteo vehicular y 100 entrevistas al azar. Se establecieron dos puntos: la Estación 1, situada en la calle que va hacia la escuela Belén fe y alegría, que colinda con el acceso principal al proyecto, y Estación 2, ubicada en la carretera que continúa del portón principal de UNI Norte, sobre el cual está el acceso secundario al proyecto. La hoja de trabajo de campo clasificó el tránsito por tipo de vehículo, cantidad, y capacidad de carga, así como la hora en que transitó. **(Ver Anexos A: A1. pág. II, A2. pág. III, y A3. pág. IV).**

El período de conteo fue de 7 días con una noche comenzando el viernes 7 de julio del año 2017, mismo día que se realizó el conteo nocturno y finalizó el día jueves 13 de julio del 2017, durante 12 horas, de 6:00 am a 6:00 pm.

2.2 Factor día.

El factor día es utilizado para afectar el conteo vehicular diario al final de la jornada durante los 7 días. Esto se hace con el propósito de considerar el tráfico que circula por la vía en horas durante la noche.

El factor día es obtenido al dividir la cantidad total de cada vehículo durante el conteo nocturno, entre la cantidad de vehículos del mismo tipo del conteo diurno. **(Ver Anexos A: A6 pág. VI – A8 pág. VII).**

El factor día entonces se expresa de la siguiente manera:

$$Fd = \frac{\Sigma \text{vehículos durante la noche}}{\Sigma \text{vehículos durante el día}} + 1$$

(Ecuación 1).

2.3 Tráfico promedio diario (TPD).

Es el total de los vehículos que se tiene durante cada día al finalizar el tiempo de conteo que es de 12 horas diarias en el período establecido de 7 días, clasificando cada uno por tipo de vehículo: moto, auto, jeep, camioneta, bus, etc., es el paso que nos ayuda a la caracterización del tráfico presente en la zona. (**Ver anexos: A9 pág. VIII- A22 pág. XIV**). En este punto, se utiliza el dato obtenido en 2.2 y se afecta a cada vehículo.

$$TPD = \Sigma \text{Vehículos de 1 tipo} * Fd$$

(Ecuación 2).

Por ejemplo: utilizando la **ecuación 2**, para el caso de las motos del día 1 (**ver anexo A9 pág. VIII**), el tráfico promedio diario será:

- Cantidad de motos: 58
- Factor día de la estación acceso principal, para las motos (**ver anexo A6 pág. VI**): 1.76
- $TPD = 58 * 1.76 = 102$

2.4 Volumen promedio diario.

Se determinó el volumen promedio diario en ambas estaciones, el cual se consigue tras sumar por tipo de vehículo, el total del mismo grupo durante los 7 días, y durante la hora establecida dentro de las 12 horas.

Así se obtuvieron para cada uno de los vehículos, durante las 12 horas de conteo, como se muestra en la **tabla 1. VPD. Est. 1** y **tabla 2. VPD. Est. 2**.

Tabla 1. VPD. Est. 1.

VPD Y TRÁFICO DE HORA MÁXIMA, Est. 1													
Periodo =		viernes, 07 de julio de 2017				al						jueves, 13 de julio de 2017	
Hora		Tipo	Moto	Autos	Jeep	Camioneta	McBus < 15 psj.	MnBus 15-30 psj.	C2, 2 - 5 Ton.	C2, 5 + Ton	C3	TOTAL	
06:00:00 a.m.	07:00:00 a.m.		81	67	19	28	6	11	0	3	0	31	
07:00:00 a.m.	08:00:00 a.m.		65	40	23	20	3	1	19	11	0	26	
08:00:00 a.m.	09:00:00 a.m.		77	38	20	39	8	6	1	0	2	27	
09:00:00 a.m.	10:00:00 a.m.		60	15	11	29	1	1	9	11	0	20	
10:00:00 a.m.	11:00:00 a.m.		67	44	10	29	8	0	0	0	0	23	
11:00:00 a.m.	12:00:00 p.m.		67	6	6	3	0	0	0	0	3	12	
12:00:00 p.m.	01:00:00 p.m.		42	48	6	13	0	9	0	12	0	19	
01:00:00 p.m.	02:00:00 p.m.		86	55	19	27	10	1	11	0	9	31	
02:00:00 p.m.	03:00:00 p.m.		83	53	24	10	7	2	0	2	0	26	
03:00:00 p.m.	04:00:00 p.m.		53	36	28	17	14	2	7	8	0	23	
04:00:00 p.m.	05:00:00 p.m.		53	38	20	21	1	10	3	0	0	21	
05:00:00 p.m.	06:00:00 p.m.		42	29	5	3	0	0	0	0	0	11	
TOTAL VPD =			111	67	28	34	8	6	7	6	2	270	
											Factor de hora máxima =	11.51%	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. VPD. Est. 2.

VPD Y TRÁFICO DE HORA MÁXIMA, Est. 2.													
Período =		viernes, 07 de julio de 2017				al						jueves, 13 de julio de 2017	
Hora		Tipo	Moto	Autos	Jeep	Camioneta	McBus < 15 psj.	MnBus 15-30 psj.	C2, 2 - 5 Ton.	C2, 5 + Ton	C3	TOTAL	
06:00:00 a.m.	07:00:00 a.m.		54	38	8	14	6	0	2	0	0	17	
07:00:00 a.m.	08:00:00 a.m.		34	22	10	18	3	1	11	5	1	15	
08:00:00 a.m.	09:00:00 a.m.		58	19	4	24	5	2	2	1	1	17	
09:00:00 a.m.	10:00:00 a.m.		40	11	8	14	0	0	7	6	1	12	
10:00:00 a.m.	11:00:00 a.m.		29	13	4	32	5	1	7	1	1	13	
11:00:00 a.m.	12:00:00 p.m.		34	5	6	0	0	1	0	0	0	7	
12:00:00 p.m.	01:00:00 p.m.		34	11	5	2	6	0	2	5	0	9	
01:00:00 p.m.	02:00:00 p.m.		60	16	10	14	8	0	5	0	3	16	
02:00:00 p.m.	03:00:00 p.m.		34	25	13	12	0	1	0	1	0	12	
03:00:00 p.m.	04:00:00 p.m.		35	16	13	12	12	1	9	4	0	15	
04:00:00 p.m.	05:00:00 p.m.		35	13	9	14	0	0	0	0	0	10	
05:00:00 p.m.	06:00:00 p.m.		31	25	1	5	0	0	7	0	0	10	
TOTAL VPD =			68	30	13	23	6	1	7	3	1	153	
											Factor de hora máxima =	11.30%	

Fuente: elaboración propia.

2.5 Tráfico promedio diario anual.

De ambas estaciones se calculó un promedio del VPD y es afectado por un factor de expansión establecido por el MTI en las estaciones de Nicaragua.

En vista de que no hay una estación permanente específica para esa región del departamento consideramos usar la estación paralela a la zona en estudio: **Estación 3505, Tramo Estelí – La Estanzuela, actualización Octubre 2015**, tomando en cuenta que el factor día de dicha estación es similar al promedio del factor día de ambas estaciones obtenido en nuestro estudio, así como el porcentaje de vehículos pesados y livianos.

Tabla 3. Estación 3505, tramo: Estelí – La Estanzuela.

Camino: NIC-35A		Estación: 3505		Tramo: ESTELI - LA ESTANZUELA		Periodo: L		Días: 3		Horas:		Mes/Año: Oct. 2015		Km: 150.305				
Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado			Total	
		Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros
		2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18		19
TP(D)	166	5	18	77	1	1	3	3	5	1		0			1		1	281
Factor Día	1.30	1.46	1.29	1.30	1.28	1.19	1.33	1.27	1.24	1.30	1.00	1.24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	
Factor Semana	0.98	1.08	1.03	1.00	0.96	0.97	0.93	0.88	0.88	0.83	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	
Factor Expansión	0.91	0.91	0.82	0.91	0.94	1.05	0.99	0.96	0.95	0.78	1.00	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00	0.77	
TPDA Sep-Dic	193	7	19	92	1	1	4	3	5	1		1			1		1	329
% TPDA	58.66	2.13	5.78	27.96	0.30	0.30	1.22	0.91	1.52	0.30		0.30			0.30		0.30	100.00
% Vehículos Livianos	95.14%						% Vehículos Pesados						4.56%			0.30%	100%	

Fuente: Anuario de tráfico, actualización octubre 2015. MTI.

Tabla 4. TPDA del proyecto.

VPD	Moto	Autos	Jeep	Camioneta	McBus < 15 psj.	MnBus 15-30 psj.	C2, 2 - 5 Ton.	C2, 5 + Ton	C3	Total
Estación 1	111	67	28	34	8	6	7	6	2	270
Estación 2	68	30	13	23	6	1	7	3	1	153
Promedio semanal	90	49	20	28	7	4	7	5	1	211
Grupo	Estación = 3505 Camino NIC - 35A Tramo =									
	Vehículos de pasajeros						Vehículos de carga			
Expansión a TPDA	Moto	Autos	Jeep	Camioneta	McBus < 15 psj.	MnBus 15-30 psj.	C2, 2 - 5 Ton.	C2, 5 + Ton	C3	
Factor de expansión	0.91	0.91	0.82	0.91	0.94	1.05	0.96	0.95	0.78	Total
TPDA	82	46	18	26	8	4	8	6	2	200
	% Vehículos livianos =		92%				Vehículos pesados =		8%	100%

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 5 del método PCA cuando no hay ejes disponibles, comprobamos que nuestro TPDA, está dentro de los parámetros de diseño como calles para residenciales.

Tabla 5. Categorías de pavimentos por carga de eje.

Cat. Carga por Eje	Descripción	Tráfico			Cargas por Eje máximas, kips	
		ADT	ADTT		Ejes Simp.	Ejes Tand.
			%	Por día		
1.	Calles, residenciales. Carreteras rurales y secundarias (baja a mediana) Calles colectoras.	200-800	1-3	hasta 25	22	36

Fuente: Diseño de pavimentos de hormigón método PCA. Tabla 9.

Donde el ADT es el TPDA y ADTT porcentaje de camiones excluyendo los de dos ejes.

Por nuestra parte, se decidió incluir a los vehículos de carga en los cálculos de diseño para el pavimento debido a que durante el proceso de ejecución, camiones tipo C2 y tipo C3 deben circular en algún momento por el pavimento, ya sea por llevar materiales de construcción, o en el caso del Mixer, estar cargado con concreto premezclado al momento de circular por el pavimento.

2.6 Proyección del tránsito.

Para el cálculo del espesor del pavimento es necesario proyectar el tráfico hasta 20 años, para ello es necesario determinar la tasa de crecimiento a utilizar, obtenida con la ecuación 3, tomada del anuario de tráfico 2015, siendo el más actual disponible.

$$T.C = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - 1 \quad \text{(Ecuación 3).}$$

Dónde:

- T.C = tasa de crecimiento.
- TPDA_i = tráfico promedio diario actual
- TPDA₀ = tráfico promedio diario actual del año base.

Para realizar el cálculo, se utilizaron los datos reflejados en la tabla 6 tomada del anuario de tráfico 2015 del MTI.

Tabla 6. TPDA histórico.

Nº	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Tipo de Superficie	Clasificación Funcional	Año	TPDA
218	NIC-35A	3505	ECS	Estelí (Inter NIC-1) - La Estanzuela	Revestida	Colectora Secundaria	2015	329
							2011	162
							2009	115
							2000	47
							1998	53

Fuente: Anuario de aforos de trafico 2015.

Debido a que nuestro TPDA actual en el estudio (año 2017) es de 200 vehículos, menor a los 329 vehículos del año 2015, vamos a tomar nuestro dato actual y utilizar como TPDA base el del año 2011 y no el del 2015.

$$T.C = \left[\left(\frac{200}{162} \right)^{\frac{1}{(2017-2011)}} \right] - 1 = 0.0357, \text{ expresado en porcentaje} = 3.57\%$$

El dato obtenido es lógico, ya que relacionándolo con la estación 120 Estelí – Llanos de Colon, siendo esta una colectora principal, adoquinada, su tasa de crecimiento es de 6.96%, considerando a la vez que en nuestro proyecto no habrá tráfico atraído, ya que los vehículos que ingresen únicamente serán aquellos propios del residencial.



CAPITULO III
ESTUDIO DE SUELO

CAPITULO III. ESTUDIO DE SUELOS.

El estudio geotécnico en la línea de proyecto, se realizó para obtener datos confiables sobre las condiciones y capacidades del suelo, así como el comportamiento que tendrá el mismo al momento de brindar los servicios a los cuales se proyecta.

3.1 Sondeo.

Se realizaron sondeos para obtener una muestra de suelo representativa del material a lo largo de la vía donde se pretende montar la estructura del pavimento, esto con el propósito de elaborar los ensayos que determinarán las propiedades físicas y mecánicas de ese suelo.

Se realizaron 40 sondeos aproximadamente a cada 160 metros lineales, de dimensiones 45 por 45 centímetros y una profundidad promedio de 1.25 metros, considerando a la vez puntos estratégicos como cambio de rasante y en esquinas que derivan una nueva calle. En algunas de las estaciones del proyecto se podían apreciar los estratos de suelos presentes, durante la instalación de servicios de agua potable y residual. (Ver anexos B: B1 pág. XV, y B2 pág. XVI).

3.2 Extracción de la muestra.

Se tomó una porción de suelo de cada uno de los estratos extrayendo una cantidad considerable dentro de una bolsa de plástico grueso y un saco, para protegerla de la acción del sol, evitando la pérdida de humedad natural del suelo por evaporación.

3.2.1 Reducción de la muestra.

La porción muestreada en cada sondeo fue suficiente para alcanzar una masa final de 40 kilogramos como mínimo, que es lo considerado comúnmente para realizar las pruebas a materiales de terracería, y en base a la norma **ASTM C 702 método B**, se redujo hasta la cantidad de material necesaria para realizar los ensayos.

3.3 Ensayos para suelo en laboratorio.

3.3.1 Humedad natural.

El contenido de humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Tabla 7. Masa mínima para cálculo de humedad natural de un suelo.

Máximo tamaño de partícula. (Pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar.	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados.	
		a ± 0.1 %	a ± 1 %
4.75 mm	N° 4	20 g	20 g
9.5 mm	3/8"	100 g	50 g
19 mm	3/4"	500 g	250 g
37.5 mm	1 1/2"	2.5 kg	1 kg
75 mm	3"	50 kg	5 kg

Fuente: Manual de ensayo de materiales. Pág.50 norma ASTM D 2216

El contenido de humedad es obtenido mediante la siguiente expresión:

$$\%W = ((Ww - Ws) / Ws) * 100$$

(Ecuación 4).

Dónde:

%W = porcentaje de agua.

Ww = peso húmedo de la muestra.

Ws = peso seco de la muestra.

La muestra debe secarse en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$, hasta una masa constante.

3.3.2 Granulometría.

El análisis por tamizado es el procedimiento que determina cuantitativamente la distribución de tamaños de las partículas del suelo. La masa mínima a utilizar está indicada en la tabla 8.

Tabla 8. Masa mínima de muestra seleccionada para ensayo.

Diámetro nominal de las partículas más grandes. (plg).	Peso mínimo aproximado de la porción. (Gramos).
3/8"	500
3/4"	1000
1"	2000
1 1/2"	3000

Fuente: manual de ensayos de laboratorio. Pág. 46. Norma ASTM D 422.

De acuerdo al tamaño máximo nominal de las partículas de suelo se obtuvo la masa mínima del material, se secó al horno hasta masa constante y fue lavada por el tamiz número 200, según **ASTM C 117-90, granulometría para suelos con finos que pasan la malla número 200.**

Se secó al horno hasta una masa constante y realizar el análisis granulométrico de acuerdo a la norma **ASTM C 136** con los tamices indicados en la tabla 9.

Tabla 9. Tamices de abertura cuadrada. ASTM E-11

Tamices.	Abertura en milímetros.
1 1/2"	37.5
1"	25.4
3/4"	19
1/2"	12.54
3/8"	9.5
1/4"	6.35
N°4	4.75
N°10	2
N°20	0.84
N°40	0.425
N°100	0.149
N° 200	0.075

Fuente: elaboración propia.

3.3.3 Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg o límites de consistencia (**ASTM D 4318**), determinan el comportamiento y clasificación de un suelo, en conjunto con su granulometría. Básicamente se determinaron los tres estados comunes:

3.3.3.1 Límite líquido.

De la muestra que resulta del cuarteo, se toma una porción del material y se tamiza por el tamiz N°40, hasta obtener una cantidad suficiente para realizar la prueba (**AASHTO T 89**). Se determinó el límite líquido por el método de un solo punto, el cual consiste en que el punto de entrada o de unión de la ranura inducida en la muestra, debe cerrarse aproximadamente 13 milímetros, en el centro de la ranura y cuya altura debe ser mínimo de 1 centímetro, con un número N de golpes comprendido entre 20 y 30 golpes y realizar dos ensayos como mínimo. La tabla 10, refleja algunos de los resultados obtenidos.

Tabla 10. Cálculo del límite líquido

Ensayo	Ww (gr)	Ws (gr)	Wi (%)	N	L.L (%)
1	25.8	18.2	41.76	26	41.94
2	30.1	20.8	44.71	25	44.71

Fuente: elaboración propia.

El límite líquido se calcula como sigue:

$$L.L = W_i * (N/25)^{0.121}$$

(Ecuación 5).

Dónde:

L.L = límite líquido

W_i = contenido de humedad de la prueba en %, determinado con la ecuación 3.

3.3.3.2 Límite plástico.

Se procedió a realizar el ensayo según la norma **AASHTO T 90**, la cual expresa que: el límite plástico de un suelo, es el contenido de agua expresado en porcentaje de un suelo, establecido arbitrariamente como la frontera entre su estado plástico y estado semi sólido. Se determina haciendo pequeños cilindros o “rollitos” de suelo con una porción del mismo material usado en el límite plástico, con cierto porcentaje de humedad, el cual por enrolado sobre una placa de vidrio esmerilada se lleva hasta un diámetro de 1/8 de pulgada aproximadamente (3.2 milímetros), hasta que comienza a experimentar agrietamientos. El promedio de humedades de tres porciones del material agrietado, será el valor del límite plástico.

El contenido de agua es obtenido con la ecuación 3, el promedio de tres porciones de material fue de **29.22%**.

3.3.3.3 Índice de plasticidad.

Se obtiene, como la diferencia del límite líquido y el límite plástico.

$$\boxed{IP = L.L - L.P} \quad (\text{Ecuación 6}).$$

Por lo tanto del valor obtenido en un ensayo, **IP= 43.32%** (promedio de los 2 valores de la tabla 10) – 29.22% = **14.105%**.

3.3.4 Clasificación del suelo

Para clasificación del suelo nos guiamos por el método AASHTO, se recopiló toda la información de los ensayos anteriores, siendo puntuales los porcentajes pasantes en malla 10, 40 y 200, y los límites de Atterberg de cada ensayo.

Nos ayudamos con la información de la tabla 11, especificaciones de la misma norma que revela lo siguiente:

Tabla 11. Sistema de clasificación de suelos AASHTO.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO											
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)				
Grupo:	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b									
Porcentaje que pasa: Nº 10 (2mm) Nº 40 (0,425mm) Nº 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	-			35 máx	-			
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40 Límite líquido Índice de plasticidad	-		-	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				
(1):	No plástico										
(2):	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30 El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30										

Índice de grupo :

$$IG = (F - 35) \cdot [0,2 + 0,005 \cdot (LL - 40)] + 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$$

Siendo :

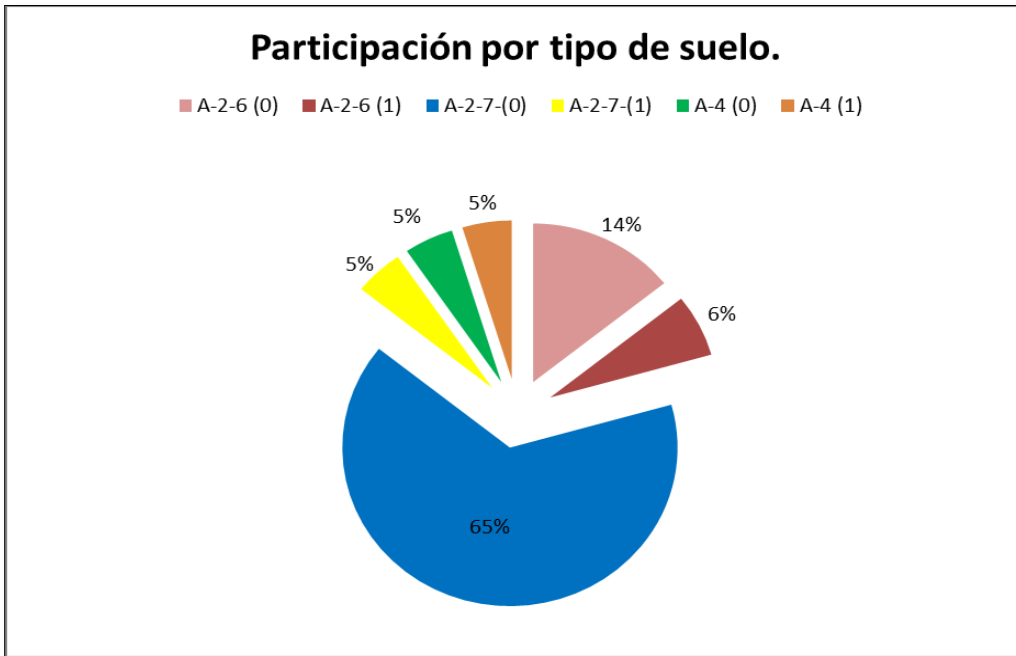
F : % que pasa el tamiz ASTM nº 200.
 LL : límite líquido.
 IP : índice de plasticidad.

El índice de grupo para los suelos de los subgrupos A - 2 - 6 y A - 2 - 7 se calcula usando sólo : $IG = 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$

Fuente: AASHTO M 145.

Los suelos encontrados son de característica grava y arena arcillosa o limosa, y suelos limosos, siendo la clasificación de los grupos A-2-6, A-2-7, y A-4 (**ver anexos B: B3, pág. XVII, Clasificación de suelos.**). La figura 3, muestra en resumen la participación por tipo de suelo encontrado en el proyecto.

Figura 3. Tipos de suelos encontrados.



Fuente: elaboración propia.

El suelo del tipo A-2-7 es el más frecuente, el cual según la tabla 10 califica a suelos de ese grupo de excelente a bueno.

No obstante, se procedió a realizar las pruebas restantes para garantizar que las propiedades mecánicas del material ahí existente son de fiar para nuestro objetivo principal.

3.3.5 Ensayo proctor.

En vista que el suelo con mayor presencia fue el tipo A-2-7, y consta de un espesor considerable (**ver anexo B4, pág. XVIII, perfil del suelo A-2-7**), se tomó como parámetro de referencia y dependiendo de los resultados obtenidos, se evalúan sus prestaciones para nuestros objetivos.

Se procedió a realizar la prueba de compactación del material, para obtener su máxima densidad seca a la humedad óptima, ayudándonos de la tabla 12, especificaciones para realizar el ensayo proctor, dependiendo del método, estándar o modificado.

Tabla 12. Especificaciones para ensayo proctor.

Ensayo	Relaciones de densidad húmeda del suelo							
	PROCTOR ESTANDAR (AASHTO T-99-01)				PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180-01)			
Compactación								
Peso del mazo (kg)	2.5				4.54			
Altura de caída del maso (in)	12				18			
Método	A	B	C	D	A	B	C	D
Molde	4in	6in	4in	6in	4in	6in	4in	6in
Granulometría	40% o menos retenido en tamiz N°4		30% o menos retenido en tamiz 3/4"		40% o menos retenido en tamiz N°4		30% o menos retenido en tamiz 3/4"	
Material a compactar	Pasa tamiz N° 4		Pasa tamiz 3/4"		Pasa tamiz N° 4		Pasa tamiz 3/4"	
Número de capas	3	3	3	3	5	5	5	5
Golpes por capa	25	56	25	56	25	56	25	56

Fuente: manual AASHTO para ensayos de laboratorio.

El método usado fue AASHTO T-99-01, método C, el cual indica de acuerdo a la granulometría obtenida del material, utilizar el suelo que pasa el tamiz de tres cuartos de pulgada y los resultados fueron los siguientes: la densidad máxima seca obtenida fue de 1,839 kilogramos por metro cubico (1,839 kg/m³) a una humedad óptima del 13% del peso del material. (**Ver anexo B5, pág. XIV, ensayo proctor. Material de rasante natural.**). Este dato nos será de utilidad en el ensayo próximo a realizar, al adoptar un porcentaje de esa densidad obtenida, comúnmente usado el 95 de su DMS y proyectar su CBR.

3.3.6 Ensayo de CBR

De acuerdo a la norma ASTM D 1883, se procedió a realizar la prueba del CBR, el cual determina un índice de resistencia de los suelos, denominado valor de soporte californiana, para evaluar la calidad de los suelos de subrasante, sub base y bases.

De acuerdo a lo indicado en la norma ASTM D 1883 el material a usar es el pasante de la malla $\frac{3}{4}$ ", ya que la norma misma plantea que cuando el 75% o más del material en peso pasa la malla $\frac{3}{4}$ ", se emplea dicho material para el ensayo.

Se elaboraron 3 especímenes a razón de 12, 26 y 55 golpes por capa y el contenido de agua correspondiente a la óptima, obtenida en el ensayo proctor.

Los resultados obtenidos a una profundidad de 0.1 pulgadas fueron: en la etapa I un valor CBR de 7, en la etapa II 16, y en la etapa III un valor CBR de 28, y a una profundidad de 0.2 pulgadas el resultado CBR fue: etapa I un valor CBR de 9, en la etapa II 21, y en la etapa 3 un valor CBR de 32. **(Ver anexo B6, pág. XX, Ensayo CBR. Material de rasante natural.)**

El valor CBR nominal a 0.2 pulgadas de penetración, fue de 22, calculado mediante la correlación del 95 % de su densidad máxima seca obtenida en el ensayo proctor, y la curva descrita en el ensayo CBR, densidad versus deformación. **(Ver anexo B7, pág. XXI, Correlación MDS vs CBR, material de rasante natural)**.

3.3.7 Ensayo DCP o cono dinámico de penetración.

El ensayo mide la rata de penetración del cono dinámico por penetración inducida por la caída libre de un martillo que puede ser de 8 kilogramos o de 4.6 kilogramos, dependiendo de la resistencia del suelo. Los resultados son evaluados por medio de la correlación obtenida en un índice DCP (tabla 13), o empleando la ecuación siguiente:

$$CBR = \frac{292}{(IDCP)^{1.12}}$$

(Ecuación 7).

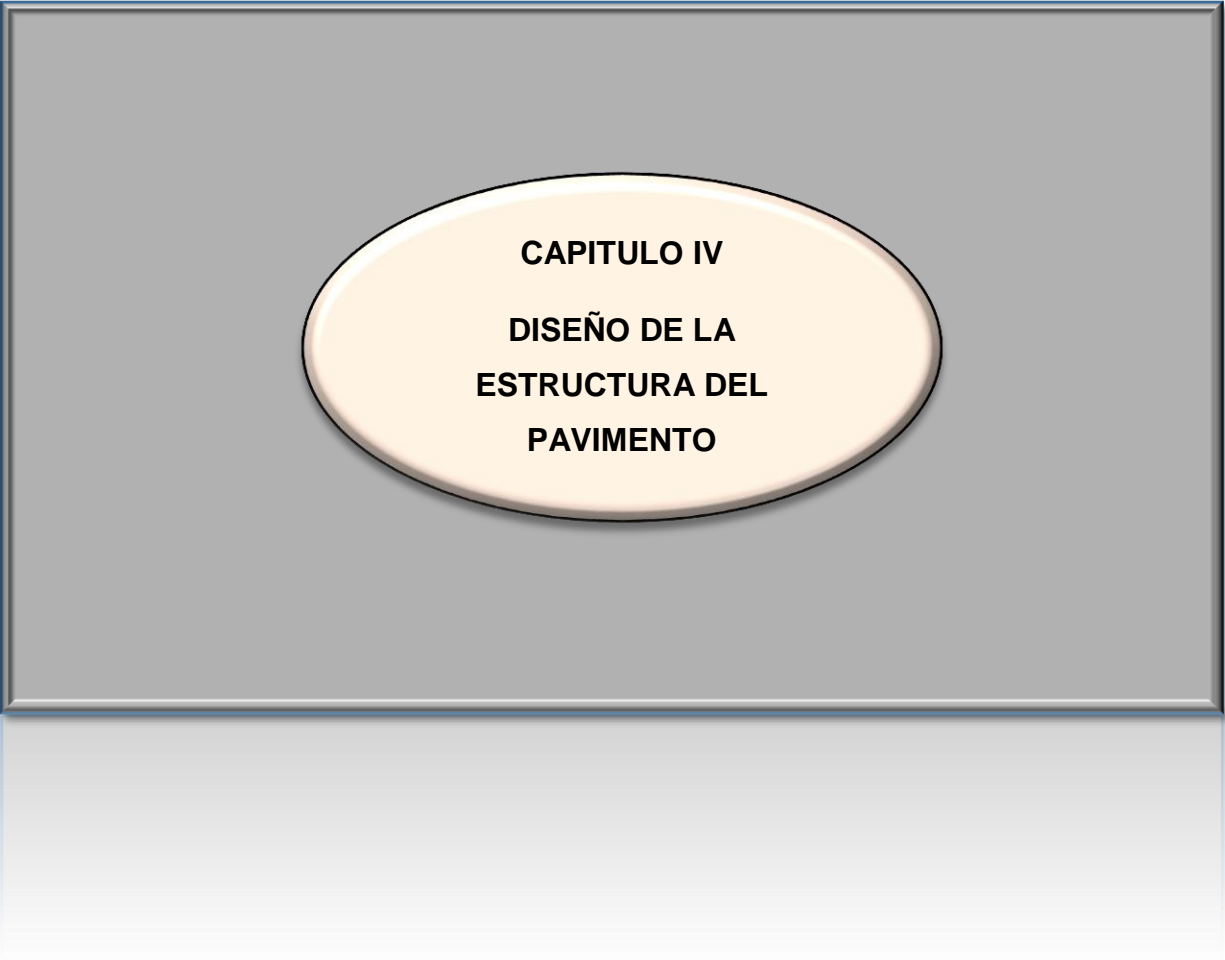
Tabla 13. Correlación entre IDCP y valor CBR.

Índice PDC mm/golpe	CBR %	Índice PDC mm/golpe	CBR %	Índice PDC mm/golpe	CBR %
<3	100	39	4.8	69-71	2.5
3	80	40	4.7	72-74	2.4
4	60	41	4.6	75-77	2.3
5	50	42	4.4	78-80	2.2
6	40	43	4.3	81-83	2.1
7	35	44	4.2	84-87	2.0
8	30	45	4.1	88-91	1.9
9	25	46	4.0	92-96	1.8
10-11	20	47	3.9	97-101	1.7
12	18	48	3.8	102-107	1.6
13	16	49-50	3.7	108-114	1.5
14	15	51	3.6	115-121	1.4
15	14	52	3.5	122-130	1.3
16	13	53-54	3.4	131-140	1.2
17	12	55	3.3	141-152	1.1
18-19	11	56-57	3.2	153-166	1.0
20-21	10	58	3.1	166-183	0.9
22-23	9	59-60	3.0	184-205	0.8
24-26	8	61-62	2.9	206-233	0.7
27-29	7	63-64	2.8	234-271	0.6
30-34	6	65-66	2.7	272-324	0.5
35-38	5	67-68	2.6	>324	<0.5

Fuente: Norma ASTM D -6951-03.

El ensayo se realizó en puntos al azar, entre las distancias donde se hicieron sondeos para el análisis granulométrico y CBR para considerar esos espesores que no fueron alterados, y obtener por este método el valor de soporte en esas estaciones, con el fin de corroborar de esta manera para nuestro interés, el comportamiento homogéneo que brindará a la estructura. Los datos obtenidos con este estudio, se ven reflejados en los **anexos B: B8, pág. XXII - B16, pág. XXX.**

Análisis DCP.



CAPITULO IV
DISEÑO DE LA
ESTRUCTURA DEL
PAVIMENTO

CAPITULO IV. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

4.1 Subrasante.

Considerando que la calidad del suelo que conforma la subrasante es un factor de importancia nos centramos en analizar los datos obtenidos.

El primer dato a considerar es el hinchamiento, de acuerdo al libro CMT. Características de los materiales de terracería Parte 1, este valor para material de base debe ser como máximo 2%, siendo el nuestro en la etapa 3 de CBR del 3%, por lo que se descarta como material de base, sin embargo el CBR nominal resultó de 22, y en función de la tabla 14, se califica como bueno para material de base o sub-base, en este caso la calificamos como aceptable para subrasante, y por consiguiente, darnos la tarea de buscar un banco de materiales, que nos pueda abastecer de un material que nos brinde mejores condiciones para la incorporación de una base.

Tabla 14. Clasificación de suelos para vialidad de acuerdo al valor CBR.

CBR	Clasificación general	Usos
0 – 3	Muy pobre	Sub-rasante
3 – 7	Pobre a regular	Sub-rasante
7 – 20	Regular	Sub-base
20 – 50	Bueno	Base –Sub base
>50	Excelente	Base

Fuente: libro CMT. Característica de los materiales para terracería. Parte 2.

4.2 Base.

La base, es la capa que se encuentra próxima a la carpeta de rodamiento, puede ser de origen natural extraído de un banco de materiales existente o manufacturado por procesos de trituración de rocas.

El desempeño de la carpeta de rodamiento, depende mucho de la calidad de las capas que se encuentran por debajo, es por ello que decidimos la incorporación de una base con mejores propiedades mecánicas en comparación al material

encontrado en el proyecto, con el fin de que los esfuerzos generados sean mejor asimilados, reduciendo las tensiones en la capa inferior.

4.2.1 Material para base.

El banco seleccionado para extracción de material está localizado en la salida norte de la ciudad de Estelí, en un lugar conocido como “La Tomson”, el dueño es el señor Eduardo Blanco. Se procedió a extraer una porción de material y realizar los ensayos necesarios para conocer las propiedades físicas y mecánicas del nuevo material. (Ver anexo C1, pág. XXXI, banco de material, Eduardo Blanco)

4.2.2 Granulometría y clasificación del material para base.

Se procedió a realizar el cuarteo de la muestra con el objetivo de recudirla a una porción suficiente para realizar la granulometría, de acuerdo a la norma **ASTM C 702**, como se presenta en la figura 4.

Figura 4. Cuarteo del material de préstamo.



Fuente: fotografía capturada por los sustentantes.

Se lavó la muestra en su totalidad utilizando un tamiz número 200 (ver anexo C2, pág. XXXI, muestra de suelo lavado), y se secó en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 horas o hasta alcanzar una masa seca constante y se realizó el análisis granulométrico.

Así con sus límites de consistencia (**Ver anexos: C4, pág. XXXII, limite líquido, C5, pág. XXXIII, limite plástico**) proceder a clasificarlo. Los resultados fueron: clasificación del suelo perteneciente al grupo A-1-a, con bajos contenidos de materiales plásticos, ya que su límite líquido fue de 35%, límite plástico 30%, y por lo tanto un índice de plasticidad de 5%, estos valores se ven reflejados en la tabla 15.

Tabla 15. Granulometría y clasificación del material de préstamo.

Granulometría y clasificación del suelo - Lotificación colinas del diamante, Estelí				
Material:	Préstamo	Masa inicial seca sucia:	2,003.0 gr	
Procedencia:	Banco Eduardo Blanco	Masa final seca lavada:	1,869.0 gr	
Fecha :	06/12/2017	Pérdida por lavado :	134.0 gr	
Profundidad (m) :	- m	Clasificación :	A-1-a (0)	
Estación :	- m			

Tamiz	Peso retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
1 1/2"	0	0	0	100
1"	37.8 gr	2	2	98
3/4"	54.6 gr	3	5	95
1/2"	142.0 gr	7	12	88
3/8"	101.0 gr	5	17	83
1/4"	.0 gr	0	17	83
Nº4	305.0 gr	15	32	68
Nº10	475.8 gr	24	56	44
Nº20	103.0 gr	5	61	39
Nº40	279.0 gr	14	75	25
Nº100	213.8 gr	11	85	15
Nº200	146.6 gr	7	93	7
Fondo :	144.4 gr	7	100	

L.L = 35%
I.P = 5%

Fuente: elaboración propia.

4.2.3 Ensayo proctor, material de préstamo.

Se procedió a determinar la densidad máxima seca del material de préstamo, así como su humedad óptima.

De acuerdo a su granulometría, nos valida la decisión de usar el método "C" de la norma AASHTO T 99-01. (**Ver anexo C6, pág. XXXIII, ensayo proctor, material de préstamo**).

Como resultado, obtuvimos una densidad máxima seca de 1,624 kilogramos por metro cúbico a una humedad o contenido de agua óptimo del 19%. Dato que será de utilidad al momento de realizar controles en ensayos de compactación en campo, por método del cono de arena o densímetro nuclear, después de que se haya conformado la base de la estructura.

4.2.4 Ensayo CBR, material de préstamo.

Continuando con el análisis del material de préstamo, se prosiguió a realizar el ensayo de soporte del suelo, de acuerdo a la norma ASTM D 1883, el material empleado es el que pasó el tamiz 3/4", ya que el porcentaje pasante del material por dicho tamiz es superior al 75%.

Se compactaron 3 especímenes a la humedad óptima obtenida en el ensayo proctor y en 3 etapas, la primera con 12 golpes por capa, la segunda 25 golpes por capa y la tercera a 56 golpes por capa. El martillo a usar es el mismo usado en AASHTO T 180.

Después de 4 días, se retiraron los especímenes de su estado de inmersión y se decantaron durante un periodo de 15 minutos, para escurrir el agua presente, y se comenzó el ensayo de penetración en una maquina hidráulica donde la velocidad se ajustó de tal manera que el pistón penetrara a una velocidad constante de 1.27 milímetros por minuto. (**Ver anexo C7, pág. XXXIV, ensayo CBR, material de préstamo**).

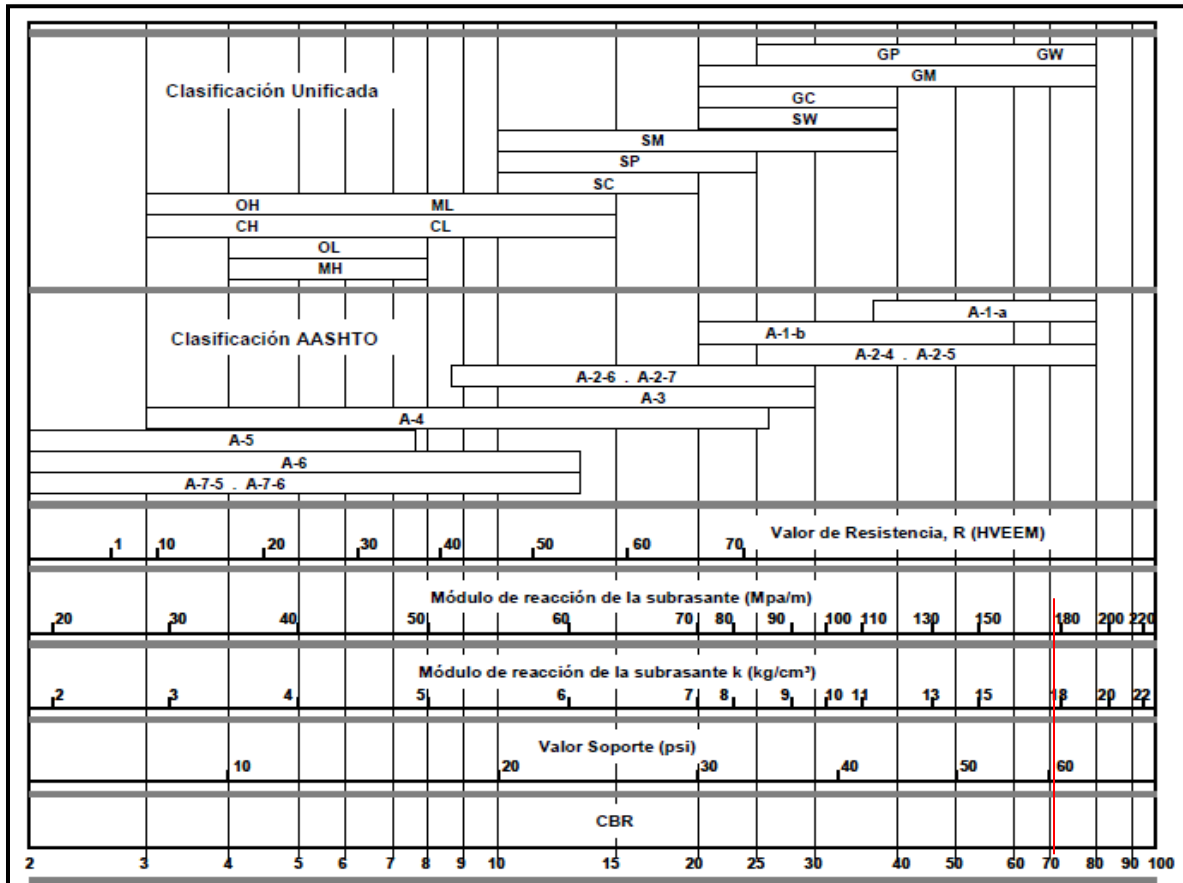
Terminado el ensayo se calcula el valor CBR del suelo a un 95% de su densidad máxima seca la cual es de 1,543 kg/m³ dando un valor CBR nominal de 72. (**Ver anexo C8, pág. XXXIV, correlación CBR vs D.M.S**)

4.2.5 Módulo de reacción "K".

De acuerdo al manual centroamericano para diseño de pavimentos, el valor del módulo de reacción "K" es la capacidad de soporte que brinda la capa de apoyo para un pavimento de concreto y dicho valor puede ser estimado por correlación con el valor CBR del suelo.

Planteada la solución, procedimos a encontrar con ayuda del valor CBR el módulo de reacción de la capa que soportará nuestro pavimento de concreto y se ilustra en la figura 5: correlación del valor CBR y módulo de reacción K.

Figura 5. Correlación valor CBR y módulo de reacción “K”.



Fuente: manual centroamericano para diseño de pavimentos. Capítulo 4.

Con una proyección como se aprecia en la línea roja realizada en la tabla anterior, se obtiene un valor K aproximado de 174 Mpa/m, sin embargo, al contar con un material de subrasante y una base, ocurre un incremento en este valor, el cual se calculó con el nomograma de la figura 6, a partir del módulo elástico del material de base, y el módulo resiliente del material de subrasante.

El módulo de elasticidad, es la relación existente entre un incremento de esfuerzo producido sobre un elemento y la deformación producida por ese esfuerzo.

Para calcular el módulo de elasticidad del material de base, se utilizó la ecuación 8, Boussinesq resolvió el problema de los esfuerzos producidos en cualquier punto de un medio homogéneo, siendo el caso nuestro el incremento de esfuerzos a una profundidad “Z” bajo un área circular de radio “R”, cargada uniformemente con una presión “Q”.

$$\Delta\sigma = Q \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{R}{Z}\right)^2} \right]^{\frac{3}{2}} \right\} \quad (\text{Ecuación 8}).$$

Dónde:

- $\Delta\sigma$ = incremento de esfuerzo.
- $Q = 1,086$ Psi. (Presión generada en el ensayo CBR = 72).
- $R = 0.975$ plg. (Radio del pistón de penetración para el CBR).
- $Z = 0.2$ plg. (Penetración del pistón en el ensayo).

Por lo tanto el incremento de esfuerzo es de 1,077.19 Psi. El incremento de deformación se calculó con la ecuación 9:

$$\Delta\delta = \frac{\Delta V}{V} \quad (\text{Ecuación 9}).$$

Dónde:

- ΔV = volumen vacío generado por la penetración del pistón a 0.2 pulgadas.
- V = volumen ocupado por el material en el ensayo CBR.

$$\Delta V = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} * h_1 \quad (\text{Ecuación 10}).$$

$$V = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} * h_2 \quad (\text{Ecuación 11}).$$

- $D_1 = 1.95$ pulgadas.
- $D_2 = 5.9$ pulgadas.
- $h_1 = 0.2$ pulgadas.
- $h_2 = 4.52$ pulgadas.

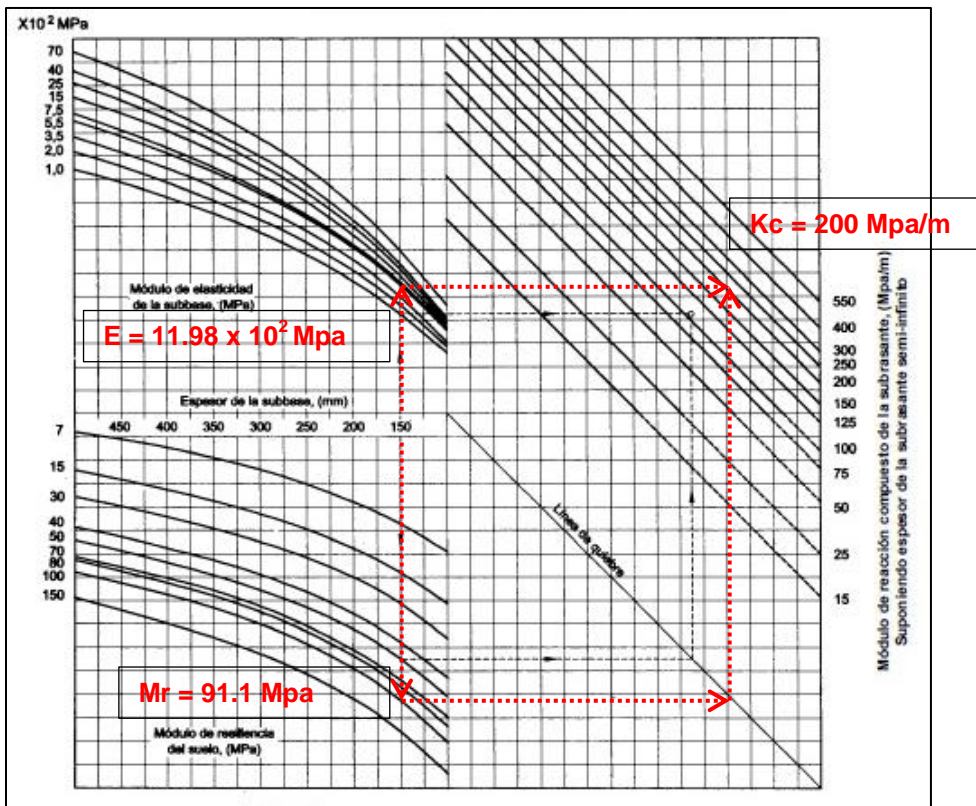
Sustituyendo los datos, se obtuvo que el valor de deformación fue de 0.0062, y al dividir el incremento de esfuerzo entre el incremento de deformación generado, el módulo de elasticidad del material de base es 173,740 Psi, ó 11.98×10^2 Mpa.

El módulo resiliente (M_r) de subrasante se calculó con la ecuación 11, tomada del documento “Determinación del módulo resiliente de diseño de pavimentos AASHTO 2002”, para suelos con un CBR cercano al 20%, el valor CBR del material de subrasante fue de 22:

$$M_r (\text{Psi}) = 1000 + 555 \text{ CBR.} \quad (\text{Ecuación 12}).$$

Por lo tanto el módulo resiliente del suelo es 13,210 Psi, equivalente a 91.1 Mpa.

Figura 6. Nomograma para obtener el módulo de reacción compuesto K_c .



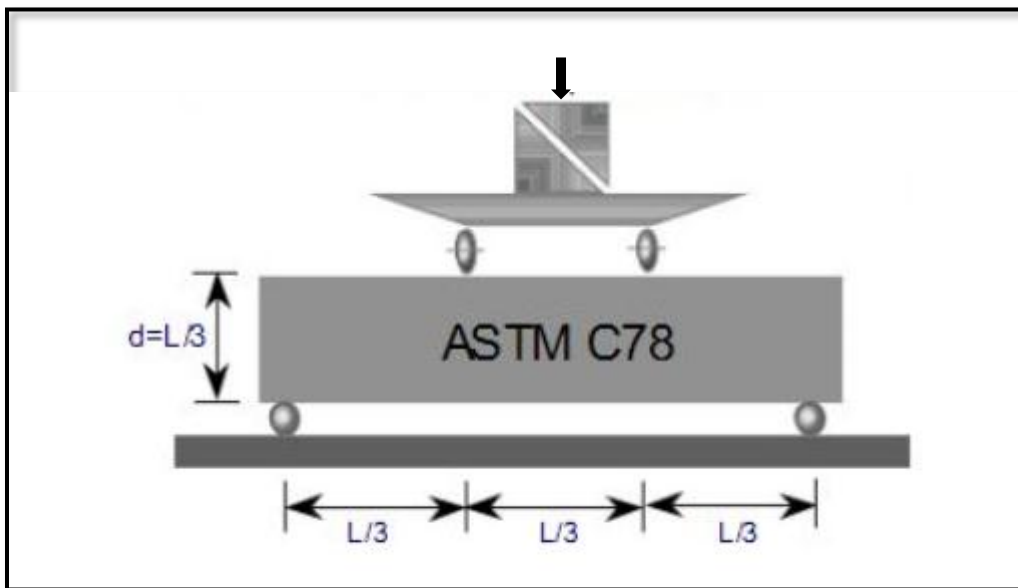
Fuente: manual AASHTO 93 para construcción pavimentos.

4.3 Carpeta de rodamiento.

Es la capa que estará en contacto directo al paso vehicular. Estará compuesta por concreto hidráulico diseñado en base a módulo de ruptura (MR), cuyo objetivo es resistir los esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la flexión misma de la losa, cumpliendo con su funcionalidad “Resistir cargas dinámicas”, en donde los esfuerzos de flexión interna de la losa se encuentran más cercanos a su resistencia última a la flexión (MR) que los esfuerzos de compresión ($F'c$).

Tomado como patrón de referencia ASTM C – 78, es la prueba normalizada para determinar la resistencia a flexión del concreto en Kg/cm^2 , el cual se obtiene al aplicar una carga axial a los tercios del claro de la viga, que se elabora en base a la norma ASTM C – 31, vigas de dimensiones 6 pulgadas de base por 6 pulgadas de espesor y una longitud mínima de 2 veces la altura más 2 pulgadas.

Figura 7. Ensayo para la obtención del MR.



Fuente: Norma ASTM C -78.

4.4 Descripciones de la carpeta de rodamiento.

La carpeta de rodamiento debe tener el espesor suficiente para que sea capaz de soportar el paso de los vehículos, y que su costo sea el más factible.

Por el método usado, se estima un espesor de losa y luego se verifica si éste, de acuerdo a las repeticiones esperadas, las cargas actuantes y la resistencia a flexión a la cual fue diseñado, es capaz de soportarlo durante su vida útil.

Comúnmente se utiliza un espesor de losa de 6 pulgadas (150 milímetros) en zonas residenciales, este será el valor que pondremos a prueba en nuestro diseño con un concreto diseñado a un módulo de rotura de 42 kg/cm² (4.13 Mpa), con dovelas en juntas de construcción únicamente, y barras de transferencia de carga en su junta longitudinal central. De acuerdo a la tabla 16 se asigna el diámetro de las barras. Para nuestro caso, es una barra lisa de ¾” como dovela, y ¾” corrugada en junta longitudinal.

Tabla 16. Diámetro de pasadores para juntas en pavimentos de concreto.

Pavimentos	Espesor de losa		Diámetro de pasajuntas.		Empotramiento del pasajuntas		Longitud total del pasajuntas.	
	In	mm	In	Mm	In	mm	in	mm
Estacionamiento ACI 330R.	5	125	5/8	15	5	125	12	300
	6	150	¾	20	6	150	14	350
	7	175	7/8	25	6	150	14	350
	8	200	1	25	6	150	14	350
	9	225	1 1/8	30	7	180	16	400
Calles de ciudad (PCA 1992) Pavimentos reforzados junteados con espaciamientos de juntas mayores a 20 pie.	6	150	¾	20	5	125	14	360
	6.5	165	7/8	22	5	125	14	360
	7	180	1	25	6	150	16	400
	7.5	190	1 1/8	28	7	180	16	400
	8	225	1 ¼	32	8	200	17	430
Calles ACPaA 1991	10	250	1 ¼	30	7 1/2	190	18	450
	10	300	1 ½	40	9	225	20	500

Fuente: juntas en las construcciones de concreto ACI-224.2r-95

4.5 Cálculo del diseño.

Para realizar los cálculos de diseño de nuestro pavimento, se debe conocer con detalle el tipo de eje con su carga correspondiente que va a circular sobre la carpeta de rodamiento.

4.5.1 Descomposición vehicular y repeticiones esperadas.

Se procedió a analizar el TPDA actual calculado en 2.5, en el proceso conocido como descomposición vehicular, en el cual, se indica por tipo de vehículo, el TPDA actual y se hace una proyección del tránsito de acuerdo al periodo de diseño estipulado. La cantidad de repeticiones se clasificó por tipo de eje así como su carga máxima, proyectados a 20 años, a los cuales se está diseñando el pavimento. Los resultados son los reflejados en la tabla 17.

Tabla 17. Trafico de diseño.

Tipo de vehículo	TPDA actual	(Td.) Tránsito de diseño.
Autos	62	238,446
Jeep	22	93,305
Camioneta	32	134,774
McBus	8	41,469
MnBus	8	20,734
C2, 2-5 Ton.	8	41,469
C2, 5 + Ton.	8	31,102
C3	2	10,367

Fuente: elaboración propia.

El tráfico de diseño se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T_d = T_o \times F.C \times 365 \times D \times C \times T \quad (\text{Ecuación 13}).$$

Dónde:

- T_d : tráfico de diseño
- T_o : tráfico actual.
- D : factor dirección. (0.5, pues la mitad del trafico circulara por la otra vía).
- C : factor carril. (1, al ser 2 carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño).
- T : período de diseño. (20 años).

$$F.C = (1 + i)^{0.5 \times T} \quad (\text{Ecuación 14}).$$

Dónde:

- i : tasa de crecimiento. (3.57%)

4.5.2 Análisis por fatiga y erosión.

Es la etapa final, en la cual se debe poner a prueba el diseño que hemos propuesto.

Dichos análisis, son llevados a cabo mediante un complejo procedimiento, el cual consiste en agrupar los ejes que tengan la misma capacidad de carga y de acuerdo a los parámetros de diseño se encuentra un esfuerzo equivalente que está directamente relacionado al espesor de la carpeta de rodadura, y al módulo de reacción compuesto; tomaremos el valor de 180 Mpa, ya que es el máximo presentado por las tablas en el manual centroamericano de diseño de pavimentos, y el obtenido en este estudio fue de 200 Mpa/m. (**Ver anexos C10, pág. XXXVI - C11, pág. XXXVI, tablas de esfuerzos equivalentes**), obtenido el esfuerzo equivalente se calcula la relación de esfuerzo, el cual se obtiene al dividir el esfuerzo equivalente, entre el módulo de ruptura del concreto.

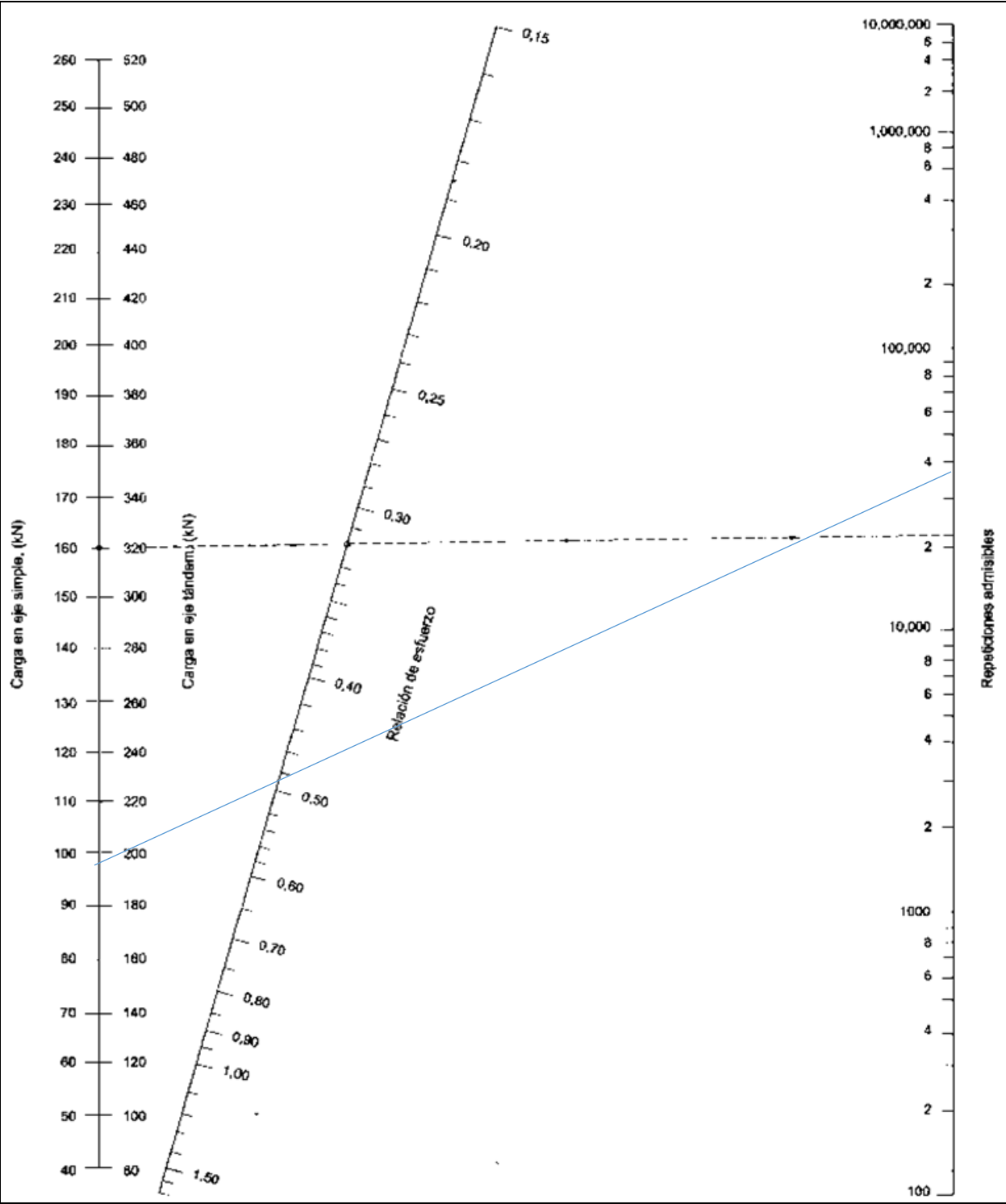
Por ejemplo: para un espesor de losa de 150 milímetros, y un factor K_c de 180 Mpa/m, se encuentra que el esfuerzo equivalente es 2.03, y si sabemos que el diseño del concreto es de 4.13 Mpa, entonces la relación de esfuerzo es de 0.49.

Procedimos entonces a realizar el análisis por fatiga: se trata de evaluar en porcentaje, las repeticiones esperadas en relación a la cantidad de repeticiones admisibles. Por ejemplo para el caso de los ejes sencillos de 97.86 KN:

- Relación de esfuerzo: 0.49
- Repeticiones esperadas: 31,102. (sumatoria de los ejes sencillos de 97.86KN, **ver anexo C9, pág. XXXV, descomposición vehicular**).

Procedemos a usar el nomograma de la figura 8, haciendo coincidir el peso del eje, con la línea central de relaciones de esfuerzos hasta proyectarla a las repeticiones admisibles.

Figura 8. Análisis de fatiga. Repeticiones admisibles en función de la relación de esfuerzos en pavimentos con y sin hombros de concreto.



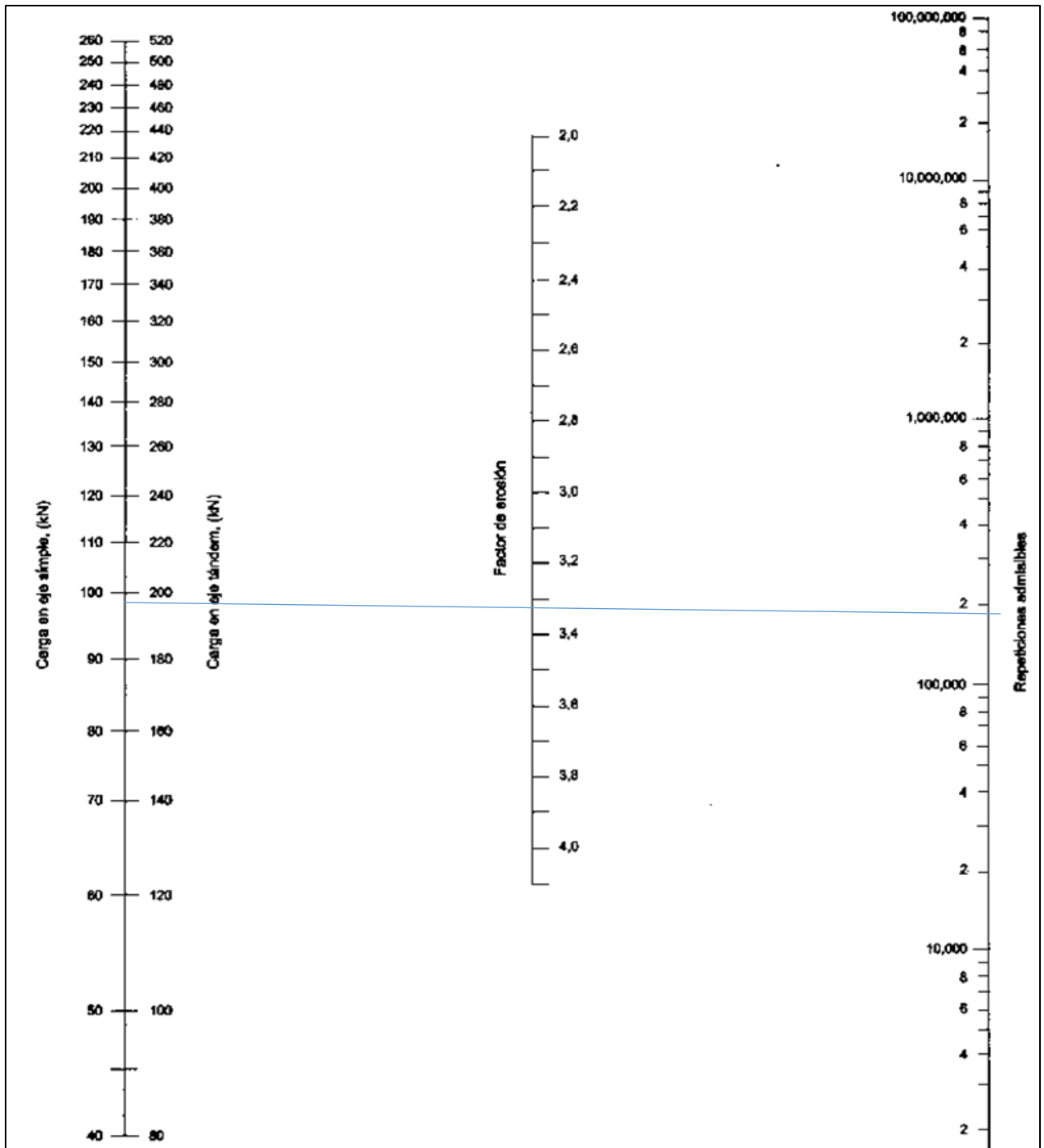
Fuente: manual C.A para la construcción de pavimentos. Pág. 218

Como resultado, tenemos que las repeticiones admisibles son de 36,900 veces, lo que resulta en un 84.3% de fatiga sobre el pavimento.

El análisis por erosión es un proceso similar, se encuentra un factor de erosión por tipo de eje, usando los mismos parámetros que se usan para determinar la relación de esfuerzos, (espesor de losa en milímetros y el módulo de reacción de la base "K").

Continuando con el mismo vehículo se obtuvo que: de acuerdo a la tabla del anexo **C12. Factor de erosión para ejes sencillos. Pavimentos de concreto hidráulico con dovelas y sin hombros de concreto hidráulico**, el factor de erosión es de 3.32, el nomograma a usar, es el ilustrado en la figura 9.

Figura 9. Análisis de erosión, pavimento sin hombros de concreto hidráulico.



Fuente: manual C.A para la construcción de pavimentos. Pág. 224

Como resultado, tenemos que para el análisis por erosión, las repeticiones admisibles es de 190,00 veces, por lo tanto el daño recibido por el pavimento es del 16%. El procedimiento se continúa para cada eje y cantidad de repeticiones. Se procedió a recopilar toda la información obtenida a lo largo de este estudio en cada una de sus etapas, elaborando la tabla 18 para el análisis final y dar por concluido este diseño en consideración a los resultados obtenidos.

Tabla 18. Cálculo de espesor del pavimento.

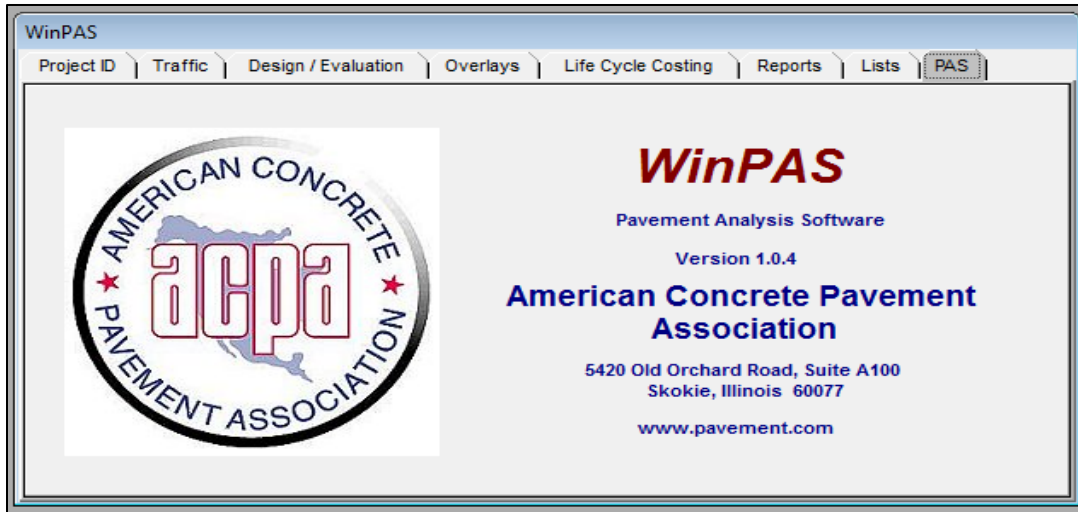
CÁLCULO DE ESPESOR DE PAVIMENTO						
Modulo de rotura =	4.14 Mpa		Proyecto =	Lotificación Colinas del Diamante		
Modulo de reaccion "Kc"=	180 Mpa/m		Departamento =	Esteli		
Espesor de losa mm =	150		Municipio =	Esteli		
Factor de seguridad =	1		Periodo de diseño =	20 años		
Junta con dovelas =	Si					
Berma de concreto =	No					
Carga por eje (KN)	Carga por Fsc (KN)	Repeticiones esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de erosión
Ejes simples						
Esfuerzo equivalente:		2.03	Relación de esfuerzos:		0.49	Factor de erosión:
						3.32
97.86	97.86	31,102	36,900	84.3%	190,000	16%
80.07	80.07	41,469	900,000	4.6%	610,000	7%
78.29	78.29	20,734	1900,000	1.1%	690,000	3%
48.93	48.93	41,469	Ilimitado	-	10300,000	0%
39.14	39.14	62,203	Ilimitado	-	Ilimitado	-
35.59	35.59	41,469	Ilimitado	-	Ilimitado	-
19.57	19.57	176,243	Ilimitado	-	Ilimitado	-
9.79	9.79	798,277	Ilimitado	-	Ilimitado	-
Ejes tandem						
Esfuerzo equivalente:		1.65	Relacion de esfuerzos:		0.40	Factor de erosión:
						3.33
160.14	160.14	10,367.23	Ilimitado	0%	590,000.00	1.8%
Total =				90%	28%	

Fuente: elaboración propia.

4.5.3 Comprobación de diseño con el Software Winpas.

Se procedió a usar el software Winpas, para verificar que las propiedades del diseño propuesto, en base al espesor de losa y la resistencia del concreto establecida, sean las mejores.

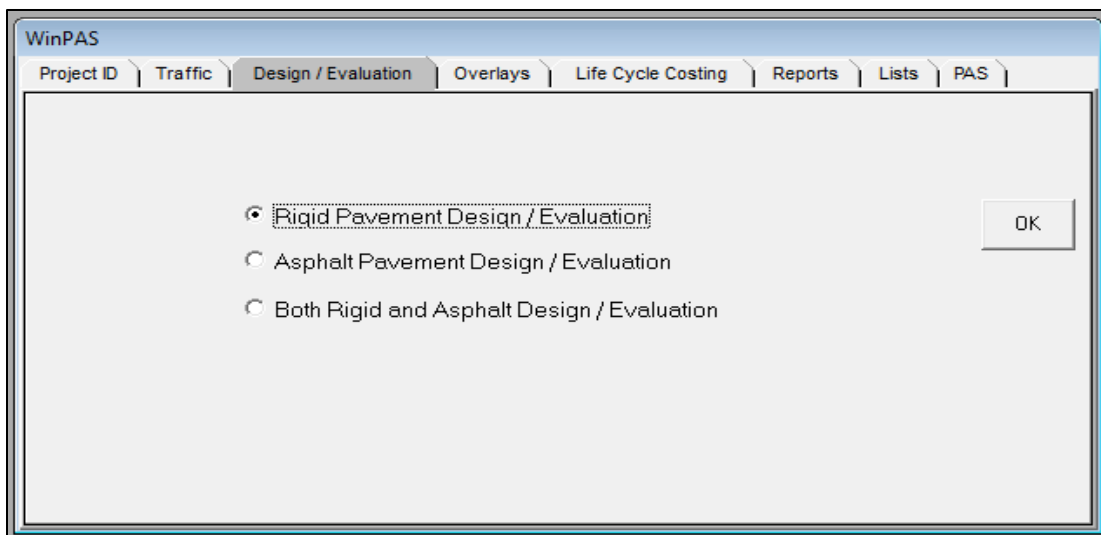
Figura 10. Software WinPas.



Fuente: elaboración propia.

El módulo a utilizar es Design/Evaluation, y el parámetro seleccionado fue evaluación para diseño de pavimento rígido.

Figura 11. Modulo evaluación de diseño para pavimento rígido.



Fuente: elaboración propia.

Seleccionada la pestaña y el modulo se muestra la ventana con parámetros a evaluar:

Figura 12. Solicitudes para diseño.

Rigid Pavement Design

Rigid Design Inputs

PCC Thickness inches

Design ESAL

Reliability percent

Overall Deviation

Modulus of Rupture psi

Modulus of Elasticity psi

Load Transfer, J

Mod. Subgrade Reaction, k psi/in

Drainage Coefficient

Initial Serviceability, Po

Terminal Serviceability, Pt

Solve For

Press Solve For

Cross Section

Fuente: elaboración propia.

- El primero dato, es el espesor de la carpeta de rodamiento propuesto, el cual es de 6 pulgadas.
- Seguidamente se obtiene el ESAL de diseño:

Se continuó con el análisis de tránsito a partir del TPDA, se convirtieron los ejes totales a ejes equivalentes de diseño (18 Kips) para nuestro ESAL. Los datos obtenidos se reflejan en la tabla 19.

Tabla 19. Esal's de diseño.

Periodo de diseño =	20 años	Proyecto =	Diseño de pavimento rígido para 6.6km de calle en lotificación las colinas del diamante				
Seviciabilidad final =	2 (Pt)	Departamento =	Esteli				
Espesor de losa =	6 plg	Municipio =	Esteli				
Tipo de vehiculo	Tipo de eje	Peso por eje (kips)	a	b	c	d	e
			Vehiculos diarios	Factor de creciment	Tránsito de diseño	Factor ESAL's	ESAL's de diseño
Livianos							
Tasa de crecimiento 3.57%							
Autos	Eje simple	2.2	46	28.48	478246	0.00038	182
	Eje simple	2.2				0.00038	182
Jeep	Eje simple	2.2	18	28.48	187140	0.00038	71
	Eje simple	2.2				0.00038	71
Camioneta	Eje simple	2.2	26	28.48	270313	0.00038	103
	Eje simple	4.4				0.0038	1027
McBus	Eje simple	4.4	8	28.48	83173	0.0038	316
	Eje simple	8.8				0.0558	4641
MnBus	Eje simple	8.8	4	28.48	41587	0.0558	2321
	Eje simple	17.6				0.9228	38376
Pesados							
Tasa de crecimiento 3.57%							
Bus	Eje simple	11	0	28.48	0	0.1365	0
	Eje simple	22				2.32	0
C2 2-5 Ton.	Eje simple	8	8	28.48	83173	0.035	2911
	Eje simple	18				1	83173
C2 5 + Ton.	Eje simple	11	6	28.48	62380	0.1365	8515
	Eje simple	22				2.32	144722
C3	Eje simple	11	2	28.48	20793	0.1365	2838
	Eje tandem	36				2.42	50319
						ESAL's de diseño =	339,768

Fuente: elaboración propia.

Dónde:

a: TPDA por vehículo.

b:
$$F_c : T_0 \frac{[(1+i)^n - 1]}{i}$$
 (Ecuación 15).

Td: a x b x 365

d: factor ESAL. (Anexos: C14, pág. XL, C15, pág. XLI).

e: c x d.

i: 3.57%.

- Porcentaje de confiabilidad, el cual está en función del tipo de carretera según su TPDA. De acuerdo a nuestro estudio el TPDA obtenido fue de 200 vehículos. De acuerdo a la tabla 20 nuestro valor está por debajo del valor mínimo, por lo cual decidimos clasificarla como Colectora Rural.

Tabla 20. Clasificación funcional de carreteras.

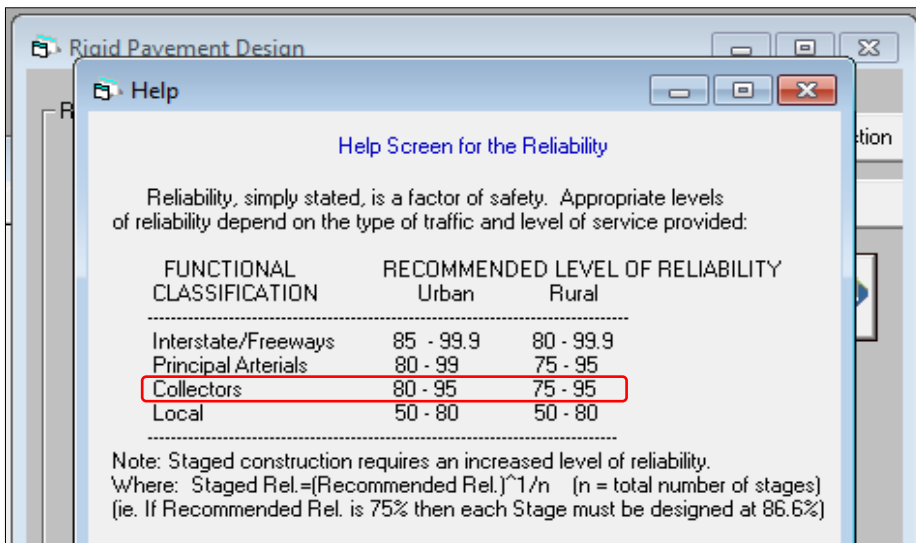
TPDA	> 20,000		20,000 – 10,000		10,000–3,000		3,000 - 500	
	C	S	C	S	C	S	C	S
AR – Autopistas Regionales	6 – 8	Pav.	4 – 6	Pav.				
TS – Troncales Suburbanas	4	Pav.	2 - 4	Pav.	2	Pav.		
TR – Troncales Rurales	4	Pav.	2 – 4	Pav.	2	Pav.		
CS – Colectoras Suburbanas			2 - 4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR – Colectoras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

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

Fuente: manual centroamericano para diseño de pavimentos.

Al seleccionar la pestaña el software nos da los porcentajes de acuerdo a la clasificación:

Figura 13. Porcentaje de confiabilidad.



Fuente: elaboración propia.

Nuestro porcentaje de confiabilidad por su clasificación como colectora, y estar en zona rural se encuentra entre el rango del 75% al 95%, decidimos seleccionar un 90%, previendo una buena ejecución del pavimento.

- Desviación estándar: para pavimentos rígidos de acuerdo a AASHTO el valor es de 0.35, cuando es una construcción nueva, en caso contrario 0.39.
- El módulo de ruptura propuesto es un MR 42, el cual en unidad “libra sobre pulgada cuadrada” es de 600 Psi. (1 Psi = 0.07 1kg/cm²), el software por defecto, calcula el módulo de elasticidad del concreto al ingresar el módulo de ruptura.
- Transferencia de carga: está en dependencia del sistema empleado y el ESAL de diseño. El pavimento en estudio está diseñado para transferir las cargas mediante trabazón de agregados. El dato se selecciona en la pestaña dentro del software.

Figura 14. Transferencia de cargas.

The following modified AASHTO load transfer coefficients are recommended by the American Concrete Pavement Association:

E 18's Millions	Doweled Joints		Aggregate Interlock		Continuously Reinforced		Pavement Class
	Edge Support No	Edge Support Yes	Edge Support No	Edge Support Yes	Edge Support No	Edge Support Yes	
Up to 0.3	3.2	2.7	3.2	2.8	---	---	Local Streets & Roads
0.3 to 1	3.2	2.7	3.4	3.0	---	---	
1 to 3	3.2	2.7	3.6	3.1	---	---	
3 to 10	3.2	2.7	3.8	3.2	2.9	2.5	Arterials and Highways
10 to 30	3.2	2.7	4.1	3.4	3.0	2.6	
over 30	3.2	2.7	4.3	3.6	3.1	2.6	

Fuente: elaboración propia.

- Módulo de reacción combinado Kc: 70 Psi.
- Coeficiente de drenaje: depende del porcentaje en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación. Para el cálculo necesitamos los siguientes datos:

Secciones típicas de diseño para terracería según AASHTO:

- Pendiente longitudinal (S): 0.3%
- Pendiente transversal (Sx): 2.5%
- Espesor de capa base (h): 0.15m
- Ancho de base (b): 4m

La geometría resultante debe calcularse:

- Longitud resultante de la base (Lr): $Lr = b \cdot ((S/Sx)^2 + 1)^{0.5}$ (Ecuación 16).

Lr = 4.029 m.

- Pendiente transversal resultante (Sr): $Sr = (S^2 + Sx^2)^{0.5}$ (Ecuación 17).

Sr = 0.03

- Factor de pendiente longitudinal (S_1): $S_1: (L_r * S_r)/h$ (Ecuación 18).

$$S_1 = 0.03$$

- Volumen de vacíos (V_v): $(V_v) = V_t^* - V_s = N_{e_{max}}^{**}$ (Ecuación 19).

$$V_v = 0.31$$

*= volumen total = 1 (a partir de la adopción de la unidad para el volumen de sólidos)

**= Volumen de agua que llena completamente los vacíos del material).

V_s : W_s/D_s .

Dónde:

W_s (peso específico): **1.59 gr/cm³**. (Determinada según norma **ASTM C 29**)

D_s (densidad): **2.32 gr/cm³** (Determinada según norma **ASTM C 127**)

- Porosidad efectiva (N_c): $N_c = N_{e_{max}} \cdot C / 100$ (Ecuación 20).

Para obtener la cantidad de agua que se puede drenar por gravedad se utilizó la tabla 21, a partir de la granulometría del material para base:

Tabla 21. Cantidad de agua que se puede drenar por gravedad. (C).

Material predominante	Cantidad de finos								
	< 2.5%			2.5% - 5%			5% - 10%		
	Tipo de finos			Tipo de finos			Tipo de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	filler	limo	Arcilla	filler	limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	35	18	- 8

Fuente: Diseño Estructural de Caminos, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, 1994

Fuente: manual centroamericano para la construcción de pavimentos.

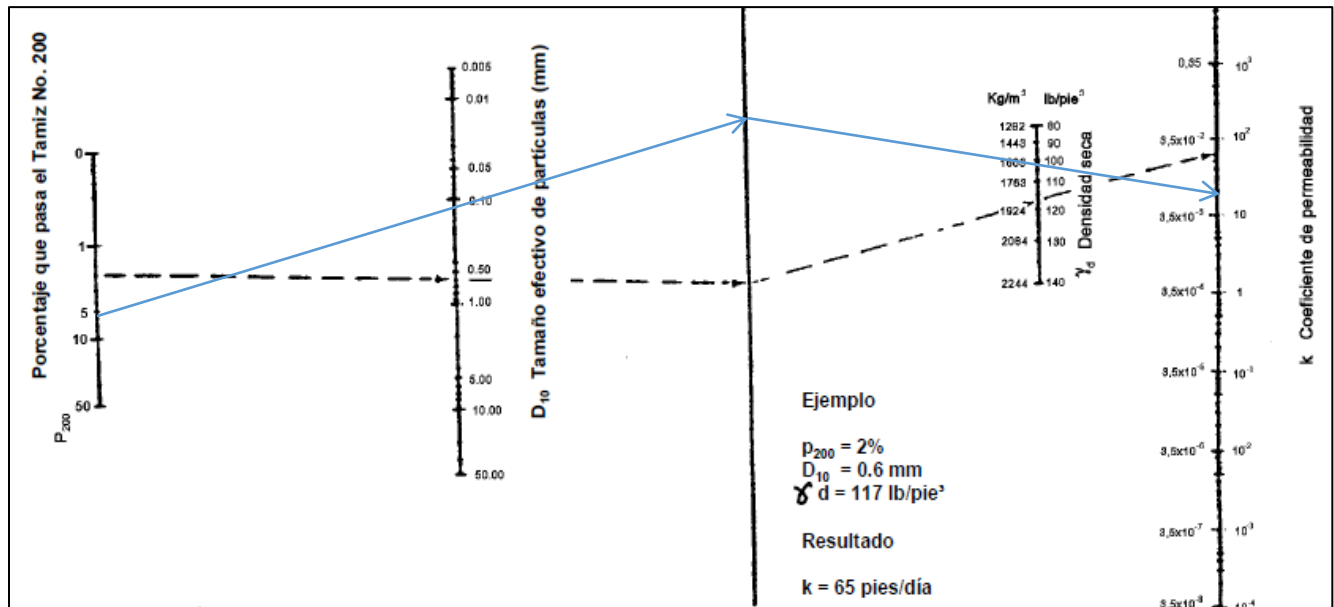
De acuerdo a la granulometría del material de base a emplear, decidimos un valor de C promedio entre el valor del 5% - 10%, o sea 7.5%, ya que el porcentaje pasante del tamiz N° 4 es 68% lo que indica predominio de arena, y en malla 200 resultado del 7%, tamiz por el cual pasan las partículas de limo + arcilla, y en vista

que es un material terreo, el porcentaje de filler puede no ser considerado, ya que es un material mineral que se encuentra únicamente en los materiales pétreos.

Por lo tanto $N_c = 0.02$.

- Coeficiente de permeabilidad $K = 30$. Se determinó con el ábaco de la figura 15.

Figura 15. Coeficiente de permeabilidad K.



Fuente: manual centroamericano para construcción de pavimentos.

- Coeficiente de drenaje (m) = $m: N_c * Lr^2 / (h * K)$. (Ecuación 21).

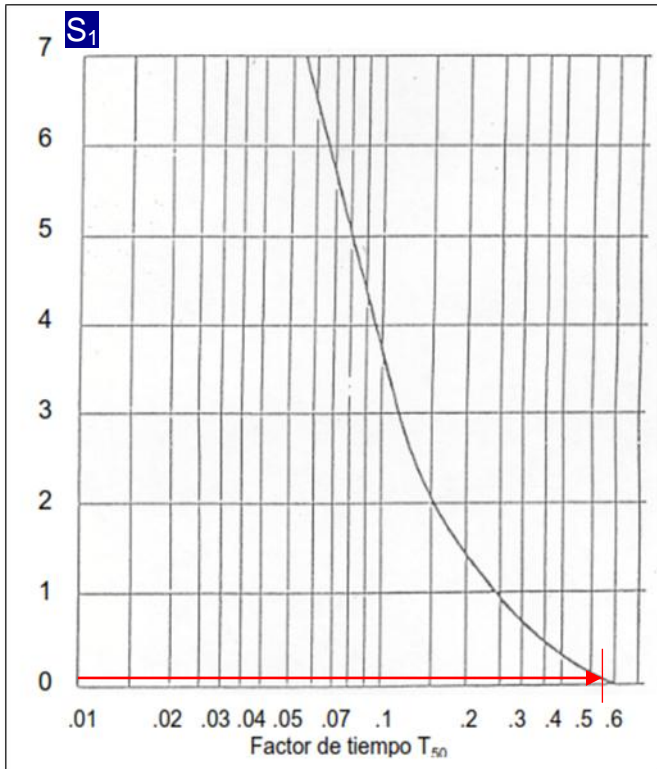
$m: 0.0847$.

- Tiempo para drenar (t) = $t: T * m * 24$. (Ecuación 22).

El tiempo para drenar depende de la sección transversal de la terracería y de la permeabilidad del suelo que la constituya.

Es necesario conocer un factor de tiempo " T_{50} " en función del factor de pendiente longitudinal (S_1), utilizando el ábaco de la figura 16.

Figura 16. Factor de tiempo para un drenaje del 50%.



Fuente: manual centroamericano para construcción de pavimentos.

- Como S_1 fue 0.03 el factor de tiempo T_{50} obtenido fue 0.58, por lo tanto el tiempo para drenar es = t: 1.18 horas.
- Tiempo que el pavimento estará próximo a saturarse:

$$P: ((S + R) + 100) / 365$$

(Ecuación 23).

Dónde:

S: días de traslape entre la época lluviosa y la estación seca.

R: días con lluvia.

Depende de la región del país y se investigó en el historial de INETER en la región de Estelí y los valores serían $S = 176$ y $R = 33$, por lo tanto $P: 57\%$.

Con los datos obtenidos se procedió a usar la tabla 22 y se califica el tiempo de drenaje de nuestra base.

Tabla 22. Tiempo de drenaje.

Calidad del Drenaje	50% saturación	85% saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	de 10 a 15 horas
Muy pobre	El agua no drena	mayor de 15 horas

Fuente: manual centroamericano para construcción de pavimentos.

Como el grado de saturación es del 57% se tomó el más cercano, 50% y el tiempo de drenaje fue de 1.12 horas, la calidad de drenaje es excelente.

Se procedió entonces a encontrar el coeficiente de drenaje con la tabla 23.

Tabla 23. Coeficiente de drenaje.

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

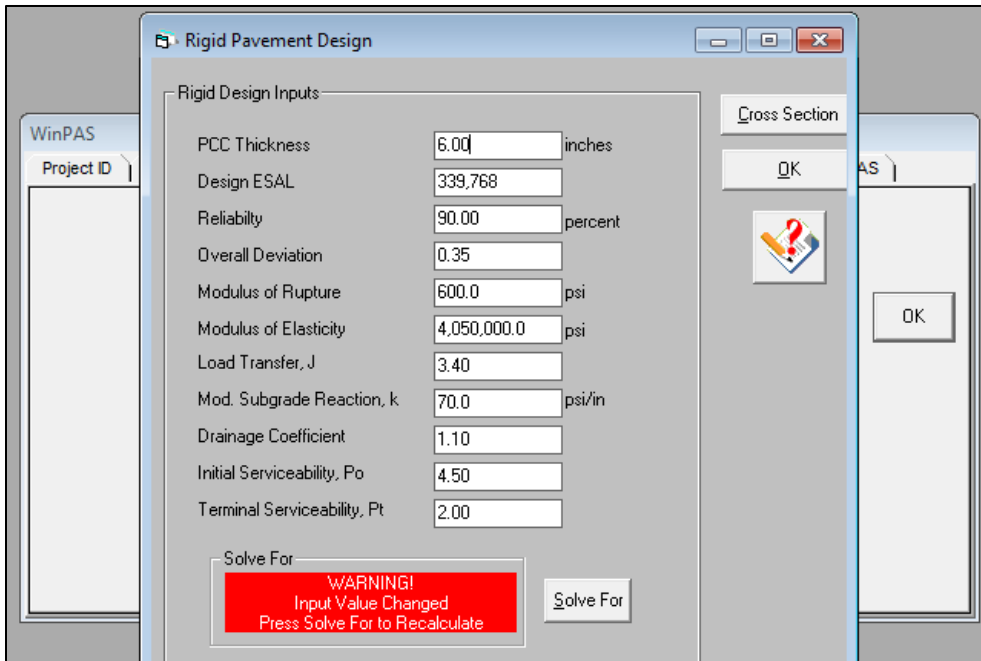
Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

Fuente: manual centroamericano para construcción de pavimentos.

De acuerdo al análisis realizado con una calidad de drenaje obtenido, calificado como excelente y un tiempo de exposición a niveles de humedad cercanos a la saturación mayor al 25%, nuestro coeficiente de drenaje a utilizar es 1.10.

Se recopilan todos los datos y son ingresados al software, como se refleja en la figura 17, y se da un clic, en resolver.

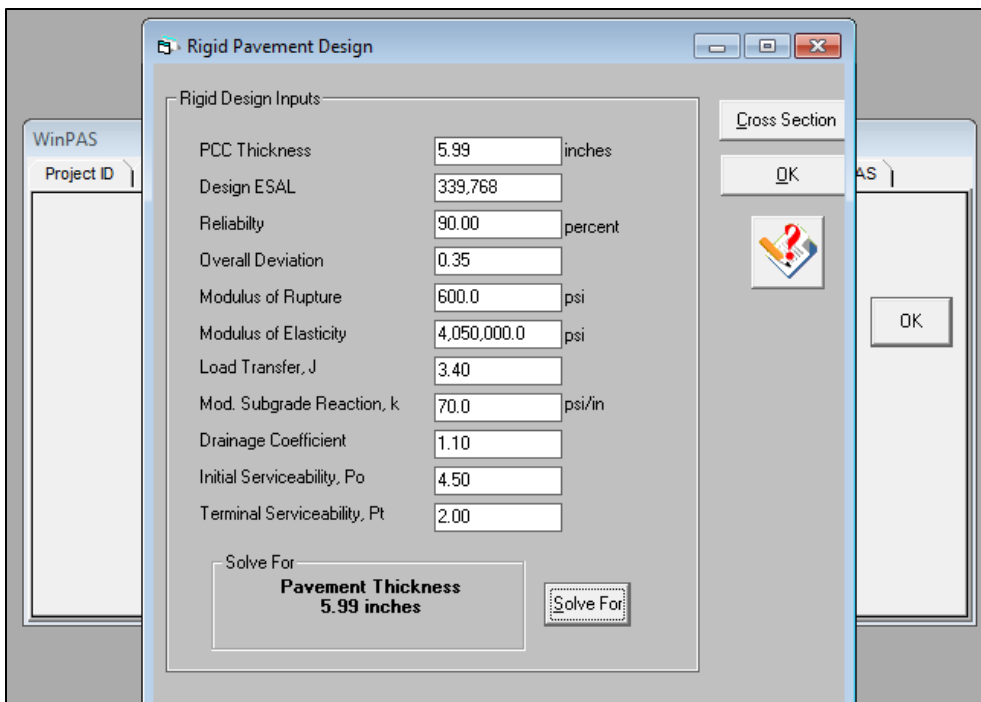
Figura 17. Parámetros de diseño.



Fuente: elaboración propia.

Al posicionar el puntero en “espesor de losa” y dar “clic” en resolver se obtiene:

Figura 18. Solución de diseño.



Fuente: elaboración propia.

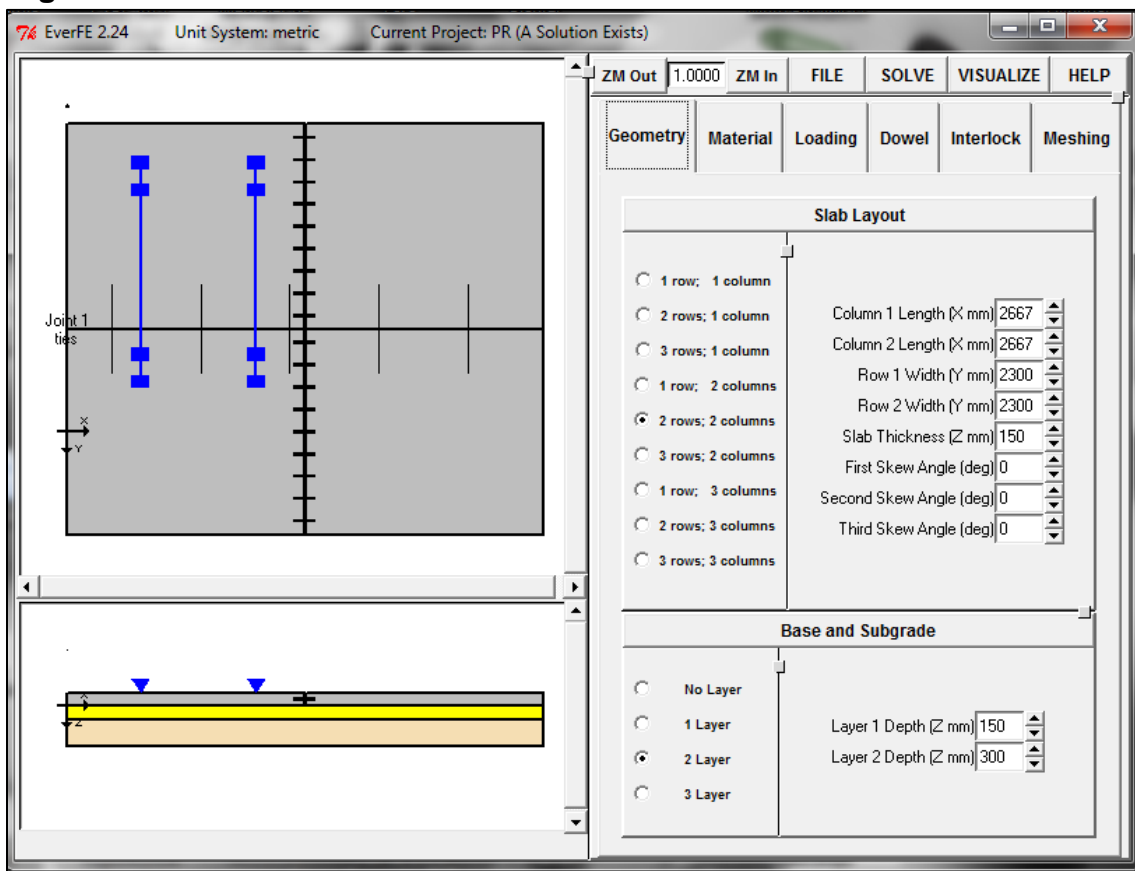
Como resultado, el espesor de diseño calculado por el software resulto de 5.99 pulgadas; de esta manera se demuestra que el espesor propuesto y la resistencia del concreto son las ideales.

4.5.4 Comportamiento de losas analizado con el software EverFe.

Para analizar el comportamiento de las losas cuando una carga actúa sobre ellas, utilizamos el software EverFe, donde se podrán apreciar las presiones generadas y como las losas actúan frente a la carga actuante.

Primero se definieron las dimensiones de las losas.

Figura 19. Dimensionamiento de losas.



Fuente: elaboración propia.

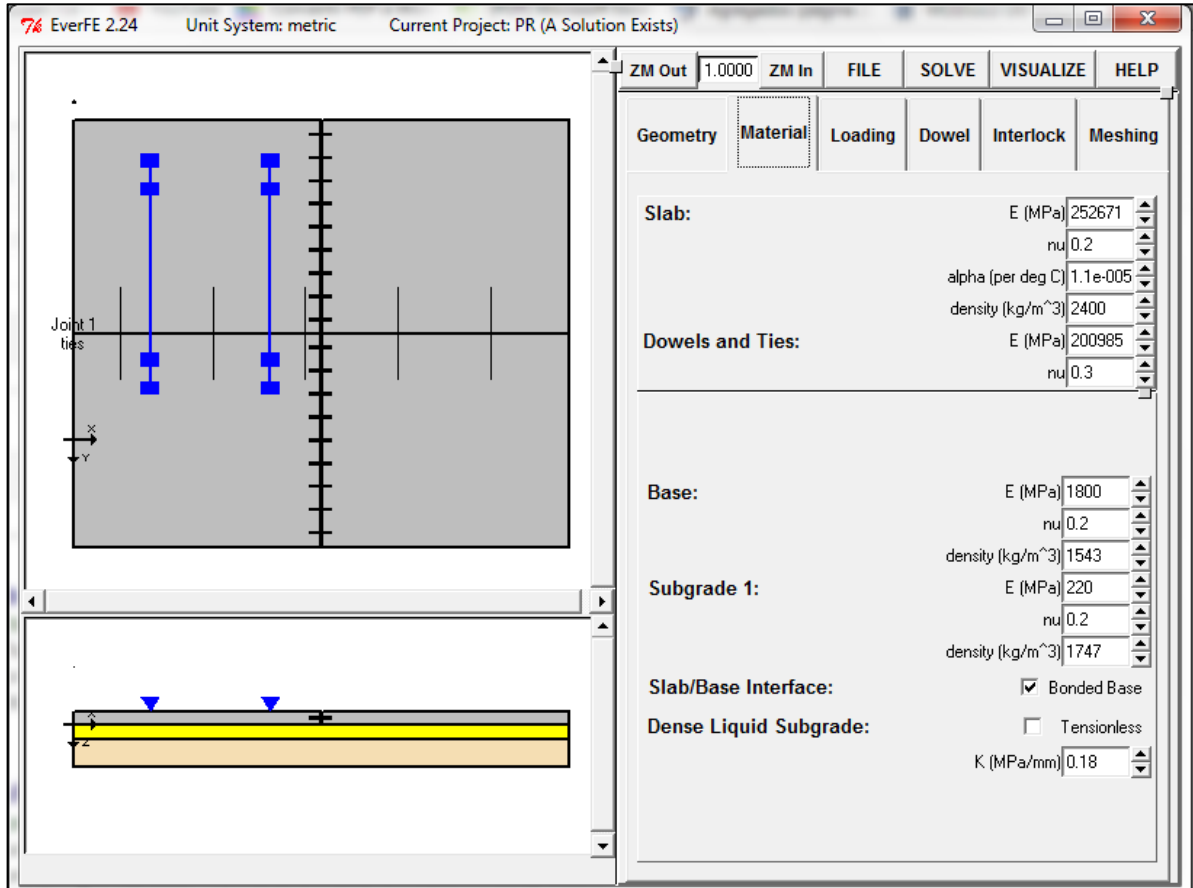
Seguidamente, se ingresan las propiedades de los materiales, tanto del concreto y acero como del material de base. El módulo de elasticidad del acero es 200,985 Mpa, el módulo de elasticidad del concreto se calcula como sigue:

$$E: 15,100 * F'c^{0.5} \quad (\text{Ecuación 24}).$$

Dónde:

$F'c$: resistencia a compresión del concreto en Kg/cm^2 (280kg/cm^2)

Figura 20. Propiedades de la estructura del pavimento.



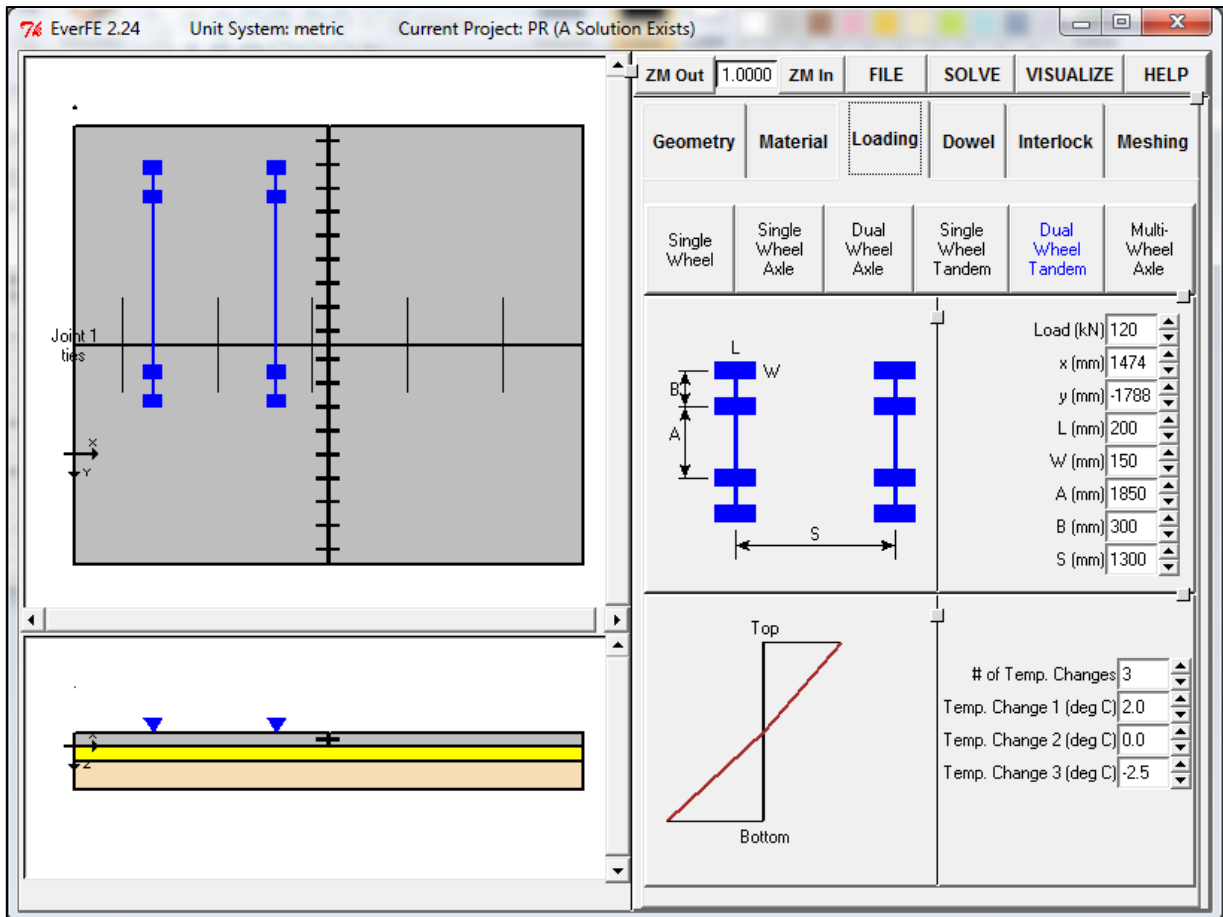
Fuente: elaboración propia.

En el tercer paso se ingresaron las cargas, tomamos el ejemplo de un Mixer, cuyo peso en ejes es de 120 KN.

También son necesarias las dimensiones propias del vehículo, sus espacios entre los ejes traseros de centro a centro en ambos sentidos, la superficie de apoyo sobre la carpeta de rodamiento y el ancho de la llanta.

Consideramos también el diferencial de temperatura entre la superficie y la base de la losa.

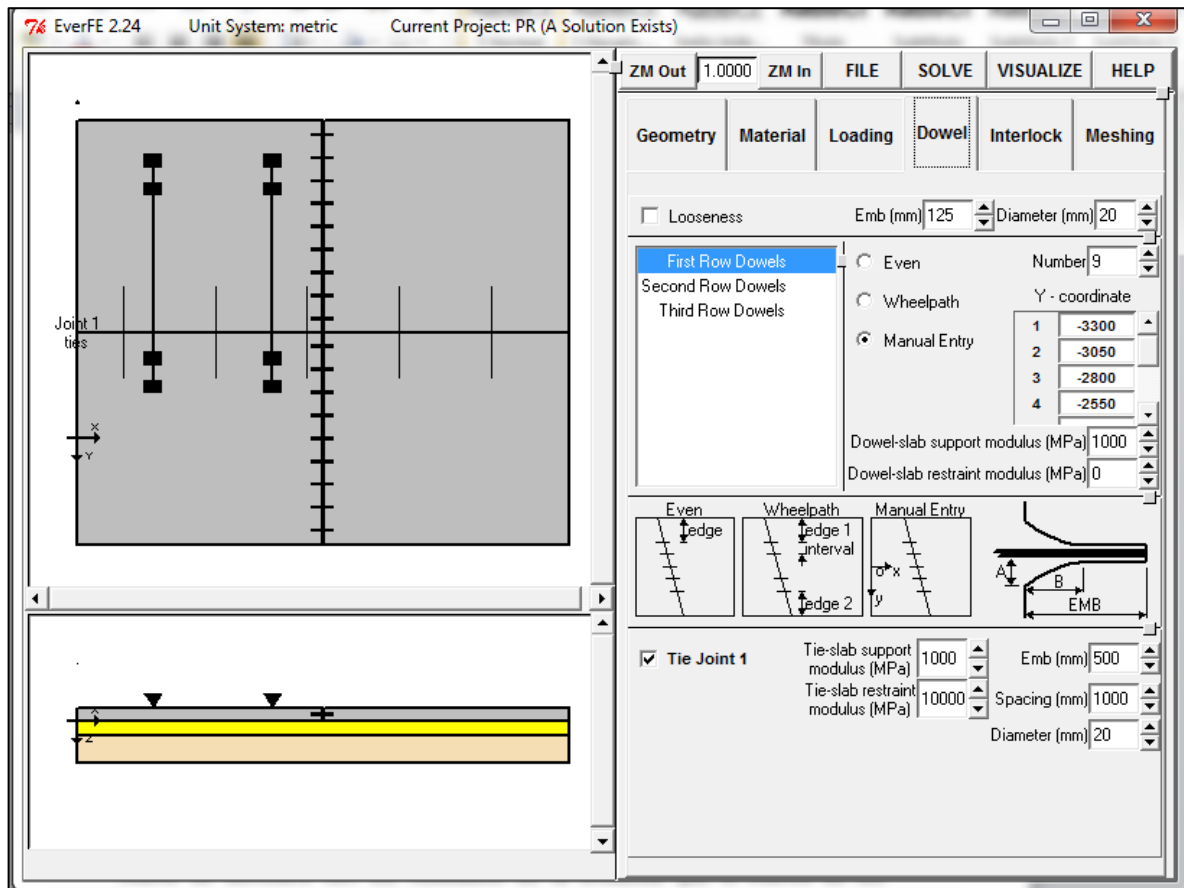
Figura 21. Carga vehicular.



Fuente: elaboración propia.

Luego se definieron las dovelas, las cuales se dimensionaron de acuerdo a la tabla 4.4.1 de este documento, tanto como su diámetro, y empotramiento en la losa son los considerados.

Figura 22. Dovelas en juntas de construcción.

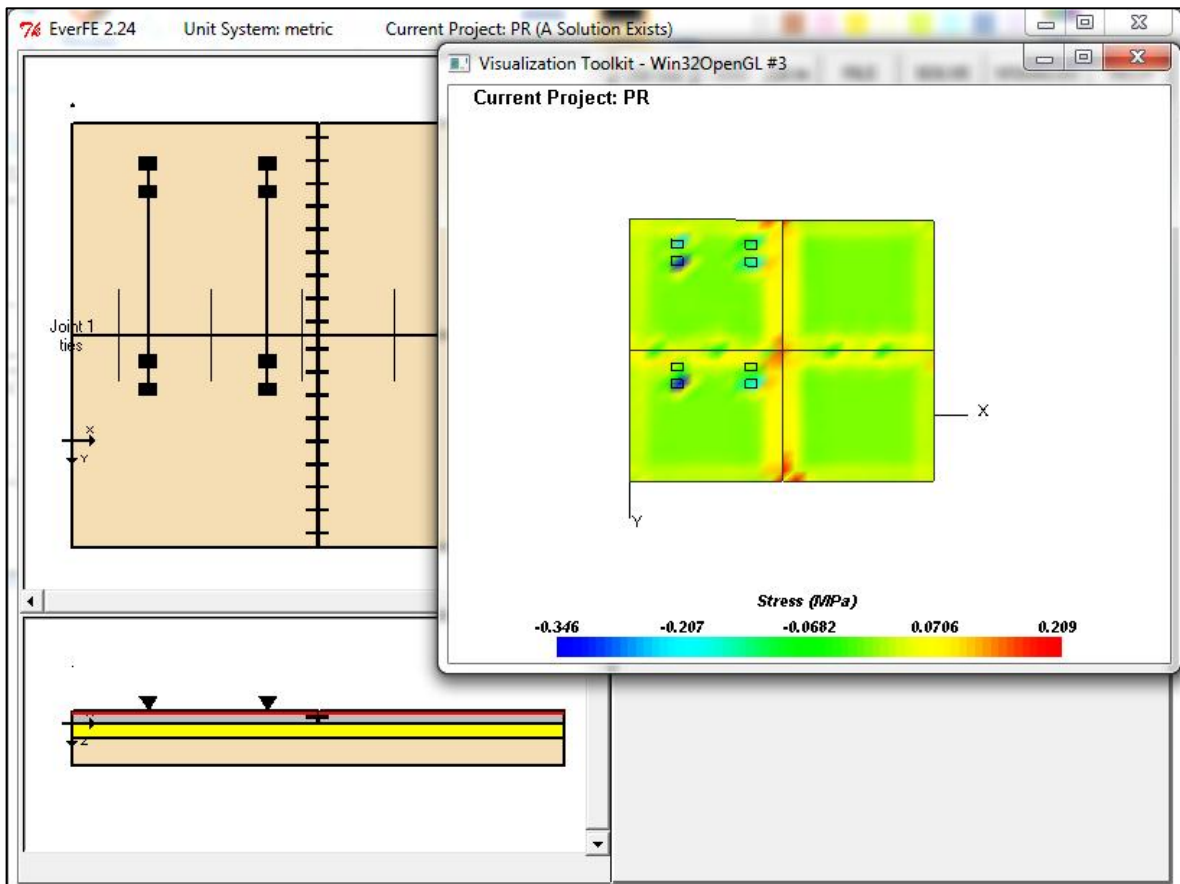


Fuente: elaboración propia.

Cuando todos los parámetros de diseño han sido ingresados al programa, se le ordena que lo resuelva, y se pueden visualizar los resultados en esquemas.

Los cuales se reflejan en las figuras siguientes:

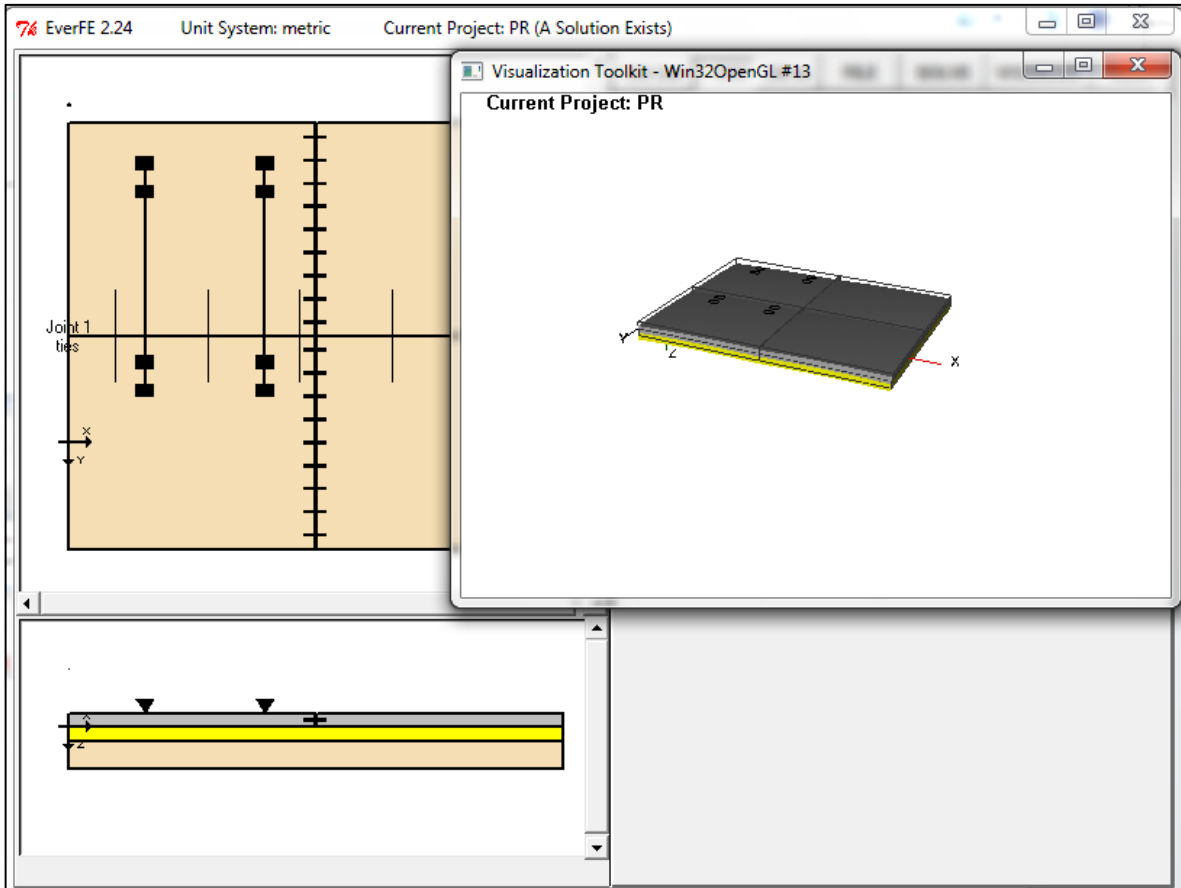
Figura 23. Estrés producido en las losas.



Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura anterior, ninguna de las presiones es superior a los 4.13 Mpa de presión que puede soportar la losa de concreto, y tanto como sus bordes extremos y losa más próxima reflejan una transferencia de carga homogénea.

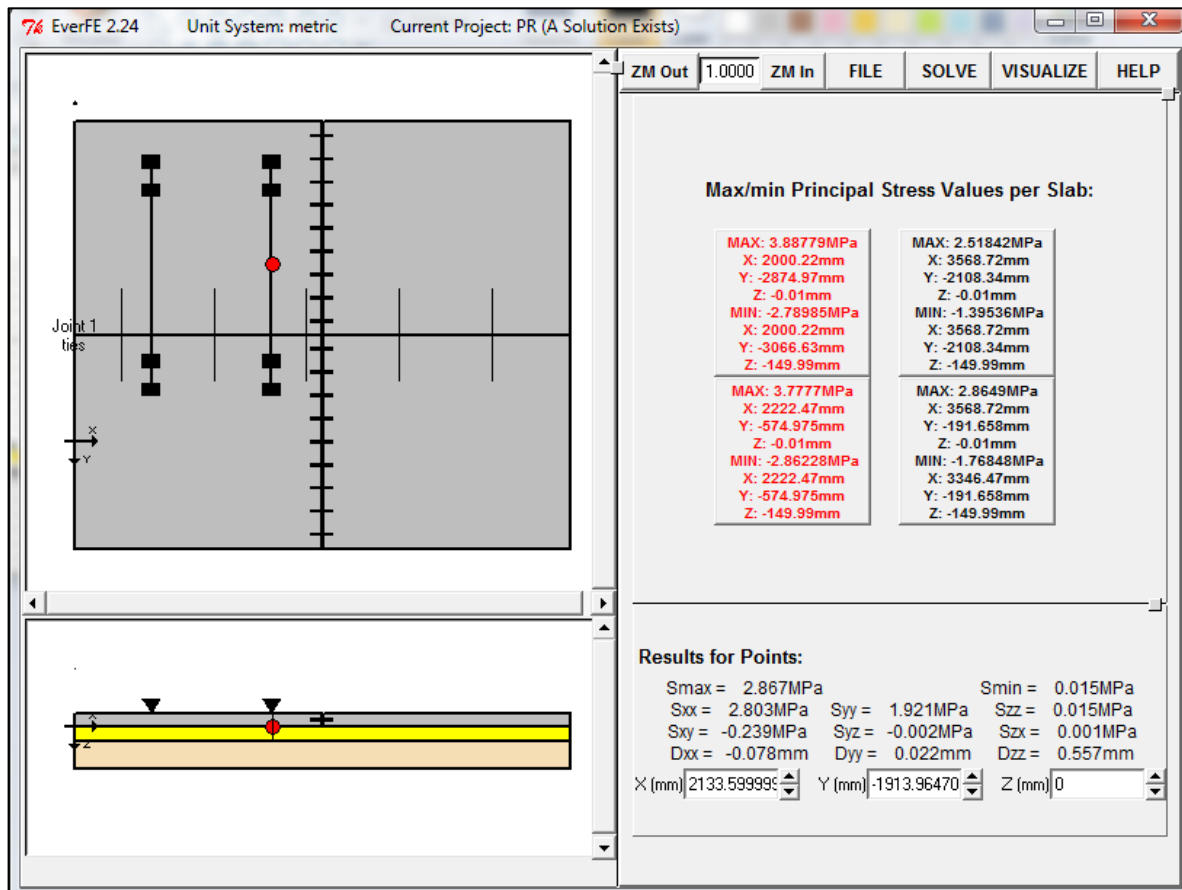
Figura 24. Deformaciones en la losa.



Fuente: elaboración propia.

La imagen ilustrada, se realizó a una escala 200, para observar las posibles deformaciones que podrían surgir, sin embargo, no hay picos que indiquen, una deformación considerable en la losa, y por ende, someter en un momento crítico a la misma.

Figura 25. Máximo y mínimo estrés producido.



Fuente: elaboración propia.

Seguidamente a la deformación de la losa, se evidencia que ninguna de las presiones máximas indicadas por el indicador rojo, someten a la losa más allá de su valor de soporte.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

Realizado el estudio de tráfico se obtuvo que el TPDA es de 200 vehículos de los cuales el 92% lo representan vehículos livianos y el 8% los vehículos pesados.

Se realizaron 40 sondeos para realizar la granulometría y la clasificación de los suelos dispuestos en esa zona, resultando de la siguiente manera: el 65% son suelos del tipo A-2-7(0), el 5% es A-2-7 (1), el 5% es A-4(0), el 5 % es A-4 (1), el 14% es A-2-6 (0), y el 6% es A-2-6 (1).

Los resultados obtenidos en ensayo proctor y CBR al material de subrasante natural fueron: humedad óptima 13% y su densidad máxima seca $1,839 \text{ kg/m}^3$, y un CBR nominal igual a 22, al 95% de la densidad máxima seca obtenida.

En vista que el suelo encontrado en el proyecto carece de propiedades mecánicas apropiadas se tomó la decisión de dejarlo como subrasante e implementar una base con material de préstamo. El banco seleccionado fue el banco "Eduardo Blanco", cuya clasificación de material fue A-1-a (0), con un valor de densidad máxima de $1,624 \text{ kg/m}^3$ a una humedad óptima del 19%, y un CBR nominal igual a 72, al 95% de la máxima densidad seca obtenida.

El módulo de reacción de la estructura que soportara el pavimento es combinado Kc, con un valor de 200 Mpa.

La estructura final del pavimento consta de la subrasante natural, una base de 15 centímetros y carpeta de rodamiento de concreto hidráulico de 150 milímetros con un módulo de rotura de 42 kg/cm^2 .

Los resultados en el análisis de fatiga y erosión resistida por el pavimento fueron de 90% y 28% respectivamente.

La corroboración del diseño con el software Winpas, nos indica que las dimensiones propuestas y el diseño de concreto puesto a prueba cumplen satisfactoriamente.

Recomendaciones.

- Dar seguimiento al tráfico que haga uso de la vía, con el propósito de verificar que los controles aquí realizados coincidan a la realidad de la demanda vehicular que soportara la carpeta de rodamiento, de ocurrir una variación se deberá estudiar la fuente de esa variación.
- La estructura de las capas inferiores a la carpeta de rodamiento, deberá estar formada por la subrasante y una base de 15 centímetros con material de préstamo extraído del banco Eduardo Blanco.
- Hacer estudios rutinarios de control de calidad del material que se estará desalojando del banco de materiales, para verificar sus propiedades físicas y mecánicas.
- Realizar un control en obra de las condiciones de terracería, por ejemplo: realizar ensayos para verificar la compactación alcanzada, pues el estudio realizado fue en base a un 95% de su densidad máxima seca, de no cumplir esta condición y no percibirlo, puede ocasionar problemas severos a la estructura.
- Respetar los espesores de diseño.
- Realizar juntas de construcción al final de cada jornada de trabajo.
- La buena disposición de las dovelas garantiza una transferencia de carga homogénea.
- La relación largo ancho de las losas luego de realizar el corte no debe superar un valor de 1.25.
- Realizar tramo de prueba para estimar el tiempo de ejecución de cortes de losa.

Bibliografía.

- ✚ Análisis de los criterios de diseño de pavimento rígido bajo la óptica de las condiciones especiales de la isla de san Andrés y especificaciones técnicas de la secretaria de infraestructura de la gobernación departamental. Carlos Alberto Bryan Uribe. Bogotá D.C 2015.
- ✚ Diseño de espesores de pavimentos de hormigón en carreteras y calles, método de la PCA. IBCC. 2007.
- ✚ Estudio de transito vial, Finca Barranca Ponce, Puerto Rico, junio 2002.
- ✚ Juntas en pavimentos de concreto hidráulico. Ing. Iván Ricardo Sánchez Acevedo. ACI. 2015
- ✚ Libro CMT. Característica de los materiales. Parte 4. Materiales para pavimentos. 2015
- ✚ Manual de diseño y conservación de pavimentos rígidos. Universidad nacional autónoma de México. 2012
- ✚ Manual de diseño de pavimentos de concreto par vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. INV. ICPC. 2016.
- ✚ Norma ASTM C 136. Ensayo normalizado para análisis granulométrico.
- ✚ Norma ASTM C 702. Método normalizado de cuarteo de materiales.
- ✚ Norma AASTHO T 99-01. Método normalizado para ensayo proctor, estándar.
- ✚ Norma AASHTO T 180-01. Método normalizado para ensayo proctor, modificado.
- ✚ Norma ASTM D 6159-03. Método normalizado para ensayo DCP.
- ✚ Manual centroamericano para el diseño de pavimentos. Ing. Jorge Coronado Iturbide. Noviembre 2002.
- ✚ Norma ASTM D 4318. Método normalizado para los límites de consistencia de los suelos.
- ✚ Validación del método de DCP aplicado en campo en relación al ensayo CBR en laboratorio 1, Josué Daniel Bermúdez Sierra, Universidad tecnológica centroamericana, Honduras.

ANEXOS.

Anexos A. Capítulo II. Estudio de tránsito.

Anexos B. Capítulo III. Estudio geotécnico.

Anexos C. Capítulo IV. Diseño de la estructura del pavimento.