

Facultad de Tecnología de la Construcción

**DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA
DE PAVIMENTO RÍGIDO
IMPLEMENTANDO EL MÉTODO DE
LOSAS CORTAS, EN EL TRAMO DE
1.3 KM DE LA PISTA LARREYNAGA
A SABANA GRANDE.**

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero civil

Elaborado por:

Br. Karina Idalia
Ney Pineda
Carnet: 2009-9693

Br. Joel Antonio
Mojica López
Carnet: 2007-22490

Tutor:

Ing. Israel
Morales

17 de marzo de 2023
Managua, Nicaragua

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 mi madre, Idalia María Pineda Castellón

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

Quien ha 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.

A mi mamita, Adela Bonilla Castellón

Que, aunque ya no esté presente, agradezco de manera especial que siempre me dio su apoyo incondicional, sus consejos y sobre todo siempre me llevo en sus oraciones.

A mi hermano Jerson Adonis Ney pineda

por su apoyo incondicional y motivación para mi formación profesional.

A mi padre Osmar Andrés Ney García

Por su apoyo incondicional en 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.

Karina Idalia Ney Pineda.

Dedicatoria

Esta monografía está dedicada a Dios primeramente por ser quien me ha guiado en mi camino todos estos años de sacrificio durante mis estudios, quien ha hecho posible que todas mis metas sean realidad.

A MIS PADRES:

A mi madre Teresa López, por ser mi mayor inspiración para seguir siempre adelante; a quien le debo todo el éxito que hoy en día tengo, por haber cumplido una etapa más de mi vida y por su apoyo incondicional para ser posible mi meta de ser un profesional de la Ingeniería Civil.

A mi padre Mauro Mojica, de quien estaré eternamente agradecido por el legado que me dejó, al inculcar en mí buenos hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino y de quien recibí siempre sus consejos y su apoyo Incondicional.

Joel Antonio Mojica López

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.

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 nuestro Tutor Ing. Israel Morales, 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. Muchas Gracias.

A Ing. Johnny Antonio Robles Díaz por compartir con nosotros su valioso conocimiento, experiencia en estudios de mecánica de suelos y por sus consejos.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, Alma Mater que nos brindó conocimiento y formación profesional, así como al profesorado que supieron impartir y compartir sus conocimientos. En general a todos aquellos que de alguna u otra manera contribuyeron a que nuestra monografía llegara a su fin, docentes, amigos, compañeros, confiando en nosotros, animándonos y aportándonos de sus conocimientos.

Br. Karina Idalia Ney Pineda.

Br. Joel Antonio Mojica López.

RESUMEN EJECUTIVO

Para efectuar el diseño Geométrico y estructura de pavimento rígido del tramo “Pista Larreynaga a Sabana Grande” se recopiló y analizó la información en capítulos, los cuales se presentan a continuación:

Capítulo 1: Generalidades.

En el primer capítulo se desarrollaron las generalidades, basándose en la introducción del trabajo Monográfico, ubicación y localización del tramo, antecedentes, justificación y objetivos.

Capítulo 2: Estudio de Tránsito.

Se presenta todo lo relacionado al estudio de tráfico: conteo vehicular, cálculos pertinentes para la obtención del tránsito de diseño y el número de repeticiones de ejes de equivalencia de carga.

Capítulo 3: Estudio de Suelo.

Las características del suelo influyen poco en el espesor de un pavimento, pero mucho en su comportamiento. Con el objetivo de obtener estas características en este capítulo se analizaron los estudios de suelo existentes del tramo y bancos de materiales. Además, se determinó el valor soporte del suelo (CBR) de cada tipo de suelo con el propósito de valorar la resistencia del terreno para uso de subrasante. Consideraciones necesarias para el diseño de la estructura de pavimento puesto que en dependencia de este se determina el CBR de diseño y el módulo de reacción de la subrasante.

Capítulo 4: Diseño de Pavimento.

En este capítulo se llevó a cabo el diseño de pavimento rígido mediante el método convencional AASHTO y su optimización con el método de losas cortas por medio del programa NYSLAB.

Capítulo 5: Diseño Geométrico.

Se aborda todo lo relacionado al diseño geométrico iniciando con un levantamiento topográfico mediante al cual se trazan los alineamientos verticales y horizontal, así como su sección típica, basados en las normas establecidas por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, 2da. Edición 2004, de Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) y haciendo uso del programa AutoCAD Civil 3D 2018.

Conclusiones y Recomendaciones.

Presenta las conclusiones a las que se llegó en cuanto a los resultados de los cálculos en los capítulos 2, 3, 4 ,5 y las recomendaciones que se deben de tomar en consideración, para el buen funcionamiento del tramo a pavimentar.

Anexos.

Muestra los resultados de los estudios, tablas, gráficas y figuras.

La finalidad de este documento es realizar el Diseño Geométrico y Diseñar el espesor de pavimento rígido en el tramo mediante el método de la AASHTO para posteriormente optimizarlo con el método de losas cortas, de tal manera que el pavimento responda ante las cargas a la que estará sometida.

ÍNDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	ANTECEDENTES.....	3
1.3	JUSTIFICACIÓN	4
1.4	OBJETIVOS.....	5
1.4.1	Objetivo General	5
1.4.2	Objetivos Específicos	5

CAPITULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.1	INTRODUCCIÓN	6
2.2	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD)	6
2.3	CLASIFICACIÓN VEHICULAR.....	7
2.4	CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES POR CATEGORÍAS	7
2.5	AFORO VEHICULAR	8
2.6	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)	11
2.7	PERIODO DE DISEÑO	13
2.8	PROYECCIÓN DEL TRANSITO	14
2.8.1	Tasa de crecimiento vehicular.....	14
2.8.2	Tasa de crecimiento para proyección del tránsito.....	21
2.9	CLASIFICACIÓN DE LA CARRETERA.....	24
2.10	DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO	24
2.10.1	Factor Distribución por dirección (LD).....	24
2.10.2	Factor de distribución por carril (LC)	25
2.10.3	Factor de Crecimiento Anual.....	25
2.10.4	Cálculo de Tránsito de Diseño	26
2.11	CALCULO DE ESAL´S DE DISEÑO	28
2.11.1	Cargas permisibles por tipo de vehículo	29
2.11.2	Tipos de ejes en los vehículos	29
2.11.3	Factor de Equivalencia de Carga (F. ESAL´s)	29

CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELO

3.1	INTRODUCCIÓN.....	33
3.2	TRABAJO DE CAMPO.....	33
3.2.1	Sondeo en Línea.....	33
3.3	ENSAYOS DE LABORATORIOS DE SUELOS	34
3.3.1	Análisis Granulométrico	34
3.3.2	Contenido de Humedad	42
3.3.3	Ensayo de Compactación Proctor.....	44
3.3.4	Relación de soporte de california (C.B.R)	47
3.4	ESTUDIO DE LOS MATERIALES DE BANCOS DE PRÉSTAMO.	50
3.4.1	Análisis granulométrico de los bancos de materiales.....	50
3.4.2	Límites de Atterberg y pesos volumétricos de la mezcla.	54
3.4.3	Proctor modificado de la mezcla 50% - 50%.....	55
3.4.4	Relación de soporte de California (CBR)	55

CAPITULO IV: DISEÑO DE PAVIMENTO

4.1	INTRODUCCIÓN.....	57
4.2	VARIABLES A CONSIDERAR EN EL MÉTODO AASHTO 93	57
4.2.1	Período de diseño	58
4.2.2	Ejes simples equivalentes de 80 KN.	58
4.2.3	Confiabilidad (R)	59
4.2.4	Desviación Estándar (So).....	59
4.2.5	Serviciabilidad.	60
4.2.6	Consideraciones de drenaje en el diseño del pavimento.	61
4.2.7	Transferencia de Carga	63
4.2.8	Propiedades del Concreto.....	65
4.2.9	Módulo de Ruptura (MR) del concreto.	65
4.2.10	Módulo de Elasticidad del Concreto de la losa (Ec).	66
4.2.11	Selección del CBR de diseño.....	67
4.2.12	Módulo de reacción de la subrasante (k) de diseño.....	71
4.3	CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA	72
4.3.1	Programa WinPAS 12 (Pavement Analysis Software).	72

4.3.2	Interpretación de resultados de los espesores de losa.	77
4.4	MODULACIÓN DE LA LOSA DE CONCRETO.....	77
4.4.1	Diseño de Juntas.	79
4.5	MÉTODO DE LOSAS CORTAS UTILIZANDO EL SOFTWARE NYSLAB	80
4.5.1	Análisis estructural y optimización de espesor de la losa por el método de losas cortas con ayuda del software Nyslab.	81
4.5.2	Análisis de resultados de NYSLAB	95
4.5.3	Limitaciones	100

CAPITULO V: DISEÑO GEOMÉTRICO

5.1	INTRODUCCIÓN.....	101
5.2	PARÁMETROS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DEL PROYECTO.....	101
5.2.1	Vehículo de Diseño	102
5.2.2	Tipos de Terrenos	103
5.2.3	Velocidad de Diseño	104
5.2.4	Alineamiento Horizontal	104
5.2.5	Alineamiento Vertical	105
5.2.6	Sección transversal.....	111

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES	116
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	118

Capítulo I: Generalidades

1.1 Introducción

La finalidad de toda carretera que consta de una estructura de pavimento es que cumpla con las características necesarias para soportar las cargas durante su período de diseño, así como también resistir el desgaste superficial, razón por lo cual el peso o dimensionamiento es un tema puntual en el diseño y toma de decisiones.

Para garantizar que una vía ofrezca un nivel de serviciabilidad adecuado que genere bienestar, confort y seguridad al usuario, es necesaria una vía que se encuentre en buen estado y que se ajuste a las condiciones tanto del tránsito, nivel de importancia y tipo de terreno.

Durante los últimos años, instituciones internacionales dedicadas a la investigación de los pavimentos, han impulsado la innovación en pavimentos de concreto hidráulico con losas de dimensiones distintas a las convencionales. Estos avances en pavimentos de concreto hidráulico han permitido aumentar sustancialmente la vida útil de estos; mediante la aplicación de un nuevo método (Losas Cortas), el cual consiste en cambiar el diseño de las losas de pavimento rígido tradicional por unas de dimensiones optimizadas, capaces de distribuir mejor las cargas y evitar el agrietamiento temprano, lo cual aumenta la vida útil del pavimento.

El tramo objeto de estudio Pista Larreynaga a Sabana Grande (1.3 km) está ubicado en el Distrito VI de Managua, **(Ver Anexos, pág. I, figura 28 y 29)**. Actualmente no está pavimentado y a medida que aumenta el crecimiento poblacional incrementa la demanda de utilización de esta vía, por lo cual se requiere de un mejoramiento vial. Por lo antes mencionado esta carretera requiere de un diseño geométrico y estructura de pavimento rígido.

Los habitantes se ven afectados en épocas de verano por polvaredas que perjudican su salud y en épocas de invierno en el tramo se dificulta el acceso vehicular y peatonal por las inundaciones, debido a esto los vehículos se ven obligados a circular por otras vías alternas para llegar a su destino. El punto crítico sin lugar a duda es todo el tramo en estudio puesto que no presta las condiciones de seguridad vial y es una vía muy frecuentada por vehículos livianos y pesados.

En el presente tema monográfico se utilizó el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, Edición 2011, de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) y la Secretaria Ejecutiva del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América central (CEPRENAC), para el diseño geométrico y el método de la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) versión 93* para la determinación de la estructura de pavimento rígido. Además, se analizará la calidad del suelo existente y análisis del volumen del tránsito del tramo en estudio. Así mismo, se optimizará el pavimento rígido, utilizando el método constructivo de losas cortas con el objetivo de tener un diseño de pavimento más óptimo.

La importancia de este documento radica en proporcionar a la Alcaldía de Managua (ALMA) un adecuado diseño geométrico y estructura de pavimento de concreto hidráulico utilizando el método de losas cortas para benefició de los pobladores.

1.2 Antecedentes

Los pavimentos de concreto hidráulico han sido empleados como soluciones al Transporte desde fines del siglo XIX, y constituyen una alternativa que es empleada hasta la actualidad.

En Managua, aún existe este tipo de pavimentación de concreto hidráulico con más de 40 años como es el tramo que va de los semáforos de la Ceibita a los semáforos de Linda vista el cual no ha requerido un mantenimiento correctivo o de rehabilitación. Existe otro que data de la década de 1,940 que se construyó del Crucero hacia San Rafael del Sur y ambos actualmente continúan en funcionamiento.

Según entrevista realizada a especialistas el 3 de julio del 2020, en el Distrito VI de la alcaldía de Managua(ALMA), en el Departamento de Servicios Municipales: El tramo en estudio es de origen antiguo puesto que existe antes que se inauguraré el distrito. Este era un callejón el cual se amplió y se da mantenimiento con frecuencia a partir del año 2014.

En Nicaragua se ha venido implementando en construcciones de concreto hidráulico el método de losas cortas, el cual ha tenido un desempeño satisfactorio en los siguientes proyectos realizados: Mejoramiento de seis tramos de la carretera Río Blanco – Puerto Cabezas; Circunvalación Masaya; Pavimentación en el puesto fronterizo sur Peñas Blancas; Pista Cardenal Miguel Obando y Bravo; Empalme Nejapa – Empalme Puerto Sandino; y recientemente la Circunvalación de León (Arévalo, 2013).

Se han pavimentado más de 3,000, 000 metros cuadrados con esta tecnología, principalmente en Chile, Perú y Guatemala. Estos pavimentos, han sido fabricados con distintos climas y condiciones de suelo, presentando un comportamiento excepcional (Covarrubias, 2012).

1.3 Justificación

El tramo de carretera en estudio Pista Larreynaga a Sabana Grande actualmente se encuentra en camino de tierra y no presenta las condiciones de seguridad vial. La Alcaldía del distrito VI de Managua brinda mantenimiento reconstructivo de conformación y compactación del suelo, sin embargo, esta es una solución momentánea para el problema de deterioro que presenta el tramo.

Algunos de los problemas que se dan en el tramo son los siguientes: Los habitantes se ven afectados en época de verano por polvaredas que perjudican su salud con problemas respiratorios, afecciones en la piel entre otros y en épocas de invierno en el tramo se dificulta el tráfico vehicular y peatonal por las inundaciones, debido a esto los vehículos se ven obligados a circular por otras vías alternas para llegar a su destino. El estado actual de la vía se muestra en **Anexos, pág. II, figuras 30 - 34.**

La Alcaldía de Managua pretende, en un futuro proyecto pavimentar esta vía. La pavimentación de este tramo beneficiará la afluencia vehicular, disminuyendo los tiempos de viajes.

La pavimentación de esta vía, permitirá que se mejoren las condiciones de seguridad vial. Se proporcionará una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos. Se agilizará el transporte pesado de empresas industriales como: Cemex, la textilera, Gran Café, transportes GAUS y otros, ubicados en sectores aledaños al lugar en estudio. Al mejorar las condiciones de la red vial beneficiará la calidad de vida de los habitantes ya que se mejorará su salud erradicando focos de contaminación.

La importancia de este tema monográfico es proporcionar a la Alcaldía de Managua el diseño geométrico y estructura de pavimento rígido, implementado la metodología de losas cortas para beneficio de una comunidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Realizar el diseño geométrico y estructura de pavimento rígido, implementando el método de losas cortas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las cargas a las que estará sometido el pavimento, mediante un conteo de tránsito, para un periodo de diseño de 20 años.
- Efectuar el estudio de suelo determinando las propiedades físicas – mecánicas, por medio de ensayos de laboratorios para una adecuada utilización en el diseño estructural del pavimento.
- Establecer el espesor del pavimento rígido mediante el método de la AASHTO 93 para optimizarlo por medio de la metodología de losas cortas.
- Definir el trazado geométrico de la vía, a partir de la información topográfica, considerando las Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, CEPREDENAC y SIECA, Edición 2011.

Capitulo II: Estudio de Tránsito

2.1 Introducción

En este capítulo se realizó la proyección del tráfico actual de la vía, obtenido mediante un aforo vehicular, el cual se proyecta para 20 años. El cálculo del ESAL's o ejes equivalentes permitirá establecer la carga futura que el pavimento deberá de resistir durante el transcurso de la vida útil del pavimento.

Las cargas presentes en el tramo de estudio se determinaron por medio de aforos vehiculares realizados en el año 2022 en la zona con un periodo de duración de 12 horas durante 3 días (miércoles, jueves y viernes). Los resultados de los aforos fueron analizados e interpretados con el fin de proponer un diseño de vía que cumpla con los requerimientos y las necesidades proyectadas en el futuro.

2.2 Tránsito Promedio Diario (TPD)

El Documento **Pavimentos de Concreto Cemex (2010)** expresa lo siguiente:

Se define el volumen de Tránsito Promedio Diario, como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo.

De acuerdo al número de días de este periodo, se presentan los siguientes volúmenes de tránsitos promedio diarios, dados en vehículos por día:

- Tránsito promedio diario anual (TPDA):
$$TPDA = TA / 365$$
 Ec.1
- Tránsito promedio diario mensual (TPDM):
$$TPDM = TM / 30$$
 Ec.2
- Tránsito promedio diario semanal (TPDS):
$$TPDS = TS / 7$$
 (p.34) **Ec.3**

Donde:

TA: Transito Anual

TM: Transito Mensual

TS: Transito semanal

2.3 Clasificación vehicular

Para el levantamiento de información en campo es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, ya que difieren unos de otros, actualmente en nuestro país hay gran variedad de vehículos.

El **Anuario de Aforos de Tráfico (MTI, 2020)** presenta la Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico de la oficina de Diagnóstico, Evaluación de pavimentos y puentes (**Ver anexos, pág. III, tabla 67**).

2.4 Clasificación de estaciones por categorías

Tal como establece el MTI en el “**Anuario de aforos de tráfico año 2020**” la clasificación de las estaciones de conteo en base a la tipología y función, es la siguiente:

- Estación de Mayor cobertura (EMC): Se definen como estaciones de conteos continuos en los 365 días al año con conteos clasificados de 24 horas por día, sin embargo, en los últimos años por razón de una mejor distribución en la logística se dividió el período en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 veces al año, por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) que no es más que el promedio de los períodos.

- Estación de corta Duración (ECD): se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA.
- Estación de conteo sumaria (ECS): son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA.

Tanto para las estaciones de Corta Duración y de Conteo Sumaria, se realizarán conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (martes, miércoles y jueves). (cap.2, p.8)

2.5 Aforo vehicular

Para el diseño de estructuras de pavimento es necesario conocer el número de vehículos que pasan por el tramo en estudio, para el efecto se realizó un estudio de volumen de tránsito por medio de aforos.

El conteo vehicular se realizó en un periodo de duración de 12 horas de 6 am - 6 pm, iniciando el miércoles 6 de abril del 2022 y finalizando el día viernes 8 de abril del mismo año. Según entrevista realizada a los habitantes de los sectores aledaños al tramo de estudio, los días antes presentados son los 3 días de la semana con mayor tránsito vehicular.

El aforo se efectuó en la estación 0+740. A continuación, en tabla 1, se presenta un resumen del conteo realizado, por tipo de vehículo en ambos sentidos.

Tabla 1: Aforo Vehicular

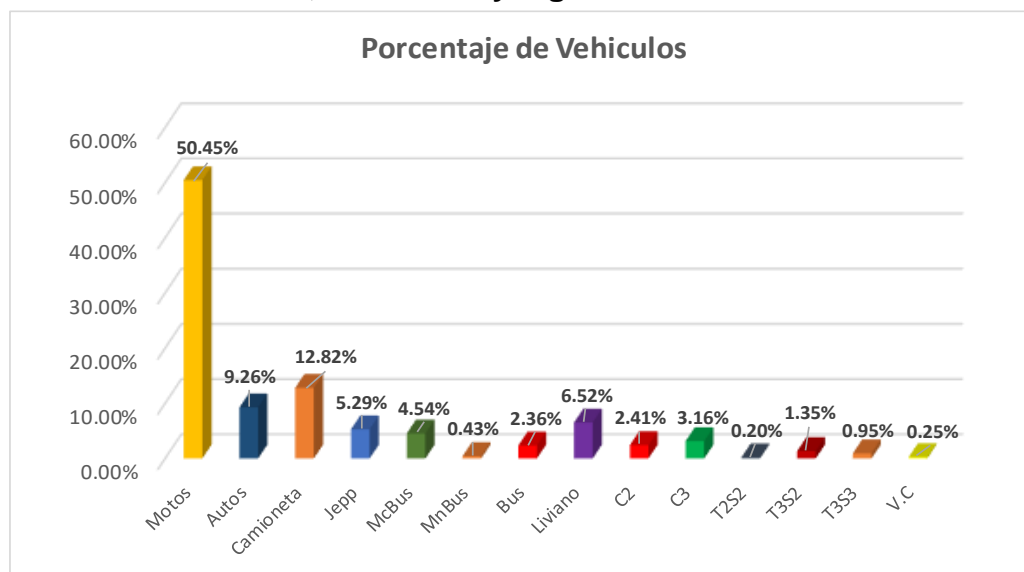
Tramo: Pista Larreynaga-Sabana Grande								Sentido: Pista Larreynaga-Sabana Grande							
Ubicacion: Est 0+740								Sabana Grande- Pista Larreynaga							
Dias	Motos	Vehiculos de pasajeros						Vehiculos de carga					Vehiculo pesado	Total	
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3		V.C
Miercoles	664	131	168	70	51	4	24	61	20	44	2	19	6	0	1,264
Jueves	647	113	164	69	63	2	33	97	35	36	2	16	15	4	1,296
Viernes	700	125	179	72	67	11	37	102	41	46	4	19	17	6	1,426
Total	2,011	369	511	211	181	17	94	260	96	126	8	54	38	10	3,986
TPD(12horas)	671	123	170	70	60	6	31	87	32	42	3	18	13	3	1,329
%TPD(12horas)	50.45	9.26	12.82	5.29	4.54	0.43	2.36	6.52	2.41	3.16	0.20	1.35	0.95	0.25	100
% Vehiculo Liviano				83				% Vehiculos Pesado:				17			

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 1 del aforo vehicular se concluye que el TPD₂₀₂₂ es de 1,329 vehículos por día (vpd) y que la tipología que más predomina son los vehículos livianos con 83%(1,100vpd) y los vehículos pesados equivalen al 17%(229vpd).

A continuación, en la gráfica 1 se presenta el porcentaje por tipo de vehículo.

Gráfica 1: Porcentaje por tipo de vehículos registrado en el aforo de tránsito, Pista Larreynaga - Sabana Grande.



Fuente: Elaboración Propia

De la gráfica 1 se resume, que el vehículo más representativo en la zona son las motocicletas con 50.45%(671vpd) ya que son los medios de transporte que utilizan los habitantes de dicha zona para moverse. Dentro de los vehículos de carga, el tipo liviano 2-5 ton. es el más recurrente con un 6.52%(87vpd).

Posteriormente en tabla 2 se presentan los tipos de vehículos que transitan en la vía por sentido según el conteo realizado. El tráfico de sabana Grande a Pista-Larreynaga equivale a 49% y el tráfico de Pista-Larreynaga a sabana Grande es 51%, lo que indica que el tránsito en la vía es balanceado.

Tabla 2: Distribución Direccional y Porcentajes por tipo de vehículos.

Sentido del flujo vehicular	Vehículo de pasajero							Vehículo de carga					Equipo pesado	Total de vehículo	% por sentido	
	Motos	Autos	Camioneta	Jepp	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3			V.C
Sabana Grande Pista-Larreynaga	996	173	254	103	77	10	46	137	46	62	5	23	18	6	1956	49
% de distribución por sentido	50.92	8.84	12.99	5.27	3.94	0.51	2.35	7.00	2.35	3.17	0.26	1.18	0.92	0.31	100	
Pista Larreynaga-Sabana Grande	1015	196	257	108	104	7	48	123	50	64	3	31	20	4	2030	51
% de distribución por sentido	50.00	9.66	12.66	5.32	5.12	0.34	2.36	6.06	2.46	3.15	0.15	1.53	0.99	0.20	100	
Total/vehículos	2011	369	511	211	181	17	94	260	96	126	8	54	38	10	3986	100
% por tipo de vehículo	50.45	9.26	12.82	5.29	4.54	0.43	2.36	6.52	2.41	3.16	0.20	1.35	0.95	0.25	100	

Fuente: Elaboración Propia

Los Datos del conteo vehicular de los tres días se detallan en **Anexos, pág. IV y V, tablas 68 - 70.**

2.6 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Para obtener el TPDA del tramo en estudio se tomarán factores de ajuste del Anuario de aforo de Tráfico del MTI 2020. El Anuario utiliza una metodología de dependencia de estaciones de corta duración con estaciones de mayor cobertura.

El **Anuario de aforo de tráfico (MTI, 2020, cap.2, pág. 9)** expresa que la dependencia es identificar para una estación de conteo de Corta Duración o Conteo Sumaria cuál es la estación de mayor cobertura correspondiente, partiendo del perfil de variación en el flujo vehicular que presente mayor grado de similitud posible.

La estación Corta duración 101A (**Aeropuerto – Zona Franca**) es la más cercana al tramo pista la Larreynaga a Sabana Grande. Es importante mencionar que esta ECD de la cual se tienen registros históricos, es dependiente de la Estación de Mayor Cobertura EMC 401 Masaya – Granada como se muestra en la figura 1.

Figura 1: Dependencia de estaciones 2020.

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
401 Masaya - Granada	NIC-1	136	ECD	Portezuelo - El Dancing
	NIC-1	137	ECD	El Dancing - La Subasta
	NIC-1	138	ECD	La Subasta - Aeropuerto
	NIC-1	101A	ECD	Aeropuerto - Zona Franca
	NIC-2	201	ECD	Semáforo 7 Sur - Emp. Nejapa
	NIC-2	214	ECD	Emp. Nejapa - Km. 10 1/2 Carretera Sur (Regreso)
	NIC-3	301	ECD	Ent. El Guayacán - Matagalpa
	NIC-3	318	ECD	Jinotega - Llano La Cruz
	NIC-4	423	ECD	Rotonda Centroamérica - Rotonda Jean Poul Genie
	NIC-4	424	ECD	Rotonda Jean Poul Genie - 1ra. Ent. Las Colinas
	NIC-4	425	ECD	1ra. Ent. Las Colinas - Ent. a la UNICA

Fuente: Anuario de aforo de trafico 2020, pág. 47.

La Estación de referencia para factores de ajuste de los conteos de tránsito del Tramo Aeropuerto – Zona Franca es la Estación de Mayor Cobertura EMC 401 Masaya –Granada, se utilizará para la proyección del tránsito los factores de ajuste del primer cuatrimestre (Enero – Abril) del año, ya que el conteo fue realizado en el mes de abril. (ver figura 2)

Figura 2: Factores de ajustes del primer cuatrimestre de año Enero - Abril de EMC 401.

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx- Sx<=4	Tx- Sx>=5	Cx- Rx<=4	Cx- Rx>=5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1,33	1,34	1,23	1,35	1,33	1,30	1,25	1,27	1,41	1,39	1,00	1,52	1,00	1,00	1,00	1,00	1,43
Factor Semana	0,94	0,95	0,95	0,94	0,90	0,95	0,93	0,86	0,89	0,88	1,00	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88
Factor Fin de Semana	1,18	1,14	1,14	1,20	1,37	1,14	1,21	1,65	1,45	1,50	1,00	1,56	1,00	1,00	1,00	1,00	1,55
Factor Expansión a TPDA	0,98	1,06	1,14	0,99	1,05	1,02	1,05	0,96	0,89	1,05	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,62

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020, Pág.355.

A continuación, se utilizarán los factores que se presentan en figura 2 y la ecuación 4 para proyectar el tránsito diario de la zona en estudio a TPDA.

$$TPDA = TP(D)_{12hrs} \times F_D \times F_S \times F_E \quad (Ec. 4)$$

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

TP(D)_{12hrs}: Tránsito Promedio Diurno de 12 horas.

F_D: Factor día.

F_S: Factor semana

F_E: Factor expansión.

En la siguiente tabla 3 se muestran los resultados obtenidos del TPDA2022:

Tabla 3: Proyección del Transito Promedio Diurno (TPD) a Transito Promedio Diario Anual (TPDA2022)

Tramo: Pista Larreynaga a Sabana Grande														Mes/año abril 2022	
Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)														Equipo Pesado	Total
Grupos	Motos	vehículos de pasajeros						Vehículos de carga						V.C	
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3		
TP(D)	671	123	170	70	60	6	31	87	32	42	3	18	13	3	1329
Factor Día	1.33	1.34	1.35	1.23	1.33	1.30	1.25	1.27	1.41	1.39	1	1.52	1.52	1	
Factor Semana	0.94	0.95	0.94	0.95	0.90	0.95	0.93	0.86	0.89	0.88	1	0.88	0.88	1	
Factor Ajuste	0.98	1.06	0.99	1.14	1.05	1.02	1.05	0.96	0.89	1.05	1	0.99	0.99	1	
TPDA	822	166	214	93	75	8	38	91	36	54	3	24	17	3	1644
% TPDA	50	10.10	13.02	5.66	4.56	0.49	2.31	5.54	2.19	3.28	0.18	1.46	1.03	0.18	100
% Vehículos Livianos				84				% Vehículos Pesados				16		100	

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 3 se concluye que el TPDA2022 para el tramo en estudio es aproximadamente de 1,644 vehículos por día, en el cual el 84% es equivalente a vehículos livianos y el 16% a vehículos pesados, estos datos nos indican que el tramo está conformado en su mayoría por vehículos livianos.

2.7 Periodo de diseño

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. Se asume la clasificación de la vía en análisis como una Colectora Suburbana por ende el periodo de diseño de pavimento rígido es de 20 años (ver tabla 4 pág. 14).

A continuación, en tabla 4, se muestra periodos de diseño según los diferentes tipos de carreteras:

Tabla 4: Periodo de Diseño

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncales suburbanas	15 - 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras suburbanas	10 - 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, SIECA 2004

2.8 Proyección del tránsito

El objetivo principal de la proyección es la cuantificación del volumen de tránsito que hará uso de la vía en donde se va a implementar el proyecto.

2.8.1 Tasa de crecimiento vehicular

Es el porcentaje que simboliza el aumento de tráfico de una zona, se determina por medio de datos estadísticos.

2.8.1.1 Correlación de Variables Macroeconómicas.

Con el propósito de establecer la tasa de crecimiento vehicular, la cual se utilizará para proyectar el tránsito a futuro que tendrá el tramo a diseñar se analizarán las variables más representativas y vinculadas al transporte.

Estas variables son: PIB (Producto Interno Bruto), combustibles, crecimiento poblacional, historial del TPDA (obtenido de la Estación de Mayor Cobertura EMC 401 Masaya – Granada, y ECD 101A perteneciente al tramo Aeropuerto – Zona Franca). Los datos de estas variables se presentan en Tabla 5.

Tabla 5: Registros Históricos.

Año	PIB (Millones de C\$ constantes)	Consumo Nacional de Combustible (miles barriles)	TPDA ECD 101A	TPDA EMC 401	Población
2011	138,654.20	5,388.00	-	6,649	5,996,619
2012	147,661.40	5,615.80	21,219	6,867	6,071,045
2013	154,936.80	5,788.20	-	7,776	6,134,270
2014	162,351.30	6,127.10	-	7,555	6,198,154
2015	170,131.60	6,813.70	29,000	8,703	6,262,703
2016	177,894.60	7,287.50	30,583	10,060	6,327,927
2017	186,133.60	7,596.40	32,210	10,597	6,393,824
2018	179,873.30	7,060.30	32,813	10,359	6,460,411
2019	173,264.30	7,267.10	33,382	9,635	6,527,691
2020	169,838.20	7,210.10	26,944	8,882	6,595,674

Fuente: Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2020 (BCN), Pág.33 y 17.
Anuario de Aforos de Tráfico 2020 (MTI).
Anuario Estadístico 2019 (INIDE), Pág.30.

Para elaborar las rectas de regresión, se aplica el logaritmo neperiano a los datos de la Tabla 5, los resultados de la operación se presentan en tabla 6.

Tabla 6: Logaritmos Neperianos de los Registros Históricos.

Año	Ln (PIB)	Ln (Combustible)	Ln (TPDA 101A)	Ln (TPDA 401)	Ln (Población)
2011	11.840	8.592	-	8.802	15.607
2012	11.903	8.633	9.963	8.834	15.619
2013	11.951	8.664	-	8.959	15.629
2014	11.998	8.720	-	8.930	15.640
2015	12.044	8.827	10.275	9.071	15.650
2016	12.089	8.894	10.328	9.216	15.660
2017	12.134	8.935	10.380	9.268	15.671
2018	12.100	8.862	10.399	9.246	15.681
2019	12.063	8.891	10.416	9.173	15.692
2020	12.043	8.883	10.202	9.092	15.702

Fuente: Elaboración propia.

Con ayuda del software Excel se realiza la correlación de los datos de tabla 6 que se presentan de cada variable con respecto al tiempo, utilizando líneas de tendencias la cual nos dará un porcentaje de correlación y una tasa de crecimiento mediante la ecuación 5:

$$Y = mx + b \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

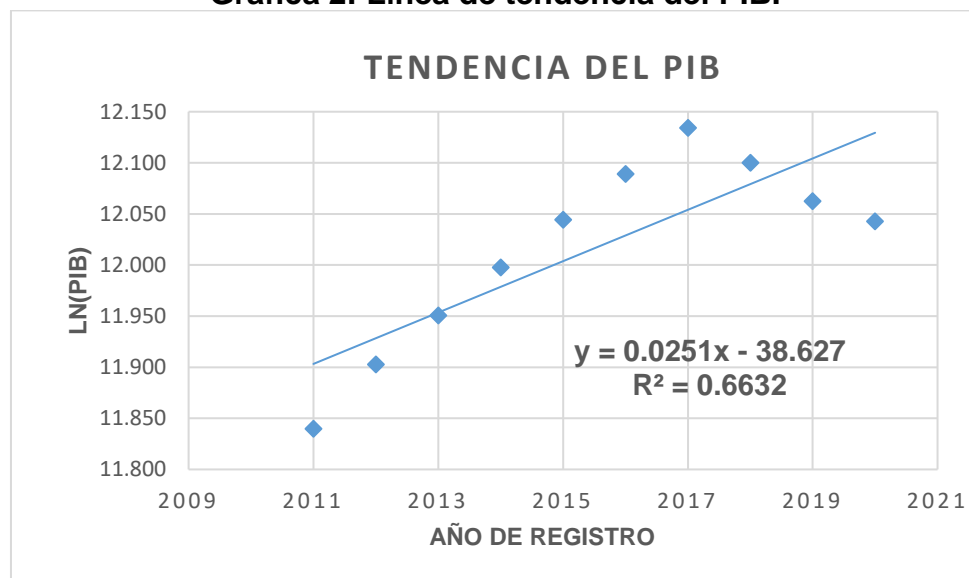
Y: Variable dependiente.

m: Pendiente de la recta (tasa de crecimiento de la variable).

b: Es el intersección en la ordenada

A continuación, se presentan las líneas de tendencias de las variables relacionadas al tránsito con respecto al tiempo.

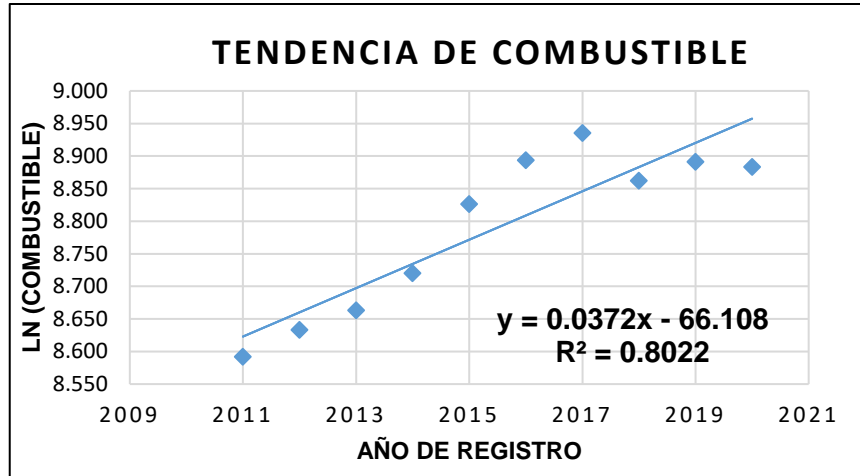
Gráfica 2: Línea de tendencia del PIB.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la gráfica 2, el PIB tiene un coeficiente de correlación $R^2=0.6632$, es decir una correlación de 81.44%, y presenta una tasa de crecimiento promedio del 2.51% anual, este valor se obtiene de la ecuación de la recta ($y=mx+b$) y corresponde al valor de la pendiente (m).

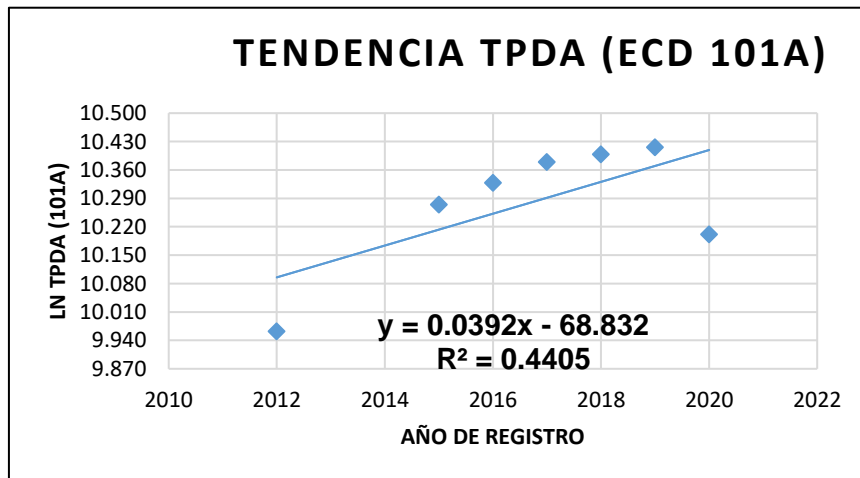
Gráfica 3: Línea de tendencia de combustible.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la gráfica 3 el consumo de combustible a nivel nacional tiene un coeficiente de correlación $R^2=0.8022$, es decir una correlación excelente del 89.57%, y presenta una tasa de crecimiento promedio del 3.72% anual.

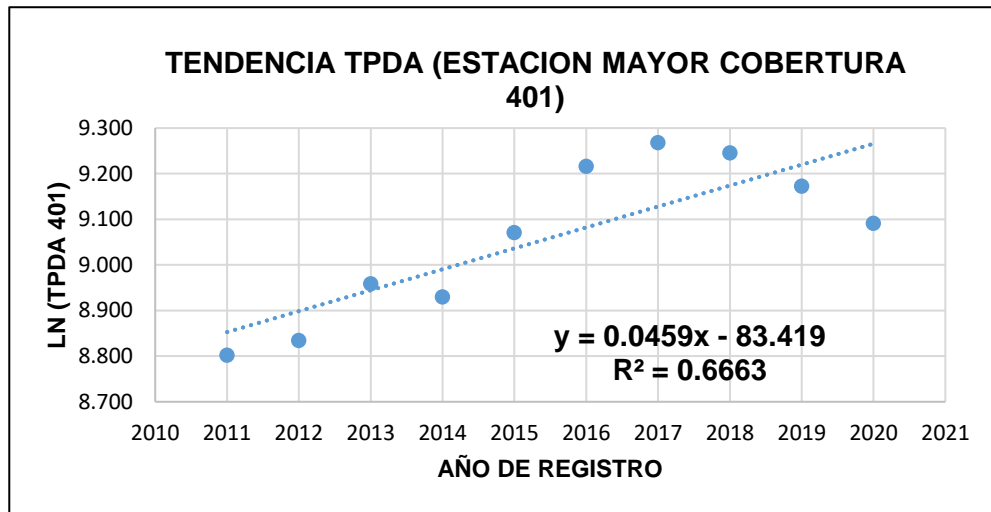
Gráfica 4: Línea de tendencia TPDA 101A.



Fuente: Elaboración propia.

Los datos del TPDA de la Estación Corta Duración ECD 101A tienen un coeficiente de correlación $R^2=0.4405$, es decir una correlación del 66.37% lo que nos indica que existe relación entre las variables en análisis, y presenta una tasa de crecimiento promedio del 3.92 % anual.

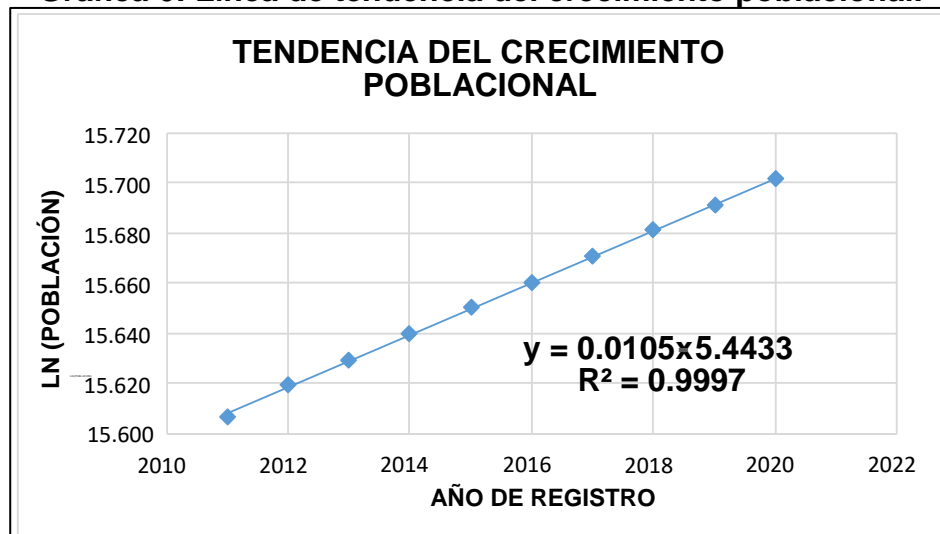
Gráfica 5: Línea de tendencia TPDA 401.



Fuente: Elaboración propia.

Según la gráfica 5 el TPDA de la Estación de Mayor Cobertura EMC tienen un coeficiente de correlación $R^2=0.6663$, es decir una correlación del 81.63%, y presenta una tasa de crecimiento promedio del 4.59% anual.

Gráfica 6: Línea de tendencia del crecimiento poblacional.



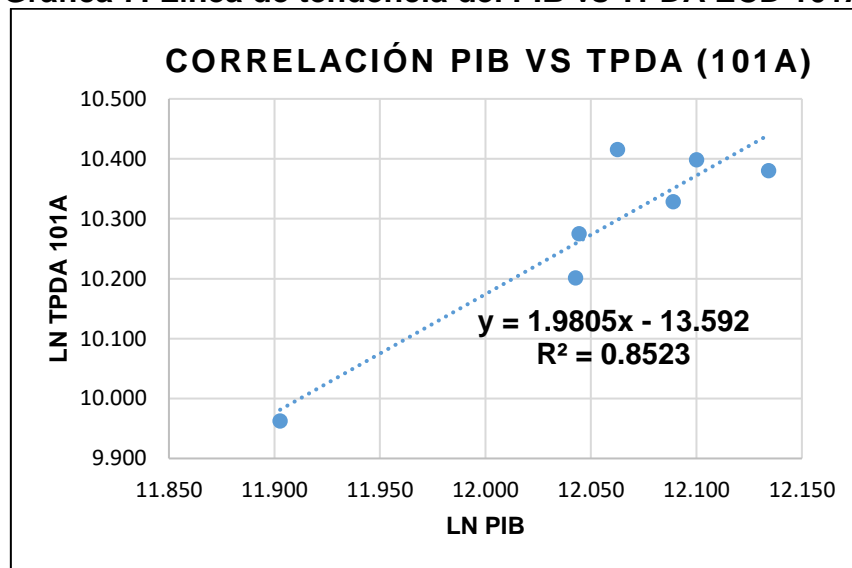
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 6 se puede observar que el crecimiento poblacional tiene un coeficiente de correlación $R^2=0.9997$, es decir una correlación excelente de 99.98% y presenta una tasa de crecimiento promedio de 1.05% anual.

De todas las correlaciones que se realizaron para cada variable con relación al factor tiempo se considera que estas presentan una buena relación entre sí.

A continuación, se presenta la correlación combinada de las variables (combustibles, crecimiento poblacional, historial del TPDA) con respecto al crecimiento del PIB, para determinar si dichas variables poseen un buen coeficiente de correlación entre ellas, y así proyectar el tránsito final en base a la “Tasa de Crecimiento” que se seleccionará posteriormente.

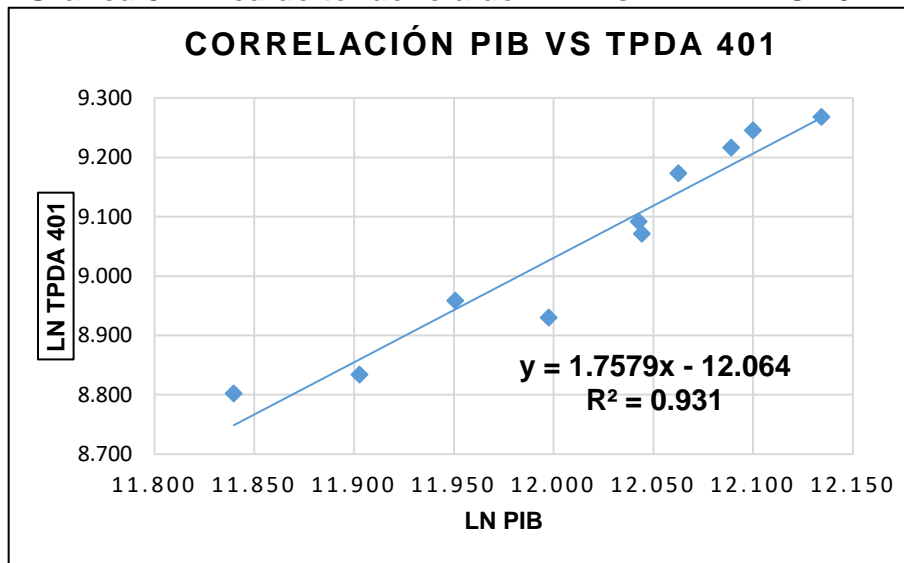
Gráfica 7: Línea de tendencia del PIB vs TPDA ECD 101A.



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 7 se obtuvo una correlación entre el PIB y el TPDA 101A de 92.32%, lo que indica que ambas variables tienen alta relación.

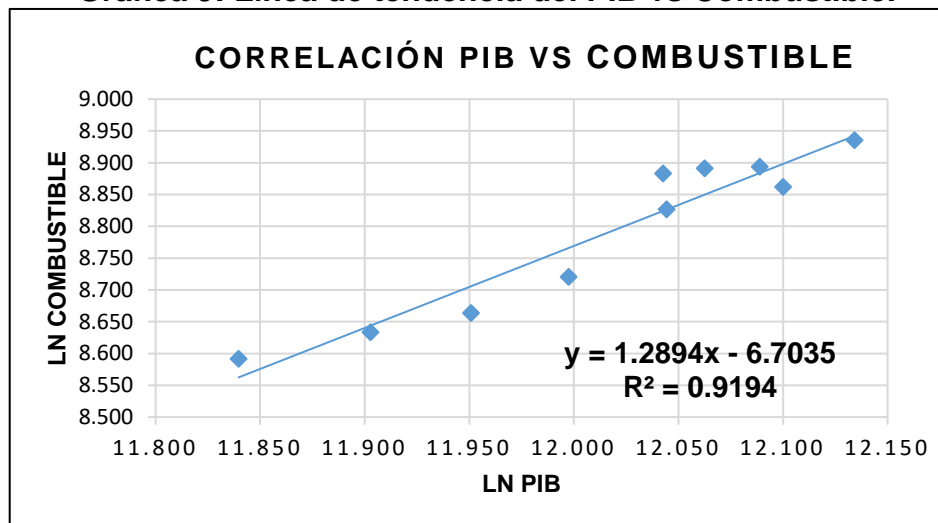
Gráfica 8: Línea de tendencia del PIB vs TPDA EMC 401.



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 8 se concluye que la correlación entre el PIB y el TPDA 401 es del 96.49%, lo que indica que ambas variables están muy relacionadas.

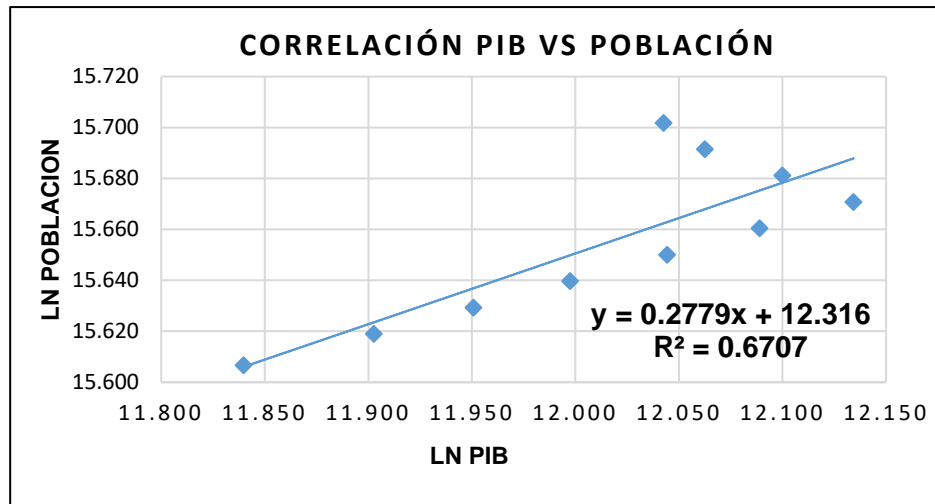
Gráfica 9: Línea de tendencia del PIB vs Combustible.



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 9, se obtiene como resultado una correlación de 95.89% lo que indica que existe una alta relación entre las variables.

Gráfica 10: Línea de tendencia PIB vs Población.



Fuente: Elaboración propia.

Según el resultado del gráfico 10 el PIB y la Población tiene una correlación de 81.90% esto indica que las variables están relacionadas.

2.8.2 Tasa de crecimiento para proyección del tránsito.

La tasa de crecimiento es la que determina básicamente el incremento del tránsito. para determinar la tasa de crecimiento se realizaron correlaciones a las variables vinculadas al tránsito vs PIB de ello se concluye que estas variables presentan una alta relación entre sí.

En la tabla 7 se muestran las variables analizadas para obtener la tasa de crecimiento que permitirá proyectar el tránsito y su coeficiente de correlación.

Tabla 7: Tasas de crecimiento por tipo de variable.

Variable	Coficiente de Correlación	Tasa de Crecimiento (%)
PIB	81.44%	2.51
Consumo de combustible	89.57%	3.72
TPDA Est.101A	66.37%	3.92
TPDA Est.401	81.63%	4.59
Población	99.98%	1.05

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en tabla 7 pág.21 las tasas de crecimiento obtenidas varían de 1.05% a 4.59%.

Según consulta realizada en el MTI con especialistas de la Dirección General de Planificación, se puede realizar la proyección del tránsito utilizando el promedio de las tasas del PIB, Consumo de Combustible, Población y registros históricos de TPDA de estaciones asociadas al tránsito de la vía, siempre que estas estén correlacionadas, por ende, se opta a utilizar una tasa de Crecimiento para tránsito del **3.20%**.

Con la tasa determinada de 3.20%, se realiza la proyección de tránsito a su respectivo período de diseño con la siguiente fórmula.

$$Tn = To (1 + i)^n \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

Tn: Cantidad de vehículos para el año estimado (2042).

To: Tránsito en el año cero (2022).

i: Tasa de crecimiento anual (3.20%).

n: periodo de diseño, **n = 20 años**

En la siguiente tabla 8 se refleja el transito promedio diario anual proyectado al periodo de diseño de la vía.

Tabla 8: Proyecciones TPDA

Proyeccion TPDA 2022 a TPDA 2043 del tramo Pista Larreynaga a Sabana Grande															
Años	Motos	Vehiculos de pasajeros							Vehiculos de carga					Equipo Pesado	TPDA
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus	MnBus	Bus	Liviano	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3	V.C	
					<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 ton.							
2022	822	166	214	93	75	8	38	91	36	54	3	24	17	3	1644
2023	848	171	221	96	77	8	39	94	37	56	3	25	18	3	1696
2024	875	177	228	99	80	9	40	97	38	58	3	26	19	3	1752
2025	903	182	235	102	82	9	42	100	40	60	3	27	19	3	1807
2026	932	188	243	105	85	9	44	103	41	62	3	28	20	3	1866
2027	962	194	251	109	88	9	44	107	42	64	4	29	20	4	1927
2029	993	201	259	112	91	10	46	110	43	66	4	29	21	4	1989
2030	1025	207	267	116	94	10	47	113	45	68	4	30	22	4	2052
2031	1058	214	276	120	96	10	49	117	46	70	4	31	22	4	2117
2032	1092	220	285	123	100	11	50	121	48	72	4	32	23	4	2185
2033	1127	227	294	127	103	11	52	125	49	74	4	33	24	4	2254
2034	1163	235	303	132	106	11	54	129	51	76	4	34	25	4	2327
2035	1200	242	313	136	109	12	55	133	53	79	4	35	25	4	2400
2036	1238	250	323	140	113	12	57	137	54	81	5	37	26	5	2478
2037	1278	258	333	145	117	12	59	141	56	84	5	38	27	5	2558
2038	1318	266	344	149	120	13	61	146	58	87	5	39	28	5	2639
2039	1361	275	355	154	124	13	63	151	60	90	5	40	29	5	2725
2040	1404	284	366	159	128	14	65	156	62	93	5	41	30	5	2812
2041	1449	293	378	164	132	14	67	161	63	96	5	42	30	5	2899
2042	1495	302	390	169	136	15	69	166	66	99	5	44	31	5	2992

Fuente: Elaboración propia.

Se concluye de la tabla 8 que el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) al año de proyección (2042) será de 2,992 vpd en el cual los vehículos más representativos son las motos con 1,495 vpd, las camionetas 390 vpd y vehículo liviano de 2-5 ton con 166vpd.

2.9 Clasificación de la carretera

La SIECA clasifica a las carreteras según su TPDA. Para la vía en estudio el TPDA en el año de proyección 2042 es de 2,992 vehículos por día, por ende, según la tabla 9 la vía se clasifica como **COLECTORA SUBURBANA “CS”**.

Tabla 9: Clasificación funcional de las carreteras regionales, volúmenes de tránsito, número de carriles y tipo de superficie de rodamiento.

TPDA	> 20, 000		20,000 - 10,000		10,000 - 3,000		3,000 - 500	
Clasificación funcional	No. C	Superf.	No. C	Superf.	No. C	Superf.	No. C	Superf.
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.

No. C: Número de carriles; **Superf.:** Superficie de rodamiento; **Pav.:** Pavimento asfáltico o de cemento Portland.

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA. 2004 pág. 87

2.10 Determinación del tránsito de diseño

El tránsito de diseño es la cantidad de vehículos por cada tipo que circulan durante toda la vida útil del proyecto.

2.10.1 Factor Distribución por dirección (LD)

Iturbide 2002 en el **Manual Centroamericano para el Diseño de pavimento** expresa que LD es el factor total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es del 50% o 0.5; ya que la mitad de los vehículos van en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. (cap.3, p.28)

Tabla 10: Factor de distribución por dirección

Número de Carriles en ambas direcciones	LD
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño de pavimento 2002, cap.3, p.28.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 2, página 10 se obtuvo un % de distribución por sentido de 49% de Sabana Grande a Pista Larreynaga y de 51% de Pista Larreynaga a Sabana Grande, por lo cual debido a que estos porcentajes se aproximan al 50% y que el número de carriles para el tramo en estudio en ambas direcciones es 2 se considera un factor direccional del 0.50 para el flujo vehicular en ambas direcciones de acuerdo a tabla 10, pág. 24.

2.10.2 Factor de distribución por carril (LC)

Se define por el carril de diseño que recibe el mayor número de ESAL's. Para camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito en ambas direcciones es proporcional. Para caminos de varios carriles, el diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados circulan en ese carril. (Iturbide, cap.3, pág.29)

Tabla 11: Factor de Distribución por carril

Número de carriles en una sola dirección	LC
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructura de pavimento AASHTO 93

Para el tramo se utilizó un factor de distribución de carril igual a 1 porque presenta un solo sentido direccional en cada carril.

2.10.3 Factor de Crecimiento Anual

Para obtener el tránsito de diseño por tipo de vehículo, se debe calcular el factor de crecimiento que depende del período de diseño (n) en función de la vía a proyectar y la tasa de crecimiento vehicular (i). Cabe destacar que, al diseñar para tráfico pesado, el tráfico liviano tiene poca incidencia en el comportamiento del pavimento.

Ecuación para determinar el valor con el cual se proyectará el tránsito actual:

$$FCA = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365 \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

FCA = factor de crecimiento anual

i = tasa de crecimiento de tránsito

n = periodo de diseño

Solución de la **Ec.7**

Los datos a utilizar son los siguientes: i = 3.20% y n = 20 años

$$FCA = \frac{(1 + 0.032)^{20} - 1}{0.032} * 365 = 10,009.6747$$

$$FCA = 10,009.6747$$

2.10.4 Cálculo de Tránsito de Diseño

Es el volumen de tránsito requerido que circulará en la vía, este establecerá una carga actuante en el pavimento que debe tolerar a lo largo de su vida útil.

Se determina mediante los siguientes factores: factor de crecimiento anual, factor dirección, factor carril y el TPDA. Para efectuar los cálculos del tránsito de Diseño se utilizará la ecuación 8:

$$TD = TPDA * FCA * LD * LC \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

TPDA = Tránsito Promedio Diario Anual Calculado

FCA = Factor de Crecimiento Anual

LD = Factor de Distribución Direccional

LC = Factor de Distribución por Carril

se presenta un ejemplo de aplicación de la **Ec.8** para el caso de los autos:

$TD \text{ autos} = TPDA_{\text{autos}} * FCA * LD * LC$

$TD \text{ autos} = 166 * 10,009.6747 * 0.5 * 1$

$TD \text{ autos} = 830,803$

Los cálculos del tránsito de diseño para los demás vehículos se muestran en la tabla 12:

Tabla 12: Tránsito de Diseño
CÁLCULO DE TRÁNSITO DE DISEÑO (TD)

Tipo de Vehículo	TPDA 2022	FC	LD	LC	TD
Autos	166	10,009.6747	0.5	1	830,803
Jeep	93	10,009.6747	0.5	1	465,450
Camioneta	214	10,009.6747	0.5	1	1,071,035
Micro Bus	75	10,009.6747	0.5	1	375,363
Mini Bus	8	10,009.6747	0.5	1	40,039
Bus	38	10,009.6747	0.5	1	190,184
Camion Ligero	91	10,009.6747	0.5	1	455,440
C2	36	10,009.6747	0.5	1	180,174
C3	54	10,009.6747	0.5	1	270,261
T2S2	3	10,009.6747	0.5	1	15,015
T3S2	24	10,009.6747	0.5	1	120,116
T3S3	17	10,009.6747	0.5	1	85,082
V.C	3	10,009.6747	0.5	1	15,015
Total					4,113,976

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 12 se concluye que el TD total de la vía en análisis es de 4,113,976. También se puede concluir de **Anexos, pág. V, tabla 71** que el porcentaje de TD para vehículo liviano es de 67.64% y para vehículos pesados 32.36%, estos resultados nos indican que los vehículos livianos serán los más transitados por el tramo en estudio durante el periodo de diseño.

Es importante mencionar que en el cálculo de TD de las motos se desprecia, dado que no se considera su peso por eje en el diseño de pavimento, debido a que este es menor de lo que pesa el auto (2,200 lb) por eje. Una vez conocido el tránsito de Diseño, se procede a realizar el cálculo ESAL's de Diseño.

2.11 Cálculo de Esal's de diseño

En 2002, el **Manual Centroamericano para el Diseño de pavimento** Iturbide menciona que:

Las diferentes cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo. Además, diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales responden de diferente manera a una misma carga. Debido a esta diferente respuesta en el pavimento, las fallas serán distintas según la intensidad de la carga y las características del pavimento.

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 del tránsito mixto de los vehículos, esta carga uniformada según AASHTO es de 80 KN o 18 Kips (18,000 Lbs) y la conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga LEF (*load equivalent factor*). (Cap. 3, p.3)

2.11.1 Cargas permisibles por tipo de vehículo

El Ministerio de Transporte e Infraestructura vial MTI de Nicaragua, presenta en tablas las cargas permisibles a partir del vehículo de carga C2 y para vehículos livianos (**Ver anexos, pág. VI tablas 72-73**). es decir, se encuentran clasificados los ejes de los diferentes vehículos, con su peso.

Estos datos que se encuentran en toneladas(ton) se convertirán a Kips para posteriormente conocer el Factor de equivalencia de carga (F. ESAL´s).

2.11.2 Tipos de ejes en los vehículos

- ✓ **Ejes sencillos:** es un eje en cuyos extremos lleva una o dos ruedas sencillas.
- ✓ **Ejes Tándem:** son dos ejes sencillos con rueda doble en los extremos.
- ✓ **Ejes Tridem:** Es aquel que está constituido por tres ejes sencillos con rueda doble en los extremos.

2.11.3 Factor de Equivalencia de Carga (F. ESAL´s)

Son valores numéricos que definen el daño que causa el paso de un vehículo o eje determinado sobre una sección de pavimento. Los factores equivalentes de carga de la AASHTO están tabulados en función de cuatro parámetros: tipo de eje (simple, tándem, tridem), índice de serviciabilidad final (2, 2.5 y 3), carga por eje, y número estructural SN del pavimento.

Conociendo la “Serviciabilidad final cuyo valor es 2.5 para pavimento rígido” según AASHTO, el espesor del pavimento asumido de 7 pulgadas y los pesos (pesos por eje del vehículo en Kips), se adquiere los factores de equivalencia de carga en las tablas de la AASHTO 93, para eje sencillo, doble y triple. (**Ver anexos, pág. VII-IX, tablas 74-76**).

Si la carga permisible no se encuentra en la tabla de valores se realiza una interpolación para obtener el factor equivalente, como se realizó para el caso de los autos con los datos que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13: Datos para conocer factor equivalente de carga del automóvil.

Carga por eje (kips)	factor equivalente de carga
2	0.0002
2.2	x
4	0.002

Fuente: Elaboración propia

Según el resultado de la interpolación, el factor equivalente de carga por eje para el automóvil es 0.00038.

Ecuación del ESAL's de diseño

$$ESAL_{DISEÑO} = TD * F. ESAL'S \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

F. ESAL's = Factor Equivalente de Carga según el peso por eje del vehículo

TD = Transito de Diseño calculado

Se procede a realizar un ejemplo del cálculo de ESAL's de Diseño para el caso de los autos:

$$ESAL_{DISEÑO AUTOS} = TD_{Autos} * F. ESAL's$$

$$ESAL_{DISEÑO AUTOS} = 830,803 * 0.00038$$

$$ESAL_{DISEÑO AUTOS} = 316.$$

El ESAL's por eje para el automóvil es 316, dado que en este caso son dos ejes el valor total es 632.

De la tabla 14, pág. 32 se concluye que el ESAL´s de diseño total de la vía en estudio es aproximadamente **3,012,943** ejes equivalentes. Los vehículos pesados que inciden más en el cálculo del ESAL´s son los siguientes: C3 con el 22.32% y T3S2 con 17.22%. con estos datos podemos apreciar que tipo de vehículo son los que causa mayores daños en la estructura (**Ver anexo, pág. X, tabla 77**).

En el tránsito de diseño el 67.64% de vehículos livianos generan un 2% de los ejes equivalentes y el 32.36% de vehículos pesados representan a un 98% de ESAL´s. Estos datos comprueban que el vehículo liviano tiene poca incidencia en el Diseño.

Tabla 14: ESAL's de diseño

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES (ESAL)						
Espesor de losa propuesto (D)			7pulg	Servicialidad final (Pf)		2.5
Tipo de Vehiculo	W por ejes (libras)	W por ejes (Kips)	Tipo de eje	TD	F. ESAL	ESAL Diseño
Motos	se desprecia					
Autos	2200	2.20	SIMPLE	830,803	0.00038	316
	2200	2.20	SIMPLE		0.00038	316
Jeep	2200	2.20	SIMPLE	465,450	0.00038	177
	2200	2.20	SIMPLE		0.00038	177
Camioneta	2200	2.20	SIMPLE	1,071,035	0.00038	407
	4400	4.40	SIMPLE		0.0038	4070
Micro Bus	4400	4.40	SIMPLE	375,363	0.0038	1426
	8800	8.80	SIMPLE		0.0566	21246
Mini Bus	8800	8.80	SIMPLE	40,039	0.0566	2266
	17600	17.60	SIMPLE		0.9246	37020
Bus	11000	11.00	SIMPLE	190,184	0.139	26436
	22000	22.00	SIMPLE		2.20	418404
Camion Ligero	8800	8.80	SIMPLE	455,440	0.0566	25778
	17600	17.60	SIMPLE		0.9246	421100
C2	11000	11.00	SIMPLE	180,174	0.139	25044
	22000	22.00	SIMPLE		2.20	396383
C3	11000	11.00	SIMPLE	270,261	0.139	37566
	36300	36.30	DOBLE		2.3495	634979
T2S2	11000	11.00	SIMPLE	15,015	0.139	2087
	19800	19.80	SIMPLE		1.468	22041
	35200	35.20	DOBLE		2.09	31380
T3S2	11000	11.00	SIMPLE	120,116	0.139	16696
	35200	35.20	DOBLE		2.09	251043
	35200	35.20	DOBLE		2.09	251043
T3S3	11000	11.00	SIMPLE	85,082	0.139	11826
	35200	35.20	DOBLE		2.09	177822
	44000	44.00	TRIPLE		1.65	140386
V.C	11000	11.00	SIMPLE	15,015	0.139	2087
	19800	19.80	SIMPLE		1.468	22041
	35200	35.20	DOBLE		2.09	31380
Total					3,012,943	

Fuente: Elaboración propia

Capitulo III: Estudio de suelo

3.1 Introducción

Un estudio de suelo nos permite conocer las propiedades físicas y mecánicas, su composición estratigráfica, ubicación del nivel freático, la cimentación y la capacidad de soporte del suelo.

En el tramo Pista Larreynaga a Sabana Grande, se realizaron sondeos manuales para obtener material de suelo representativo del sitio, luego las muestras se analizaron en laboratorio mediante ensayos normados por la AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) y ASTM (*American society for Testing and Materials*), esto con el fin de conocer sus características geotécnicas. También se realizaron pruebas a dos bancos de materiales para su posible uso en el proyecto, con el fin de garantizar la existencia de material satisfactorio disponible para su explotación.

3.2 Trabajo de campo

Consiste en tomar muestras del suelo en el tramo de estudio y los bancos de materiales para posteriormente en laboratorio determinar sus propiedades físicas-mecánicas con el fin de conocer su utilidad en el diseño.

3.2.1 Sondeo en Línea

En el tramo en estudio aproximadamente de 1.3 km se realizaron 13 sondeos del cual se obtuvieron 28 muestras semi - alteradas. El trabajo consistió en ejecutar excavaciones de 30 cm de diámetro por 1.50 m de profundidad, alternadamente a la izquierda, centro y derecha de la vía a una distancia de 100 m de longitud entre perforaciones. **(Ver anexos, pág. XI, figura 35-36)**. Consecutivamente se trasladó el material al laboratorio de suelo para realizar los ensayos correspondientes.

Cabe recalcar que en la estación 1 + 300 no se realizó el sondeo, debido a que en el lugar existía una escorrentía de aguas residuales que impidió realizar la excavación para extraer las muestras. (Ver anexos, pág. II, figura 30)

3.3 Ensayos de laboratorios de suelos

Los ensayos efectuados en laboratorio a las muestras extraídas de los sondeos en línea y bancos de materiales se presentan en la tabla 15. Cabe mencionar que el porcentaje de humedad exclusivamente se les realizó a los especímenes del suelo del sitio en estudio.

Tabla 15: Ensayos de laboratorio

Ensayes	Norma	
	ASTM	AASHTO
Granulometría por tamizado	D – 422	T 27 – 88
contenido de humedad	D - 2216	T- 265
Proctor Estándar	D – 698 – 91	T 99 – 90
Proctor modificado	D – 1557	T - 180
CBR	D – 1883 – 73	T – 193

Fuente: Elaboración Propia

Los materiales del tramo en estudio según el análisis que se realizó manualmente son materiales no plásticos por ende no se efectuó el ensaye de Limites de Atterberg.

3.3.1 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. En la actualidad los métodos más usados para la clasificación de los suelos según sus propiedades físicas - mecánicas son de acuerdo a la norma ASTM y AASHTO.

3.3.1.1 Cálculo de Granulometría

Se tomó una muestra representativa del sitio, se secó 24 horas en horno con temperatura de 100 a 110 °C, luego que está seca, se procede al proceso de cribado pasando el material por el tamiz N°4 para separar el material fino y grueso. Se procede a cribar el material grueso (retiene malla N°4) por cada tamiz que se muestra en la tabla 16 y se pesa cada muestra, obteniendo así el peso retenido para cada tamiz.

Para calcular el % Retenido Parcial se utiliza la siguiente ecuación

$$\% \text{ Retenido Parcial} = \frac{\text{Peso Retenido Parcial}}{\sum \text{Peso Retenido Parcial}} * 100 \quad \text{Ec.10}$$

El peso retenido acumulado se calcula con la siguiente formula:

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = (\%R_{Pn} + \%R_{Pn+1}) \quad \text{Ec.11}$$

$\%R_{Pn}$ = Porcentaje retinido parcial del tamiz correspondiente

R_{Pn+1} = Porcentaje retinido parcial del tamiz consecutivo

Para obtener el % que pasa por el tamiz se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ que pasa el tamiz} = 100\% - \% \text{ Retenido Acumulado} \\ \text{del tamiz correspondiente.} \quad \text{Ec.12}$$

Tabla 16: Granulometría materiales gruesos (sondeo 1, muestra 1)

Análisis granulométrico de materiales gruesos				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
1 1/2"	0.00	0	0	100
1"	0.00	0	0	100
3/4"	25.10	3	3	97
1/2"	51.90	5	8	92
3/8"	38.10	4	12	88
No. 4	98.30	10	22	78
Pasa No. 4	770.30	78	100	0

Fuente: Elaboración Propia

Del material que pasa el tamiz N°4 se toma una "porción no mayor a los 120 gr" según ASTM y se lava en el tamiz N° 200, se deja secando en horno por 24 horas y se realiza el mismo procedimiento de cribado del material grueso, utilizando los tamices de la tabla 17.

Tabla 17: Granulometría materiales finos (sondeo 1, muestra 1)

Análisis Granulométrico del material que pasa el tamiz N° 4 (lavado)				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
10	15.30	10	10	68
40	29.80	20	30	48
200	36.40	25	55	23
PASA No. 200	34.10	23	78	0
SUMA	115.60	78		

Fuente: Elaboración Propia

Se utilizó el software Excel para realizar todos los cálculos necesarios para determinar el análisis granulométrico.

Los resultados del ensaye de granulometría de las muestras restantes se presentan en la tabla 18.

Tabla 18: Resultados de ensaye Granulométrico y clasificación de suelo según AASHTO.

ESTACION	SONDEO Nº	MUESTRA Nº	PROFUND. (m)	% QUE PASA POR EL TAMIZ										CLASIFICACION	
				1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	AASHTO (IG)	DESCRIPCION DEL SUELO	
0+000	1	1	0.00 - 0.85	100	100	97	92	88	78	68	48	23	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena	
		2	0.85 - 1.50	100	97	97	96	95	91	83	69	22	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa	
0+100	2	1	0.00 - 0.30	100	95	94	91	89	81	42	14	3	A - 1 - a(0)	Fragmento de roca, grava y arena	
		2	0.30 - 1.50	100	100	100	100	100	97	92	82	37	A - 4 (0)	Suelo limoso	
0+200	3	1	0.00 - 0.35	100	100	96	93	90	81	72	55	9	A - 3(0)	Material granular arena fina	
		2	0.35 - 1.50	100	94	94	93	92	88	82	62	15	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa	
0+300	4	1	0.00 - 0.35	100	98	98	92	89	78	65	34	9	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena	
		2	0.35 - 1.50	100	100	100	100	100	100	99	88	17	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa	
0+400	5	1	0.00 - 1.50	100	100	98	94	91	81	70	38	13	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena	
0+500	6	1	0.00 - 0.30	100	99	98	96	94	85	71	43	13	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena	
		2	0.30 - 0.90	100	100	100	100	100	99	96	78	24	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa	
		3	0.90 - 1.50	100	100	100	100	100	99	97	77	9	A - 3(0)	Material granular arena fina	
0+600	7	1	0.00 - 0.80	100	100	100	100	99	94	84	52	13	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa	
		2	0.80 - 1.50	100	100	100	100	100	99	98	86	8	A - 3(0)	Material granular arena fina	
0+700	8	1	0.00 - 0.20	100	95	92	88	84	81	76	64	26	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa	
		2	0.20 - 1.50	100	100	100	100	99	98	96	81	13	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa	
0+800	9	1	0.00 - 0.10	100	96	95	94	92	86	78	45	16	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena	
		2	0.10 - 1.20	100	100	100	100	99	97	95	92	57	A - 4 (0)	Suelo limoso	
		3	1.20 - 1.50	100	100	99	96	94	90	85	71	47	A - 4 (0)	Suelo limoso	
0+900	10	1	0.00 - 0.40	100	95	93	92	91	88	83	65	19	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa	
		2	0.40 - 1.50	100	100	99	98	97	92	88	76	47	A - 4 (0)	Suelo limoso	
1+000	11	1	0.00 - 0.30	100	100	99	99	98	96	92	77	58	A - 4 (0)	Suelo limoso	
		2	0.30 - 0.70	100	93	91	90	90	85	75	51	24	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa	
		3	0.70 - 1.50	100	100	100	95	94	86	67	34	12	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena	
1+100	12	1	0.00 - 0.20	100	100	100	96	95	91	87	70	8	A - 3(0)	Material granular arena fina	
		2	0.20 - 1.50	100	100	99	95	92	83	70	39	12	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena	
1+200	13	1	0.00 - 0.25	100	100	99	94	91	80	68	38	7	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena	
		2	0.25 - 1.50	100	100	99	99	98	87	82	64	39	A - 4 (0)	Suelo limoso	

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2 Clasificación de suelo según AASHTO M – 145

Para la clasificación del suelo se utilizó el método de la AASHTO, este método clasifica a los suelos inorgánicos en siete grupos de A-1 a A-7, de acuerdo a su composición granulométrica, su límite líquido y su índice de plasticidad.

A partir de la información del ensayo de granulometría y conociendo que los materiales ensayados son no plásticos (NP), se procedió a ser uso de la tabla 19 de clasificación de suelo en el cual se busca la primera columna de izquierda a derecha que haga que los datos obtenidos de las pruebas de suelo antes mencionado se encuentren dentro de los rangos definidos que establece la AASHTO.

Tabla 19: Clasificación de los suelos

CLASIFICACIÓN AASHTO											
Clasificación general	Suelos Granulares (Máx. 35% pasa el tamiz N° 200)							Suelos Limo Arcillas (Más de 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% que Pasa el tamiz:											
N° 10	50 Max.										
N° 40	30 Max.	50 Max.	51 Min.								
N° 200	15 Max.	25 Max.	10 Max.	35 Max.	35 Max.	35 Max.	35 Max.	36 Min.	36 Min.	36 Min.	36 Min.
Características del material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido (LL)				40 Max.	41 Min.	40 Max.	41 Min.	40 Max.	41 Min.	40 Max.	41 Min.
Índice de Plasticidad (IP)	6 Max.		N.P.	10 Max.	10 Max.	11 Min.	11 Min.	10 Max.	10 Max.	11 Min.	11 Min.
Índice de Grupo	0		0	0		4 Max.		8 Max.	12 Max.	16 Max.	20 Max.
Principales materiales constituyentes	Fragmentos de piedra, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Calidad como terreno de fundación	Excelente a bueno					Regular a malo					
<p>PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACION: Con los datos requeridos y disponibles de prueba, procédase de izquierda a derecha en la carta y, por proceso de eliminación se encontrará el grupo correcto. El primer grupo de la izquierda, en el cual coinciden los datos de las pruebas, será la clasificación correcta.</p> <p>El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que el LL menos 30. (IP≤LL-30)</p> <p>El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que el LL menos 30.(IP>LL-30)</p>											
<p>Índice de Grupo (IG): $(F_{200} - 35) [(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0,01(F_{200} - 15) (IP - 10)]$; F_{200}: % que pasa el tamiz N° 200</p> <p>Índice de Grupo (IG): $0,01(F_{200} - 15)(IP - 10)$; índice de Grupo para los suelos del subgrupo A - 2 - 6 y A - 2 - 7</p>											

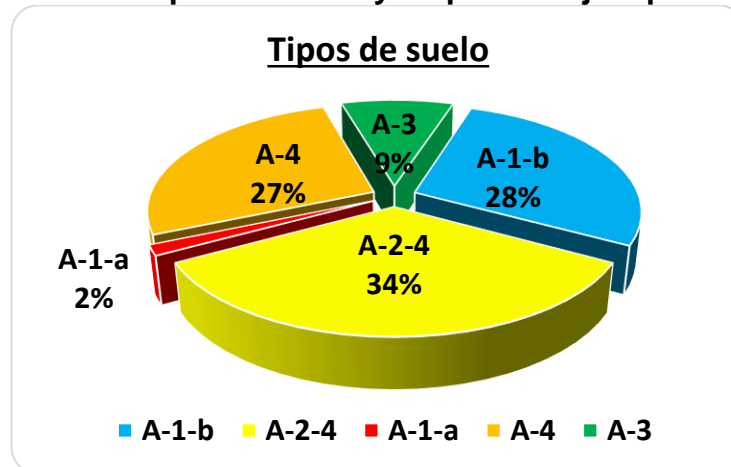
Fuente: Elaboración propia

Los datos puntuales que se utilizaron del análisis granulométrico para la clasificación de suelo según AASHTO son los porcentajes pasantes del tamiz N°10, 40 y 200.

3.3.1.3 Análisis de los resultados del ensayo granulométrico

Las muestras extraídas de los sondeos manuales se clasifican en 5 tipos de suelo según AASHTO y de acuerdo a su granulometría como se muestra en la gráfica 11, además se puede observar el porcentaje que representa cada tipo de suelo.

Gráfica 11: Tipos de suelo y su porcentaje equivalente



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 11 se concluye que el tipo de suelo que más predomina en el sitio en estudio es el A-2-4 equivalente a 34% y A-1-b (28%).

Considerando las diferentes características que muestran estos suelos, se procedió a mezclar todos aquellos que presentan igual tipología para realizar ensayos de Proctor Estándar y *California Bearing Ratio* (CBR).

Es importante mencionar que la granulometría permite obtener un dato preliminar de la calidad del suelo para utilizarse como subrasante, sin embargo, el resultado del CBR es el que define finalmente la calidad del material ensayado.

En base a los resultados obtenidos del ensaye granulométrico y según la tabla de clasificación AASHTO, se concluye que, de los 28 estratos recolectados en los sondeos, 21 son suelos granulares y se encuentran en los grupos A-3, A-1- b y A-2-4. Estos son aquellos que tienen 35% o menos del material fino. El principal material constituyente de estos tipos de suelo son gravas y arenas. Su calidad como subrasante es de excelente a buena.

También se encontraron 6 muestra que son del tipo de suelo A-4, estos son suelos limosos y no plásticos, contiene un 35 % o más de material fino que pasa por el tamiz No 200, su calidad como subrasante es de regular a malo.

El último tipo de suelo es el A-1-a, se encontró en el sondeo N° 2 con espesor de 0.30 m, su calidad como subrasante es de excelente a buena. Debido a que con estas características únicamente se obtuvo un estrato, no se contó con suficiente material para la realización de los demás ensayes.

En tabla 18, pág. 37, se presenta detalladamente los resultados de la clasificación de las muestras ensayadas según AASHTO.

3.3.1.4 Índice de grupo (IG)

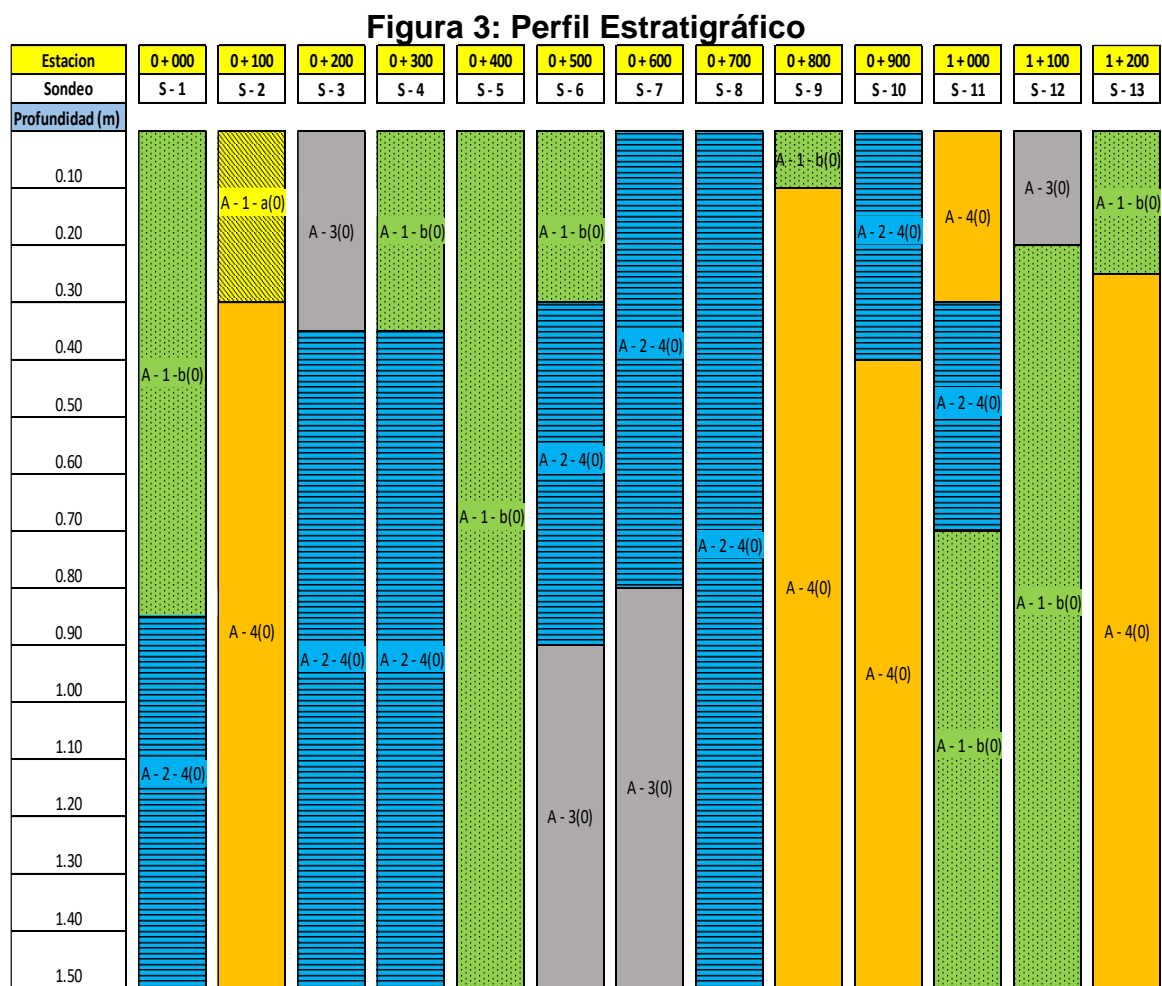
El IG es un valor comprendido entre 0 y 20 que se relaciona con la calidad del suelo. Un suelo de peor calidad tendrá un IG mayor. Este índice es escrito entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo.

Si el suelo no es plástico y no se puede determinar el Límite líquido, entonces el índice de grupo será: $IG = 0$. Este es el caso de los de los suelos A - 1 - a, A - 1 - b, A - 2 - 4, A - 2 - 5 y A - 3, en donde su índice de grupo siempre es cero.

NOTA: Debido a que todas las muestras ensayadas son materiales no plásticos su $IG = 0$. (ver tabla 18, pág. 37)

3.3.1.5 Perfil Estratigráfico

Se realizó un perfil estratigráfico donde se muestran los tipos de suelos y su profundidad como se presenta en figura 3, esto en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos del ensaye de granulometría.



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Contenido de Humedad

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio está apegada a la norma ASTM D 2216, donde establece los procedimientos del ensaye y la cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total a ensayar. **(Ver anexos, pág. XI, tabla 78)**

La ecuación para determinar el contenido de humedad w (%) en el suelo es la siguiente:

$$w(\%) = \frac{(W_{\text{tara}} + W_{\text{suelo húmedo}}) - (W_{\text{tara}} + W_{\text{suelo seco}})}{(W_{\text{tara}} + W_{\text{suelo seco}}) - W_{\text{tara}}} \times 100 \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

W = peso

3.3.2.1 Análisis de los resultados del ensaye Contenido de Humedad

Los resultados del ensaye de contenido de humedad se encuentran en **tabla 20 pág.43**, donde se observa el porcentaje humedad de cada muestra extraída de la línea de sondeo realizada en el tramo de estudio.

Al analizar los resultados obtenidos del ensayo, se aprecia que el porcentaje de humedad de los diferentes tipos de suelo es variable debido a la composición y características de los mismos, ejemplo de ello es que los suelos limosos son los que presentan mayor contenido de agua en comparación con los suelos granulares, esto se debe a que los materiales limosos retienen el agua por más tiempo.

Otra razón de la variación de la humedad en las muestras es porque en algunos sondeos la presencia de humedad era mayor debido al agua que fluye en el tramo por falta de un sistema de drenaje.

Tabla 20: Resultado del Ensayo Contenido de Humedad

No. de sondeo	Estacion	Profundidad (m)	No. de Muestra	Identificación de Tara	Peso de Tara (gr)	Peso de Tara + Material Humedo (gr)	Peso de Tara + Material Seco (gr)	Peso de Material Humedo W_H (gr)	Peso de Material Seco W_S (gr)	% de HUMEDAD
1	0 + 000	0.00 - 0.85	M-1	G - 64	48.70	248.20	225.00	199.50	176.30	13.16
		0.85 - 1.50	M-2	R - 100	54.20	286.20	263.00	232.00	208.80	11.11
2	0 + 100	0.00 - 0.30	M-1	JG1	35.60	321.30	303.50	285.70	267.90	6.64
		0.30 - 1.50	M-2	PI - 03	48.40	281.00	240.30	232.60	191.90	21.21
3	0 + 200	0.00 - 0.35	M-1	B - 50	41.40	381.00	374.60	339.60	333.20	1.92
		0.35 - 1.50	M-2	C - 175	53.90	366.20	351.90	312.30	298.00	4.80
4	0 + 300	0.00 - 0.35	M-1	W - 1	36.90	387.10	368.50	350.20	331.60	5.61
		0.35 - 1.50	M-2	B - 12 - 1	47.50	295.70	263.70	248.20	216.20	14.80
5	0 + 400	0.00 - 1.50	M-1	A - 70	41.30	284.60	264.60	243.30	223.30	8.96
6	0 + 500	0.00 - 0.30	M-1	A - 100	32.00	292.40	266.20	260.40	234.20	11.19
		0.30 - 0.90	M-2	R - 30	53.90	289.00	246.60	235.10	192.70	22.00
		0.90 - 1.50	M-3	E - YO	47.30	294.30	280.20	247.00	232.90	6.05
7	0 + 600	0.00 - 0.80	M-1	32 - A	54.10	292.40	279.80	238.30	225.70	5.58
		0.80 - 1.50	M-2	CH - 13	32.20	273.70	239.90	241.50	207.70	16.27
8	0 + 700	0.00 - 0.20	M-1	P - 12	54.20	297.10	255.30	242.90	201.10	20.79
		0.20 - 1.50	M-2	D - 33	53.60	322.80	303.90	269.20	250.30	7.55
9	0 + 800	0.00 - 0.10	M-1	B - 14	27.60	289.00	273.30	261.40	245.70	6.39
		0.10 - 1.20	M-2	A - 211	29.30	210.90	186.50	181.60	157.20	15.52
		1.20 - 1.50	M-3	K - 30	41.70	290.20	245.80	248.50	204.10	21.75
10	0 + 900	0.00 - 0.40	M-1	A - 12	41.70	290.20	265.80	248.50	224.10	10.89
		0.40 - 1.50	M-2	A - 03	41.20	246.50	204.80	205.30	163.60	25.49
11	1 + 000	0.00 - 0.30	M-1	A - 07	39.90	249.00	201.20	209.10	161.30	29.63
		0.30 - 0.70	M-2	C - 180	52.70	291.40	253.90	238.70	201.20	18.64
		0.70 - 1.50	M-3	T - 1	28.60	339.70	320.20	311.10	291.60	6.69
12	1 + 100	0.00 - 0.20	M-1	CH - M	41.60	316.30	298.20	274.70	256.60	7.05
		0.20 - 1.50	M-2	A - 04	41.70	334.20	310.30	292.50	268.60	8.90
13	1 + 200	0.00 - 0.25	M-1	I - M - R	32.40	286.90	272.20	254.50	239.80	6.13
		0.25 - 1.50	M-2	SR - G	39.90	245.20	191.20	205.30	151.30	35.69

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3 Ensayo de Compactación Proctor

El ensayo Proctor es prácticamente la referencia para el diseño y control de compactación de los suelos. Los métodos usados para determinar la densidad seca máxima y humedad óptima en trabajos de mantenimiento y construcción de carretera son los siguientes: Proctor estándar y Proctor Modificado. La diferencia entre ambos ensayos radica en la distinta energía utilizada, debido a que Proctor modificado tiene mayor peso del pisón y mayor altura de caída del pisón.

Las especificaciones que se deben considerar para la realización de los ensayos Proctor según la norma AASHTO se encuentran en la tabla 21.

Tabla 21: Especificaciones para los Ensayos Proctor

Compactacion	PROCTOR ESTANDAR (AASHTO T-99)				PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Volumen del molde(Cm ³)	943.3	2,124	943.3	2,124	943.3	2,124	943.3	2,124
Diametro del molde(cm)	10.16	15.24	10.16	15.24	10.16	15.24	10.16	15.24
Altura del molde(cm)	11.64				11.64			
Altura de collarin(cm)	5.08				5.08			
Peso del pison(kg)	2.5				4.54			
Altura de caida del pison(cm)	30.48				45.7			
Numero de capas	3				5			
Golpes por capa	25	56	25	56	25	56	25	56
Energia de comp. (kg-cm/cm ³)	6.06	6.03	6.06	6.03	16.49	16.42	16.49	16.42
Tamaño de muestra de prueba (kg)	3	7	5	11	3	7	5	11
Material a compactar	Pasa tamiz No. 4		Pasa tamiz No. 3/4"		Pasa tamiz No. 4		Pasa tamiz No. 3/4"	
Granulometria	40% o menos retenido en tamiz No. 4(Met.B)		30% o menos retenido en tamiz No. 4(Met.D)		40% o menos retenido en tamiz No. 4(Met.B)		30% o menos retenido en tamiz No. 4(Met.D)	

Fuente: Norma de Laboratorio AASHTO (Adaptado por el autor)

3.3.3.1 Proctor Estándar

El método usado para el diseño de la subrasante es AASHTO T - 99 el cual indica de acuerdo a la granulometría del material ensayado, utilizar el método B cuando el 40 % o menos del material son retenidos en el tamiz No. 4.

Para cada tipo de suelo encontrado en el sitio en estudio, se obtuvieron 4 muestras cilíndricas compactadas con igual energía de compactación y haciendo variar únicamente sus humedades se adquirieron diferentes valores de peso específico secos.

Las siguientes ecuaciones son para determinar los valores correspondientes al ensaye Proctor estándar.

- Contenido de Humedad (%W):

$$\%W = \frac{W_{\text{Humedo}} - W_{\text{Seco}}}{W_{\text{Seco}}} \times 100 \quad \text{Ec.14}$$

- Densidad Húmeda (γ_h):

$$\gamma_h = \frac{(W_{\text{Material humedo}} + W_{\text{Molde del cilindro}}) - (W_{\text{Molde del cilindro}})}{\text{Volumen del cilindro}} \quad \text{Ec.15}$$

- Densidad Seca (γ_d):

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \left(\frac{\% \text{Humedad}}{100}\right)} \quad \text{Ec.16}$$

Donde:

w: peso

A continuación, se muestra en la tabla 22 los resultados que se obtuvieron del ensayo Proctor Estándar realizado al tipo de suelo A - 1 - b:

Tabla 22: Tabla de datos (Proctor Estándar)

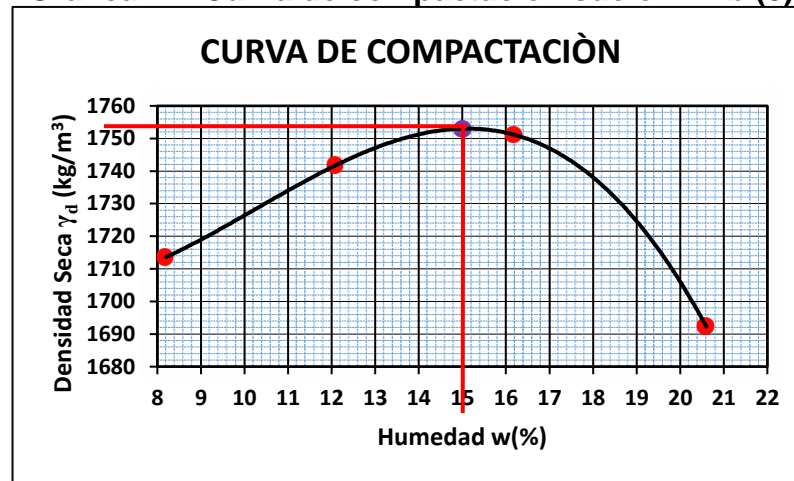
TIPO DE SUELO	A-1-b (0)			
ESPECIMEN	1	2	3	4
% de Agua Propuesta	8	12	16	20
Cantidad de Agua (ml)	360	540	720	900
Volumen del Cilindro (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Peso del Molde Cilíndrico (Kg)	6.616	6.616	6.616	6.616
Peso del Mater. + Molde (Kg)	10.511	10.718	10.888	10.902
Peso del Material (Kg)	3.895	4.102	4.272	4.286
Código de Tara	IP	A - 03	A - 11	K - 30
Peso de Tara (gr)	31.4	41.0	41.1	41.5
Peso Húmedo + Tara (gr)	323.1	322.6	403.1	446.6
Peso Seco + Tara (gr)	300.9	292.1	352.7	377.4
Peso de Material Húmedo (gr)	291.7	281.6	362.0	405.1
Peso de Material Seco (gr)	269.5	251.1	311.6	335.9
% de Humedad	8.2	12.1	16.2	20.6
Peso Volumétrico Húmedo γ_h (Kg/m ³)	1,854.8	1,953.3	2,034.3	2,041.0
Peso Volumétrico Seco γ_d (Kg/m ³)	1,713.6	1,741.8	1,751.1	1,692.3
Densidad Seca Maxima γ_{dmax} (Kg/m ³)	1,753			
Humedad Optimo (%w _{opt})	15			

Fuente: Elaboración propia

Luego se grafican los pesos volumétricos seco en las ordenadas (Y) y los contenidos de humedad en las abscisas (X) para obtener la curva de compactación y de ahí tomar el valor del peso volumétrico seco máximo y la humedad optima los cuales corresponden al punto más alto de la curva, estos valores serán de utilidad para el ensayo de CBR.

En grafica 12 pág. 47 se presenta la curva de compactación para el tipo de suelo A-1-b (0).

Grafica 12: Curva de compactación suelo A-1-b (0)



Fuente: Elaboración propia

3.3.3.2 Análisis de los resultados del ensaye Proctor Estándar

En la gráfica 12 se observa que a medida que aumenta el porcentaje de humedad incrementa la densidad seca hasta que la curva llega a su punto más alto y que para el tipo de suelo A - 1 - b (0) su densidad seca máxima es de **1,753 kg/m³** y el porcentaje de humedad óptimo es el **15%** del peso del material. Según Iturbide 2002 “la humedad óptima es la humedad ideal para que el suelo llegue a su densidad máxima y a su vez alcanza sus mejores propiedades mecánicas”. (cap.4, p.3)

Los resultados y graficas de las muestras restantes se encuentran en anexo **en anexos, pág. XII-XIV tablas 79-81 y gráficas 15-17.**

3.3.4 Relación de soporte de california (C.B.R)

El método CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y 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 del tránsito. (Iturbide, 2002, Cap.4, p.5).

En laboratorio se registraron las lecturas de carga a diferentes niveles de penetración. **(Ver anexos, pág. XV tabla 82)**

Los resultados de estrés (Carga) igual a la que producirá al futuro pavimento, frente a la profundidad de penetración se grafican para determinar el CBR para cada espécimen.

Para cada muestra de suelo, se calcula el valor de CBR para penetración del pistón de (0.1") (2.5mm) y (0.2") (5.0mm) con las siguientes expresiones:

$$CBR_{0.1"} = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patron}} \times 100 \quad \text{Ec.17}$$

$$CBR_{0.2"} = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patron}} \times 100 \quad \text{Ec.18}$$

Los valores de la carga unitaria patrón que deben utilizarse para las ecuaciones Ec.17 y Ec.18 se encuentran en **tabla 23**.

Tabla 23: Valores de la Carga Unitaria Patrón

Penetracion			Esfuerzo Unitario Patron		
Milimetros (mm)	Centimetros (cm)	Pulgadas (Pulg)	Kg/cm ³	Mpa	PSI
2.50	0.250	0.10	70.31	6.90	1,000
5.00	0.500	0.20	105.46	10.30	1,500
7.50	0.750	0.30	133.58	13.00	1,900
10.00	0.100	0.40	161.71	16.00	2,300
12.70	1.270	0.50	182.80	18.00	2,600

Fuente: Guía de laboratorio Mecánica de Suelo I, UNI, 2019, Pág.104.

Según norma ASTM 1883-99. Toda gráfica de CBR se debe corregir cuando la curva no es cóncava hacia arriba. Para obtener las verdaderas relaciones de tensión - deformación. El procedimiento de corrección de la curva de penetración se presenta en **anexos, pág. XV, figuras 37-38**.

3.3.4.1 Análisis de los resultados del ensaye CBR

El ensaye CBR se realizó a cuatro tipos de suelo encontrados según la clasificación de la AASHTO, con el fin de conocer la capacidad de soporte del suelo al 95% de compactación.

Los resultados que se obtuvieron de la prueba de CBR al 95% de compactación para cada tipo de suelo se presentan en la tabla 24:

Tabla 24: Determinación del CBR en laboratorio

Clasificación del suelo según AASHTO	C.B.R al 95%
A - 4	7.8
A - 2 - 4	17.5
A - 1 - b	23.7
A - 3	30.1

Fuente: Elaboración propia

Los datos del ensayo Relación de Soporte de California, realizado a los cuatro tipos de suelo se muestran en **anexos, pág. XVI- XXXI, tablas 83-98** así mismos se presentan las gráficas **gráficas 18-43**.

Según el CBR se clasifica los tipos de suelo, para su uso como subrasante, subbase y base, así como lo indica la tabla 25:

Tabla 25: clasificación y uso del suelo según el valor de CBR

CBR (%)	Clasificación Cualitativa del suelo	Uso
2 - 5	Muy mala	Subrasante
5 - 8	Mala	Subrasante
8 - 20	Regular a buena	Subrasante
20 - 30	Excelente	Subrasante
30 - 60	Buena	Subbase
60 - 80	Buena	Base
80 - 100	Excelente	Base

Fuente: Guía de laboratorio Mecánica de Suelo I, UNI, 2019, Pág.114.

En la tabla 25 se puede observar que los valores del CBR oscilan entre 2% y 100%. Cuando mayor es su valor, mejor es la capacidad portante del suelo y valores de 8% a menos indican que el material es malo para uso de subrasante.

Al establecer una comparación de los resultados de CBR de la subrasante (tabla 24, pág. 49) del lugar en estudio con la tabla 25 pág. 49 que clasifica el uso del suelo según el CBR, se concluye que la calidad del suelo para uso de subrasante en el tramo Pista Larreynaga a Sabana Grande es la siguiente:

El suelo tipo A-3 y A-1-b son excelente, el suelo A-2-4 es regular a bueno y el suelo A-4 su calidad es mala para subrasante, puesto que posee una capacidad portante de 7.8% y según clasificación AASHTO es un suelo limoso, no plástico. La zona más crítica con existencia de este suelo se da en las estaciones 0 + 800 y 1 + 000 con espesor de 0.30 m bajo el nivel de subrasante.

3.4 Estudio de los materiales de bancos de préstamo.

Los materiales de suelo a usarse en el tramo para la subbase (si lo amerita) provienen de dos bancos de materiales de préstamo, los cuales son el “Banco Los Martínez” (material selecto) ubicado al costado Oeste del Barrio las Brisas y el banco “La suburbana” (escoria volcánica u hormigón rojo) ubicado en la Pista Suburbana.

Al igual que en la subrasante se inició los estudios de banco con granulometría hasta llegar a CBR con la diferencia de que se realizó el Proctor modificado.

3.4.1 Análisis granulométrico de los bancos de materiales.

La granulometría es una de las propiedades más característica de un suelo, distinguiéndose al mismo según los tamaños de sus partículas: grava, arena, arcilla y limo.

3.4.1.1 Banco de materiales “Los Martínez”

En la tabla 26 se presentan los resultados obtenidos del ensaye granulométrico (% que pasan los tamices) del material selecto, además se comparan estos resultados con la Norma NIC 2000 para conocer si el material puede ser utilizado para subbase.

Tabla 26: Granulometría banco materiales “Los Martínez”

Tamaño del tamiz		Material selecto (% que pasa)	Porcentaje en peso que pasa el tamiz designado					
			Designacion de la graduacion					
			A	B	C	D	E	F
			Sub-base	Sub-base	base	base	base	superficie
63 mm	2 1/2"	100%	100 (1)					
50 mm	2"	100%	97-100 (1)	100 (1)	100 (1)			
37.5 mm	1 1/2"	100%		97-100 (1)	97-100 (1)	100 (1)		
25.0 mm	1"	99%	65-79(6)			97-100 (1)	100 (1)	100 (1)
19.0 mm	3/4"	98%			67-81(6)		97-100 (1)	97-100 (1)
12.5 mm	1/2"	95%	45-59(7)					
9.5 mm	3/8"	93%				56-70(7)	69-79(6)	
4.75 mm	No.4	78%	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(8)	47-59(7)	41-71(7)
425 µm	No.40	25%	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)	12-28(5)
75 µm	No.200	7%	4.0-8.0(3)	0.0-12.0(4)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	9-16(4)

Fuente: NIC-2000. Sección: 1003.3

De la tabla 26 se concluye que los % que pasan los tamices no cumple con las especificaciones de graduación que exige la NIC-2000, para los materiales a emplearse como agregados de subbase.

En **anexos, pág. XXXII, tabla 99**, se presentan los datos detallados del ensaye de granulométrico del banco los Martínez, de igual manera en **anexos, pág. XXXII, figura 39**, se presenta ilustración del material selecto ensayado.

3.4.1.2 Banco de materiales “La Suburbana”

En la tabla 27, se indican los resultados obtenidos del ensaye granulométrico (% que pasan los tamices) del hormigón rojo, además se comparan estos resultados con la Norma NIC 2000 para conocer si el material puede ser utilizado para subbase.

Tabla 27: Granulometría banco materiales “La Suburbana”

Tamaño del tamiz		Hormigon (% que pasa)	Porcentaje en peso que pasa el tamiz designado					
			Designacion de la graduacion					
			A	B	C	D	E	F
			Sub-base	Sub-base	base	base	base	superficie
63mm	2 1/2"	100%	100 (1)					
50mm	2"	100%	97-100 (1)	100 (1)	100 (1)			
37.5mm	1 1/2"	100%		97-100 (1)	97-100 (1)	100 (1)		
25.0mm	1"	98%	65-79(6)			97-100 (1)	100 (1)	100 (1)
19.0mm	3/4"	96%			67-81(6)		97-100 (1)	97-100 (1)
12.5mm	1/2"	91%	45-59(7)					
9.5mm	3/8"	82%				56-70(7)	69-79(6)	
4.75mm	No.4	56%	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(8)	47-59(7)	41-71(7)
425um	No.40	8%	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)	12-28(5)
75um	No.200	2%	4.0-8.0(3)	0.0-12.0(4)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	9-16(4)

Fuente: NIC-2000. Sección: 1003.3

Puede observarse que el material ensayado cumple con las especificaciones de graduación que exige la NIC-2000 como material a emplearse como agregado de subbase tipo B.

En **anexos, pág. XXXIII, tabla 100** se presenta el análisis granulométrico y en **figura 40**, se presentan ilustraciones del material Hormigón Rojo ensayado.

3.4.1.3 Mezcla de los materiales de banco

A través del ensaye de granulometría realizado a ambos bancos, se determinó que solo uno de ellos cumple por si solo para ser utilizado como material de subbase, por lo que, para mejorar la calidad del material se realizó la mezcla de ambos la cual será distribuida de la siguiente manera: 50% de material selecto y 50% de hormigón rojo. EL análisis granulométrico de la mezcla da como resultado una buena solución para la utilización como material de subbase.

En **anexos, pág. XXXIV, tabla 101** se presenta de manera detallada los datos del ensaye de granulometría, que se obtuvieron de la mezcla de los materiales de banco.

Tabla 28: Granulometría de la mezcla de ambos materiales

Tamaño del tamiz		Mezcla (% que pasa)	Porcentaje en peso que pasa el tamiz designado					
			Designacion de la graduacion					
			A	B	C	D	E	F
			Sub-base	Sub-base	base	base	base	superficie
63mm	2 1/2"	100%	100 (1)					
50mm	2"	100%	97-100 (1)	100 (1)	100 (1)			
37.5mm	1 1/2"	100%		97-100 (1)	97-100 (1)	100 (1)		
25.0mm	1"	99%	65-79(6)			97-100 (1)	100 (1)	100 (1)
19.0mm	3/4"	98%			67-81(6)		97-100 (1)	97-100 (1)
12.5mm	1/2"	96%	45-59(7)					
9.5mm	3/8"	91%				56-70(7)	69-79(6)	
4.75mm	No.4	73%	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(8)	47-59(7)	41-71(7)
425um	No.40	22%	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)	12-28(5)
75um	No.200	6%	4.0-8.0(3)	0.0-12.0(4)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	9-16(4)

Fuente: NIC-2000. Sección: 1003.3

La mezcla de materiales de banco cumple con los requisitos de graduación exigidos para el uso de materiales en subbase tipo B, como se puede observar en la tabla 28.

En la tabla 29, pág. 54 se presenta la clasificación de suelo según AASHTO de los materiales de bancos ensayados.

Tabla 29: Clasificación de suelos de banco.

suelos	% que pasa (Tamiz N° 200)	Clasificación
hormigon rojo	2	A-1-a (0)
Los Martinez	7	A-1-b (0)
Mezcla 50-50	6	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia

Según la clasificación de suelo AASHTO, el hormigón rojo es tipo de suelo A-1-a, el material selecto suelo A-1-b y la mezcla 50% - 50% A-1-b. El porcentaje que pasa por el tamiz No. 200 < 35% lo que significa que son materiales granulares.

3.4.2 Límites de Atterberg y pesos volumétricos de la mezcla.

En tabla 30 se presenta los pesos volumétricos de la mezcla de los materiales de banco, esto con el fin de presentar los datos necesarios para la determinación del volumen tanto de acarreo de materiales como el corte de los mismos que se ejecutarán en cada uno de los bancos correspondientes, estos datos serán útil al momento de ejecutar la obra en el acarreo de los materiales desde su banco.

Cabe recalcar que los materiales de banco ensayados son **no plásticos**, por ello su índice de plasticidad es cero como se indica en la tabla 30.

Tabla 30: Límites de Atterberg y pesos volumétricos de la mezcla.

		SUBBASE
Límite líquido	NP	35 Max
Índice de plasticidad	NP	12 Max
Índice de grupo	0	
Peso volumétrico seco suelto (kg/m ³)	1,310.40	
Peso volumétrico seco compacto (kg/m ³)	1,455.30	

Fuente: Elaboración propia

Según la NIC 2000 para que un material estabilizado mecánicamente pueda ser utilizado como subbase debe cumplir que el límite líquido sea 35 máximo y índice de plasticidad 12 máximo. (p.530)

Las mezclas de materiales de banco son no plásticos, por ende, cumplen con la indicado en la norma NIC 2000, es decir estos materiales pueden ser utilizado como subbase.

3.4.3 Proctor modificado de la mezcla 50% - 50%

Se utilizó Proctor modificado para la mezcla de los bancos de materiales, ya que es el material que se pretende utilizar en el diseño de la subbase si se requiere.

Los valores obtenidos del ensaye Proctor modificado son densidad seca máxima 1,736 kg/m³ y humedad óptima 12.80 %. Estos valores representan la característica adecuada del suelo para obtener un eficiente grado de compactación. (Ver anexos, pág. XXXIV, tabla 102, y, pág. XXXV grafica 44)

3.4.4 Relación de soporte de California (CBR)

Para este ensaye se utilizó la humedad óptima (12.80%) encontrada en el ensaye de Proctor modificado realizado a la mezcla de los bancos.

Tabla 31: Resultado del CBR de la mezcla de los bancos

% de compactación	Valor de CBR %	Densidad Seca Máxima (kg/m3)	Humedad Óptima %
90	35.5	1,736	12.80
95	61.5	1,736	12.80
100	86	1,736	12.80

Fuente: Elaboración propia

La combinación de ambos materiales de bancos en iguales proporciones dio como resultado un valor de CBR de **61.5%** al **95%** de compactación.

Los datos y resultados del ensaye de CBR, además las gráficas obtenidas de la mezcla de los materiales de banco se presentan **en Anexos, pág. XXXV-XXXVIII, tablas 103-106, grafica 45-51.**

La mezcla de los materiales de banco al 95% de compactación se ajusta para ser utilizado como fuente de material para capa de subbase, debido a que su CBR es de 61.5% que es mayor al 40% el cual es el mínimo permitido por la NIC 2000. **(NIC 2000, sección 1003.23, p.530).**

Capitulo IV: Diseño de pavimento

4.1 Introducción

El método de diseño que se utiliza para el diseño de pavimento es AASHTO 93, este asume que un pavimento recién construido comienza a dar un servicio de alto nivel. A medida que transcurre el tiempo, y con él las repeticiones de carga de tránsito, el nivel de servicio baja. El método impone un nivel de servicio final que se debe alcanzar al concluir el periodo de diseño.

En este capítulo se determina los espesores de las diferentes capas de la estructura del pavimento, acorde con las necesidades y condiciones existentes en el sitio. El diseño se realiza con el fin de proporcionar una estructura que cumpla con el objetivo principal de brindar una superficie, sobre la que se pueda desplazar con un nivel de servicio y soporte de cargas adecuado durante un período de diseño determinado.

4.2 Variables a considerar en el método AASHTO 93

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

Para la definición de los espesores se debe en primera instancia, definir ciertas variables de entrada, que se presentan a continuación:

4.2.1 Período de diseño

En el **Capítulo 2, pág. 13-14**, se determinó mediante la SIECA que el periodo de diseño de la vía según el tipo de carretera (colectora Suburbana) es de 20 años.

4.2.2 Ejes simples equivalentes de 80 KN.

En este método se requiere la transformación a ejes simples equivalentes de 80 KN (8.2 Toneladas Métrica o 18,000 libras), los ejes de diferentes pesos que circularán por el pavimento durante su periodo de diseño.

En el **Capítulo 2**, se incluye la **tabla 14, pág. 32**, que muestra que en el tramo en estudio se espera que durante el periodo de diseño se obtenga un total de **3,012,943** ejes equivalentes de **18,000 libras o 8.2 toneladas métricas**.

Según el número de carril de la vía se determina el porcentaje de ejes equivalentes que circula en el carril de diseño, como se muestran en la tabla 32.

Tabla 32: Porcentaje de ejes equivalentes.

Número de carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 80 KN en el carril de diseño
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Fuente:

Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

Debido a que el tramo en estudio tiene un carril por dirección, el porcentaje de ejes equivalente en el carril de diseño es de **100**.

4.2.3 Confiabilidad (R)

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período.

Tabla 33: 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: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad R del **95%**, que corresponde a un valor que se encuentra dentro del rango para una Carretera Colectora Suburbana.

4.2.4 Desviación Estándar (So).

Se identifica como la variación en la predicción del comportamiento de los niveles de servicio del tránsito teniendo en cuenta los errores en la predicción del mismo.

La Guía de Diseño de AASHTO edición 1993, sugiere utilizar para **So** valores comprendidos dentro de los intervalos que se muestran en la tabla 34.

Tabla 34: Valores Desviación Estándar (So)

Tipo de pavimento	Rango (So)
Para pavimentos flexibles	0.40 - 0.50
para pavimento rígidos	0.30 - 0.40

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

El valor de la “desviación estándar **So**”, a utilizar en el diseño será de **0.39** para pavimentos rígido, valor recomendado por AASHTO para tomar en consideración la varianza del tráfico futuro proyectado.

4.2.5 **Serviciabilidad.**

La **Serviciabilidad** de una estructura de pavimento, es la Capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de **Serviciabilidad** se califica entre cero (malas condiciones) y 5 (perfecto). (Iturbide, cap. 7, p.3)

Tabla 35: Escala de Serviciosabilidad.

Índice de Servicio	Clasificación
5	Excelente
4	Muy Bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos 2002.

a) **Serviciabilidad Inicial (Po):** Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo. Los valores recomendados por AASHTO para este parámetro son:

- Para pavimento de Concreto = 4.5
- Para pavimento de Asfalto = 4.2

b) **Serviciabilidad Final (Pt):** La **serviciabilidad final** tiene que ver con la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil.

Los valores de **serviciabilidad Final Pt** recomendados por la AASHTO son 2.0 o 2.5. Cuando la **Serviciabilidad** de la sección alcanza un nivel terminal o mínimo permisible debe ser recarpeteado o reconstruido.

Para el diseño de pavimento rígido se utilizará un **Po** de **4.5** al momento de su construcción y se espera que al cumplir su vida útil se obtenga un **Pt** de **2.5**.

La diferencia entre ambos índices se define como Pérdida de serviciabilidad (**Δ PSI**):

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad \text{Ec.19}$$

$$\Delta PSI = 4.5 - 2.5$$

$$\Delta PSI = 2.0$$

De acuerdo con los datos escogidos se espera que el pavimento Rígido tenga una pérdida de Serviciabilidad (Δ PSI) de **2.0**

4.2.6 Consideraciones de drenaje en el diseño del pavimento.

Un buen drenaje mantiene la capacidad portante de la subrasante (mantiene el módulo de resiliencia cuando la humedad es estable), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas de soporte de menor espesor. (Iturbide,2002, cap.6, p.3)

Iturbide indica que el valor del coeficiente del drenaje está dado por dos variables que son:

- a) La calidad del drenaje, que viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento.
- b) Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje. (2002, cap.7, p.7)

En la tabla 36 se puede apreciar que a medida que la calidad de drenaje aumenta, el tiempo en que se remueve el agua disminuye es decir se definen calidades de drenaje en función del tiempo de drenaje.

Tabla 36: Capacidad del drenaje para remover la humedad.

Calidad del drenaje	Tiempo de drenaje:	
	50% de saturación	85% de 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
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

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

Con la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo en que el pavimento va a estar expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación, se selecciona el coeficiente de drenaje(Cd) llegándose a los valores de la tabla 37.

Tabla 37: Coeficiente de drenaje para Pavimentos Rígidos.

Calidad del drenaje	P= % del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	Menos 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mas 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.1
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.9
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.8
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.7

Fuente:

Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 1,993.

En el diseño se estima que la calidad de drenaje será **bueno** y dado a que en el ensayo CBR se tomaron las condiciones más adversas de saturación (se sumergen las muestras ensayadas en agua por 96 horas) que se puede encontrar en el suelo, el **Cd** a utilizar será **1**.

4.2.7 Transferencia de Carga

También se conoce como **coeficiente de transmisión de carga (J)** y es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir las fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objetivo de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento. Mientras mejor sea la transferencia de cargas, mejor será el comportamiento de la losa del pavimento.

La efectividad de la transferencia de carga entre las losas adyacentes depende de varios factores:

- a) Cantidad de tráfico
- b) Utilización de pasajuntas
- c) Soporte lateral de las losas

La utilización de pasajuntas es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas, por lo que se recomienda su utilización cuando:

- El tráfico pesado sea mayor al 25% del tráfico total.
- El número de ejes equivalentes de diseño sea mayor de 5.0 millones de ESAL's.

Esta Transferencia de carga se realiza a través de los extremos de las losas (juntas o grietas) y su valor depende del tipo de pavimento del tipo de borde u hombro y de la colocación de los elementos de transmisión de carga.

En la tabla 38 se establecen rangos del coeficiente de transmisión de carga para diferentes condiciones:

Tabla 38: Valores de Coeficiente de transmisión de carga (J).

		Hombro	
		Elemento de transmisión de carga	
		Concreto hidráulico	
Tipo de Pavimento	SI	No	
No reforzado o reforzado con juntas	2.5 - 3.2	3.6 - 4.2	
Reforzado continuo	2.3 - 3.9		

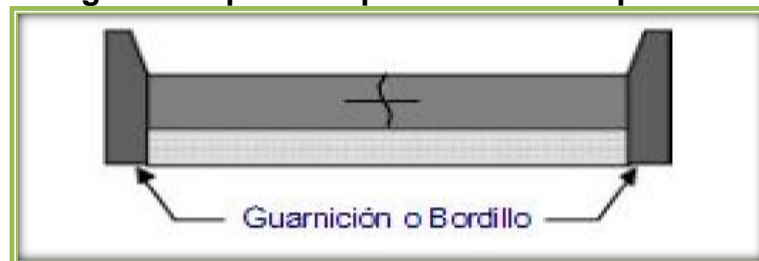
Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

El tráfico pesado en el tramo representa el **16% (Carga 14%, Pasajeros 2%)**, del tráfico total y el ESAL's de diseño total de la vía es **3,012,943** por ende, no se cumple con los requisitos para la utilización de pasajuntas que indican que: el tráfico pesado sea mayor al **25%** del tráfico total y el ESAL's sea mayor de **5 millones**.

Por lo antes expuesto se determina que el tipo de pavimento a diseñar es de losas sin refuerzo, es decir, sin el empleo de pasadores (dovelas o pasajuntas) en las juntas transversales y con borde protegido mediante la construcción de hombros, el valor de **J** a usar es de **3.20**.

Según la AASHTO en pavimento de concreto simple sin pasadores, debido a que no se utiliza pasajuntas, la forma de transferir las cargas entre las losas es mediante la trabazón de los agregados que se da en la grieta generada debajo del corte de la junta.

Figura 4: Tipo de Soporte Lateral Propuesto.



Fuente: Elaboración propia

4.2.8 Propiedades del Concreto.

Son dos las propiedades del concreto que influyen en el diseño de un pavimento de concreto y en su comportamiento a lo largo de su vida útil:

- a. Resistencia a la tensión por flexión (**S'c**) o Módulo de Ruptura (**MR**).
- b. Módulo de Elasticidad del Concreto (**Ec**).

4.2.9 Módulo de Ruptura (MR) del concreto.

El MTI (2008) en el Manual para la revisión de diseño de pavimentos expresa que 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. En Pavimentos de Concreto Hidráulico se exige: “**MR ≥ 40 kg/cm² y f'c ≥ 280 kg/cm²**”. (p. 73)

El valor de la resistencia a la compresión del concreto (f'c) seleccionado para este diseño es de **4,000 PSI** o **281 kg/cm²**, cuyo valor permite considerar una resistencia adecuada a las características del concreto proporcionado en el país, además permite utilizar un valor considerable de la resistencia a la flexión por tensión.

NOTA: 1 kg/cm² = 14.223 PSI (Lb/ pulg²)

Conociendo el **f'c** del concreto de **4000 Psi**, el Módulo de Ruptura (**MR**), se calcula con la siguiente ecuación proporcionada en la guía AASHTO:

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

Ec. 20

Donde el valor de C varía entre 7.5 y 12. La AASHTO para Diseño de pavimento rígido recomienda utilizar un valor de 10.

En donde:

MR = Módulo de Ruptura del concreto, PSI.

f'c = Resistencia a compresión, PSI.

Solución de la EC 20

$$\mathbf{MR} = 10 \times \sqrt{f'c}$$

$$\mathbf{MR} = 10 \times \sqrt{4000}$$

$$\mathbf{MR} = 632.46 \text{ PSI} \quad \bullet \quad 44.47 \text{ kg/cm}^2$$

MR = 44.47 kg/cm² > **40 kg/cm²** ok Cumple

Para el presente diseño se obtuvo un módulo de ruptura (**MR**) de **632.46 psi**.

4.2.10 Módulo de Elasticidad del Concreto de la losa (Ec).

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Para su determinación podemos recurrir a la siguiente formula:

$$\mathbf{Ec} = 57,000 \times \sqrt{f'c}$$

Ec. 21

En donde:

EC = Módulo de Elasticidad del concreto, PSI.

f'c = Resistencia a compresión, PSI.

$$\mathbf{Ec} = 57,000 \times \sqrt{4000}$$

$$\mathbf{Ec} = 3,604,996.53 \text{ psi}$$

Para el presente diseño se obtuvo un módulo de Elasticidad (**Ec**) de 3,604,996.53 psi equivalente a **253,462.46 Kg/cm²**.

4.2.11 Selección del CBR de diseño

Se presentarán dos cálculos para el CBR de Diseño. El primero es totalmente de la subrasante (40 cm de espesor) la cual la conforman cuatro tipos de suelo que son el A - 4, A - 2 - 4, A - 1- b, A - 3. El segundo corresponde a un ajuste o variante del diseño ya que incluye la sustitución del material A - 4 por 40 cm de la mezcla 50/50 de material de banco, esto con el objetivo de que, al finalizar los cálculos, valorar la comparación en la variación de los espesores de losa.

Cabe mencionar que en la estación 0 + 100 se encuentra el suelo A - 1 - a, el cual no se realizó el ensayo de CBR, por lo tanto, a este tipo de suelo, se colocara el valor de CBR del suelo A - 1 - b de 23.7% esto se considera ya que, para ambos tipos de suelo según la clasificación de suelo AASHTO su uso como subrasante es de excelente a buena.

Tabla 39: Clasificación de suelo y CBR de la subrasante.

Estación	Suelo Subrasante (original)		Suelo haciendo uso de la sustitución del A - 4	
	Clasificación	CBR (%)	Clasificación	CBR (%)
0 + 000	A-1-b	23.7	A-1-b	23.7
0 + 100	A-1-b	23.7	A-1-b	23.7
0 + 200	A-3	30.1	A-3	30.1
0 + 300	A-1-b	23.7	A-1-b	23.7
0 + 400	A-1-b	23.7	A-1-b	23.7
0 + 500	A-1-b	23.7	A-1-b	23.7
0 + 600	A-2-4	17.5	A-2-4	17.5
0 + 700	A-2-4	17.5	A-2-4	17.5
0 + 800	A-4	7.8	A-1-b	61.5
0 + 900	A-2-4	17.5	A-2-4	17.5
1 + 000	A-4	7.8	A-1-b	61.5
1 + 100	A-3	30.1	A-3	30.1
1 + 200	A-1-b	23.7	A-1-b	23.7

Fuente: Elaboración propia

El criterio que se utiliza para seleccionar el CBR adecuado es el establecido por Instituto de Asfalto que recomienda tomar un valor total que es el 60%,75% o el 87.5% de los valores individuales que sean mayores o iguales que él, de acuerdo con el tránsito que se espera que circule por el pavimento, tal como se indica en la tabla 40:

Tabla 40: Criterio del Instituto de Asfalto para determinar CBR de Diseño.

Cargas Equivalentes Totales (ESAL's)	Percentil de Diseño (%)
< de 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's	75
> de 1,000,000 ESAL's	87.5

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 1,993.

En el estudio de tránsito se determinó el ESAL's el cual corresponde a **3,012,943** Por lo tanto, el valor Percentil que se utilizará con respecto a la tabla 40 es de **87.5%**.

En la tabla 41 se reflejan los valores de CBR del suelo de la subrasante original, se ordenan de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores igual o mayores de cada uno.

Tabla 41: Valores para determinar CBR de Diseño de subrasante original.

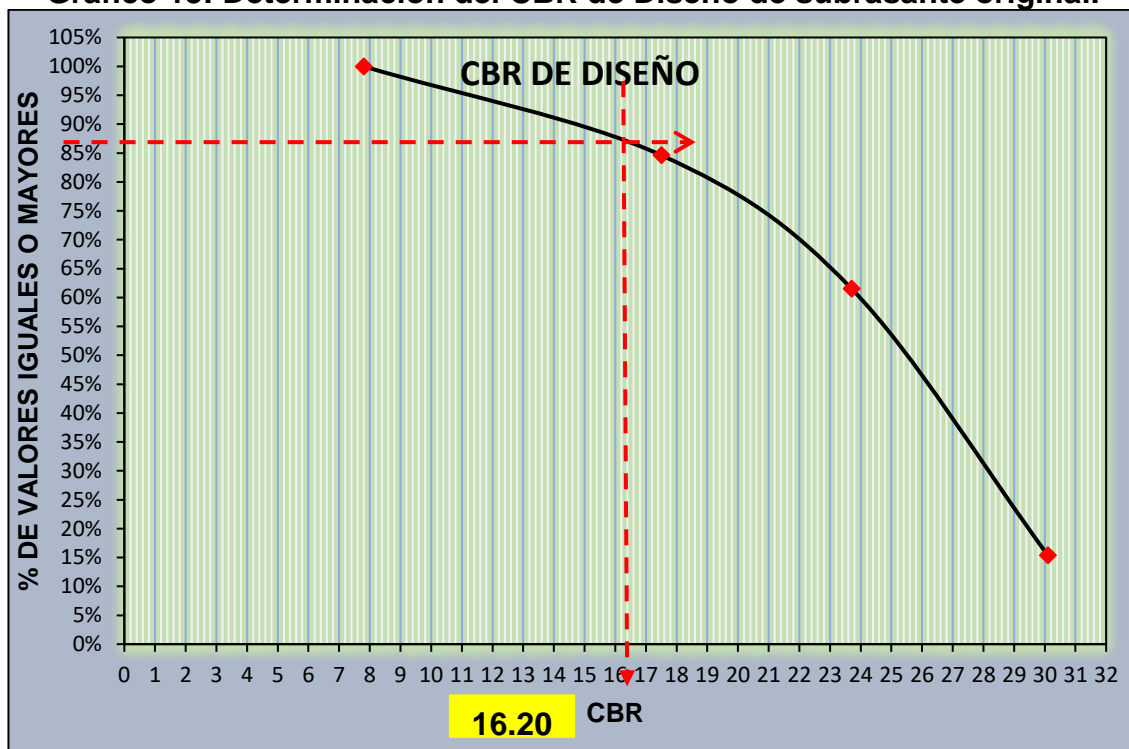
Tipo de suelo	CBR	Frecuencia	N° de valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
A - 4	7.8	2	13	100%
A - 2 - 4	17.5	3	11	84.62%
A - 1 - b	23.7	6	8	61.54%
A - 3	30.1	2	2	15.38%
		$\Sigma = 13$		

Fuente: Elaboración propia

Se procede a realizar lo siguiente pasos para determinar el CBR de Diseño:

1. Con los valores obtenidos del CBR y el porcentaje de valores iguales o mayores se realizará la gráfica para la determinación del CBR de diseño para la subrasante original.
2. De acuerdo a la curva resultante se determinará el CBR para el percentil elegido que para este caso es el 87.5% de acuerdo a la tabla 40 pág. 68.

Gráfico 13: Determinación del CBR de Diseño de subrasante original.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se puede observar que el resultado del CBR de diseño para la subrasante original es de **16.20**. Se asume que este porcentaje se establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados, de los sondeos de línea.

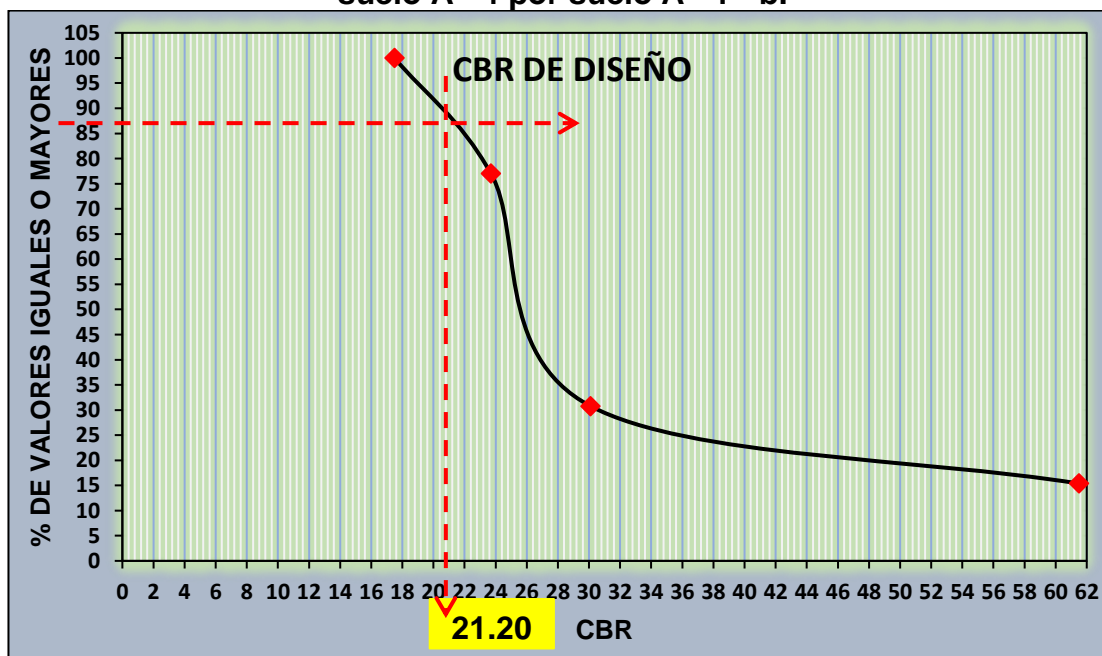
A continuación, se procede a calcular el CBR de diseño en el caso donde se sustituyó el material A - 4 por material de banco (A - 1 - b), realizando el mismo procedimiento que se realizó para obtener el CBR de diseño de la subrasante original.

Tabla 42: Valores para determinar CBR de Diseño donde se incluye la sustitución de suelo A - 4 por suelo A - 1 - b.

Tipo de suelo	CBR	Frecuencia	N° de valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
A - 2 - 4	17.5	3	13	100%
A - 1 - b	23.7	6	10	77%
A - 3	30.1	2	4	30.77%
A - 1 - b (mezcla)	61.5	2	2	15.38%
		$\Sigma = 13$		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14: Determinación del CBR de Diseño que incluye la sustitución de suelo A - 4 por suelo A - 1 - b.



Fuente: Elaboración propia

Claramente se observa en el gráfico 14 el aumento del CBR de **16.20** a **21.20** con la sustitución de 40 cm de espesor del suelo A - 4 por la mezcla 50/50 de material de banco, estos datos se utilizan en el siguiente capítulo del cálculo del espesor de losa.

4.2.12 Módulo de reacción de la subrasante (k) de diseño.

La capacidad de soporte del suelo 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 se estima por correlación con pruebas más sencillas con el CBR.

En esta sección se realizarán dos cálculos del módulo de reacción según los CBR de diseño. El primero incluye a la subrasante original y el segundo valoramos la sustitución del suelo A - 4 por la mezcla 50/50.

4.2.12.1 Módulo de reacción de la subrasante Original.

Con un CBR de diseño de 16.20 % y haciendo uso de la correlación mostrada en **en Anexos, pág. XXXIX, figura 41**, el valor del módulo de reacción k de la subrasante es aproximadamente de 237.25 pci o 65 Mpa/m.

Utilizando en **Anexos, pág. XXXIX, tabla 107** además conociendo el k del suelo (237.25 pci) se procedió a interpolar para determinar el incremento del módulo de reacción, con un “espesor de subbase propuesto de 6 pulgadas” Iturbide indica que este dato puede utilizarse para tipo de subbase granular.

De la interpolación se obtuvo el módulo de reacción compuesto por efecto combinado de subrasante y subbase de **267.25 pci** o **73.21 Mpa/m**. (**Ver anexos, pág. XXXIX, tabla 108**)

Nota: 1 Mpa/m equivale a 3.65 Pci

4.2.12.2 Módulo de reacción de la subrasante incluyendo la sustitución del suelo A - 4 (40 cm de profundidad) con materia de banco.

Si se prescinde de la colocación de una subbase y se sustituye el suelo A - 4 por la mezcla 50/50 de material de banco, el CBR de la subrasante aumenta a 21.20% por lo tanto el valor k es 262.8 pci o 72 Mpa/m igualmente obtenido con la correlación.

4.3 Cálculo del espesor de la losa

En este trabajo monográfico se utilizará el programa WinPAS 12 (*Pavement Analysis Software*) para determinar el espesor de losa de pavimento rígido.

Se realizó el cálculo del espesor de la losa de tres maneras: sin subbase granular ($K= 237.25$ pci), proponiendo una subbase granular de 6 pulgadas ($K=267.25$ pci), y por último con subrasante mejorada sustituyendo el tipo de suelo A - 4 por material de banco ($k =262.8$ pci). Esto con el fin de analizar los resultados obtenidos y elegir la opción que permita una superficie de rodamiento segura y más económica.

4.3.1 Programa WinPAS 12 (*Pavement Analysis Software*).

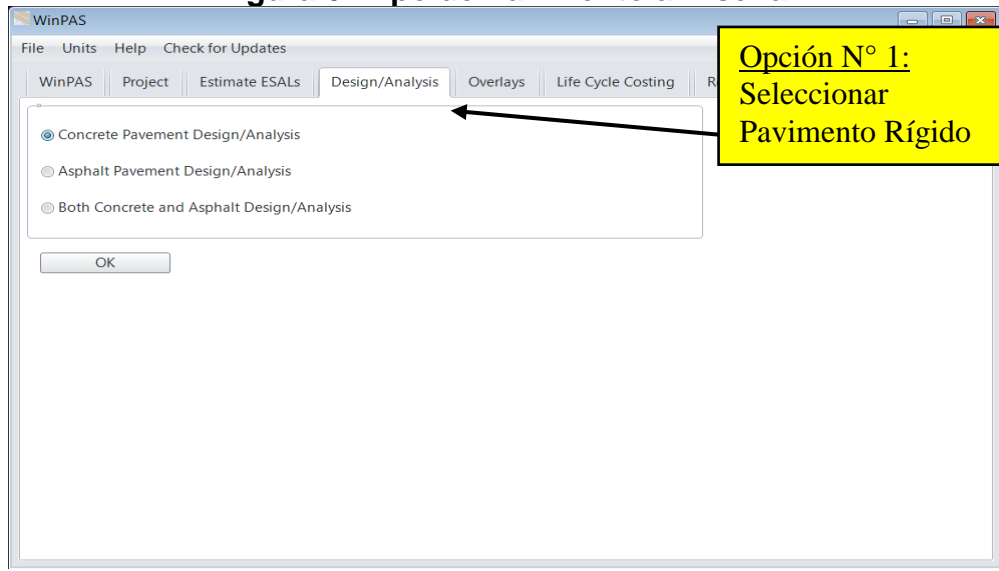
Para determinar el espesor del pavimento rígido mediante el programa WinPAS (*Pavement Analysis Software*, versión 12) (**Ver pág. 73, figura 5-6**), se utilizaron las variables que se presentan en la **tabla 43, pág. 74**.

Figura 5: Interfaz del programa WinPAS 12.



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

Figura 6: Tipo de Pavimento a Diseñar



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

Tabla 43: Datos Para Utilizar en WinPAS 12.

Datos Para Utilizar en WinPAS 12.	
Número de Ejes Equivalentes (ESAL's)	3,012,943
Confiabilidad (R)	95%
Desviación Estándar (So)	0.39
Capacidad de Servicio Inicial (Po)	4.5
Capacidad de Servicio Final (Pt)	2.5
Coeficiente de Drenaje (Cd)	1
Coeficiente de transmisión de carga (J)	3.2
Módulo de Ruptura (S'c).	632.46 PSI
Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec)	3,604,996.53 PSI
Módulo de reacción (K) de la subrasante	237.25 pci

Fuente: Elaboración propia

Para el tramo Pista Larreynaga a Sabana Grande se realizaron tres cálculos de espesor con el programa **WinPAS**, en base a los valores de k antes calculado, se obtuvieron los siguientes resultados:

- El módulo de reacción del suelo incluyendo la sustitución del suelo A - 4 con material de banco es de 262.8 pci y el espesor de losa según WinPAS es 8.66 Pulg como se puede observar en pág. 75-76 figura 7-8.
- Si el espesor de losa no llevara subbase y se mantiene la subrasante original $K = 237.25$ pci, según WinPAS el espesor de losa es de 8.72 Pulg (**Ver Anexos, pág. XL-XLI, figura 42-43**)
- Si se propone una subbase de 6 Pulg, $K = 267.25$ pci, según los resultados del programa el espesor de la losa es de 8.65 Pulg (**Ver Anexos, pág. XLII-XLIII, figura 44-45**)

Figura 7: Introducción de Datos de Diseño (k = 262.80)

The screenshot displays the 'Concrete Pavement Design' software interface. It features two main sections: 'Concrete Pavement Design/Analysis Inputs' and 'Concrete Pavement Design/Analysis'. The 'Inputs' section contains several fields with numerical values and units: Concrete Thickness (6.00 inches), Total Rigid ESALs (3,012,943), Reliability (95.00 %), Overall Standard Deviation (0.39), Flexural Strength (632.5 psi), Modulus of Elasticity (3,604,997.0 psi), Load Transfer Coefficient (3.20), Modulus of Subgrade Reaction (262.8 psi/in.), Drainage Coefficient (1.00), Initial Serviceability (4.50), and Terminal Serviceability (2.50). A yellow callout box points to the 'Concrete Thickness' field with the text 'Espesor de Losa Propuesto'. The 'Analysis' section shows a warning message: 'Warning! Input Value Changed, Press Solve For to Recalculate', with a 'Solve For' button. A second yellow callout box points to this button with the text 'Presionar Solve For para recalcular el espesor de losa.' On the right side of the interface, there are 'Save and Close' and 'Help' buttons.

Parameter	Value	Unit
Concrete Thickness	6.00	inches
Total Rigid ESALs	3,012,943	
Reliability	95.00	%
Overall Standard Deviation	0.39	
Flexural Strength	632.5	psi
Modulus of Elasticity	3,604,997.0	psi
Load Transfer Coefficient	3.20	
Modulus of Subgrade Reaction	262.8	psi/in.
Drainage Coefficient	1.00	
Initial Serviceability	4.50	
Terminal Serviceability	2.50	

Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

Figura 8: Espesor requerido (D) según WinPAS.

Concrete Pavement Design/Analysis Inputs		
Concrete Thickness	8.66	inches
Total Rigid ESALs	3,012,943	
Reliability	95.00	%
Overall Standard Deviation	0.39	
Flexural Strength	632.5	psi
Modulus of Elasticity	3,604,997.0	psi
Load Transfer Coefficient	3.20	
Modulus of Subgrade Reaction	262.8	psi/in.
Drainage Coefficient	1.00	
Initial Serviceability	4.50	
Terminal Serviceability	2.50	

Concrete Pavement Design/Analysis

Concrete Thickness: 8.66 inches

Solve For

Save and Close

Help

Espesor de Losa Requerido (D) según WinPAS es de 8.66 Pulg.

Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

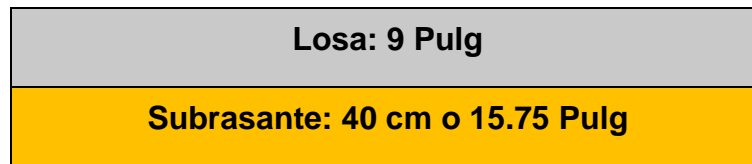
4.3.2 Interpretación de resultados de los espesores de losa.

Según los tres valores de K se obtuvieron los siguientes espesores de losa: 8.72 Pulg 8.65 Pulg, y 8.66 Pulg lo que da valores con una diferencia mínimas, es decir aunque se considere utilizar material de banco para subbase o para mejoramiento del suelo A - 4 el espesor de losa es literalmente el mismo, por lo tanto se decide no utilizar subbase ya que los costos de construcción se reducen al prescindir de esta y se considera mejorar el suelo donde se requiere con material de banco para incrementar la capacidad de soporte del suelo.

Finalmente, el espesor de la losa del tramo en estudio es 8.66 Pulg (mejoramiento de suelo A - 4), se tomará 9 Pulg para obtener una mejor precisión en su construcción. La junta de transferencia de carga entre las losas es por medio de trabazón apoyada sobre la subrasante; con hombros de concreto hidráulico que confinan la superficie de rodadura.

El suelo en el lugar de estudio según los análisis del capítulo tres en su mayoría puede ser utilizado como uso de subrasante a excepción del suelo tipo A – 4 donde se recomienda sustituirlo por material de banco.

Figura 9: Estructura de pavimento Rígido.



Fuente: Elaboración propia

4.4 Modulación de la losa de Concreto.

La modulación de losas se refiere a definir la forma que tendrán los tableros de losas del pavimento.

Existe una regla práctica que nos permite dimensionar los tableros de losas para inducir el agrietamiento controlado bajo sus cortes sin necesidad de colocar acero de refuerzo continuo:

$$\text{SJT} = (21 \text{ a } 24) D$$

Ec.22

Donde:

SJT = Separación de Junta Transversal ($< = 5.0$ m)

D = Espesor del Pavimento (9 pulgadas ≈ 0.23 m).

$$\text{SJT} = 21(0.23 \text{ m}) = 4.83 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$$

$$\text{SJT} = 21(0.23 \text{ m}) = 5 \text{ metros. } \checkmark \text{ Cumple.}$$

Las recomendaciones para utilizar los valores 21 y 24 dependen de cómo la losa se agarra al material que estará por debajo. Sin embargo, se utilizará el valor 21 porque las uniones son cortas y existe mayor seguridad.

La otra dimensión relacionada con la modulación de losas es la separación de juntas longitudinales. La forma ideal de un tablero de losa es la cuadrada, debido a que el actual ancho de carril de la vía se encuentra ya definido en **5 metros**, se considera un tablero cuadrado que cumple con la condición de diseño. De lo anterior obtenemos las siguientes dimensiones del tablero para el tramo en estudio.

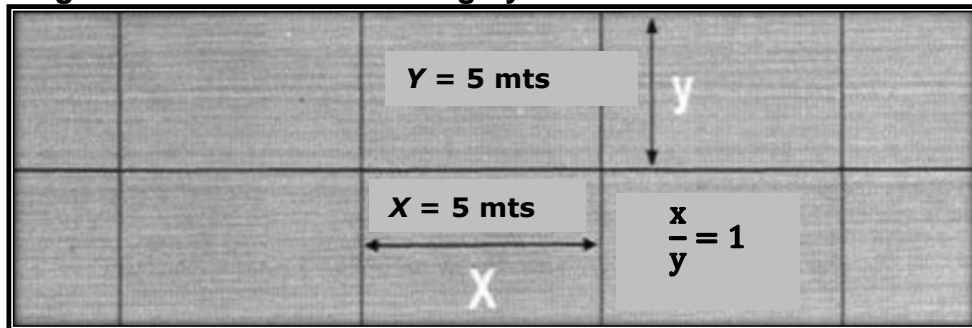
Tabla 44: Dimensiones de tablero.

Tramo	Largo (metros)	Ancho (metros)	Espesor (metros)
1.3 kilómetro de Concreto Hidráulico Tramo Pista Larreynaga a Sabana Grande	5	5	0.23

Fuente: Elaboración propia

La relación entre largo (**L = 5 metros**) y ancho (**A = 5 metros**) de un tablero de losas no deberá estar fuera de los límites 0.71 a 1.4 este rango es recomendado por la **Asociación de Cemento Portland**. Cabe mencionar que la Guía de Diseño de Pavimento de la AASHTO recomienda menor de 1.25. En la modulación de losa la relación del tablero da como resultado: **$0.71 \leq 1 \leq 1.4$** .

Figura 10: Relación entre largo y ancho de un tablero de losa.



Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Diseño de Juntas.

Debido a los cambios volumétricos que por su naturaleza experimenta el concreto y los sistemas constructivos de los pavimentos rígidos, se hace necesaria la construcción de juntas y/o uniones entre paños o losas de un pavimento.

De acuerdo a las especificaciones para la colocación de juntas (**Ver Anexos, pág. XLIV, tabla 109**), se establece para un espesor de **9 pulgadas** (23 cm) los siguientes dimensionamientos:

El espaciamiento entre juntas (Columna 1), resultando **552 cm**.

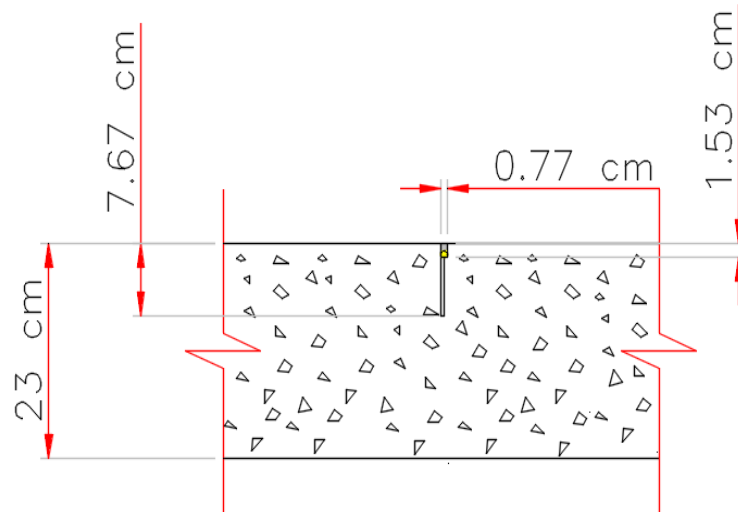
La profundidad de corte de la junta (Columna 2), resultando **7.67 cm**.

La profundidad del material de sellado (Columna 3), resultando **1.53 cm**.

El Ancho del corte para la junta (Columna 4), resultando **0.77 cm**.

En la figura 11 se muestra las dimensiones de la colocación de juntas.

Figura 11: Detalle para colocación de juntas



Fuente: Elaboración propia.

4.5 Método de losas cortas utilizando el software Nyslab

La tecnología de diseño y construcción de losas cortas, dimensiona éstas de forma tal que ellas nunca sean cargadas por más de un set de ruedas del camión, logrando con esto disminuir significativamente las tensiones en dicha losa (Covarrubias).

Losas cortas son losas de dimensiones menores a las convencionales en pavimentos rígidos, que al reducir su dimensión y distribuir las cargas en varias losas, genera también una reducción del espesor de las mismas.

Actualmente, se cuenta con software que facilita el cálculo de esfuerzos a los que se somete una losa, tal es el caso del programa *New York Slab* (NYSLAB), que analiza en base al método de Elementos Finitos (o losas cortas).

NYSLAB es un software diseñado para analizar pavimentos de Concreto de Cemento Portland (PCC, por sus siglas en inglés), los cuales están articulados bajo distintos tipos de condición de carga, bases y gradientes térmicos.

Posee una Interfaz gráfica fácil de usar, permite la introducción de datos, además de un modelo de análisis por elementos finitos integrado que calcula los esfuerzos para pavimentos rígidos, desarrollados en Matlab ®. Las gráficas de los esfuerzos se pueden visualizar en cualquier punto de la losa.

Los beneficios de obtener losas con geometrías optimizadas son los siguientes:

- La optimización del espesor del pavimento según Covarrubias genera ahorros importantes en el costo inicial del pavimento.
- La fuerza que produce el alabeo depende del largo de la losa por lo tanto losas pequeñas tienen menos alabeo.
- Debido a que la losa fue diseñada de tal manera que no más de un set de rueda cargue la losa, se reducen las tensiones máximas permitiendo una vida útil más larga y una reducción en el espesor respecto a la losa convencional de AASTHO lo que permite tener un diseño de pavimento duradero y de bajo costo según Covarrubias.

4.5.1 Análisis estructural y optimización de espesor de la losa por el método de losas cortas con ayuda del software Nyslab.

El criterio fundamental para realizar la optimización del espesor de losa que resultó del diseño mediante AASHTO versión 1993, es el siguiente:

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 (teoría de Clemmer). De tal manera que se realizó una serie de iteraciones con diferentes espesores hasta determinar el espesor ideal que cumpla con el criterio fundamental de optimización.

A continuación, se presentan las variables de entrada del programa que se utilizan para determinar el espesor optimizado.

4.5.1.1 Pestaña de Información

En el programa inicialmente se introducen los datos generales del proyecto tales como: Ubicación, nombre del proyecto, fecha, entre otros datos como se presenta en la **figura 12**.

Figura 12: Pestaña de Información de Proyecto.

Project Information		Site Identification	
Location	MANAGUA, DISTRITO VI	Station / Milepost Format	Miles: 0.000
Project ID	PISTA LARREYNAGA A SABANA A GRU	Station / Milepost Begin	0+000
Date	01/06/2022	Station / Milepost End	1+300
		Traffic Direction	North Bound

Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

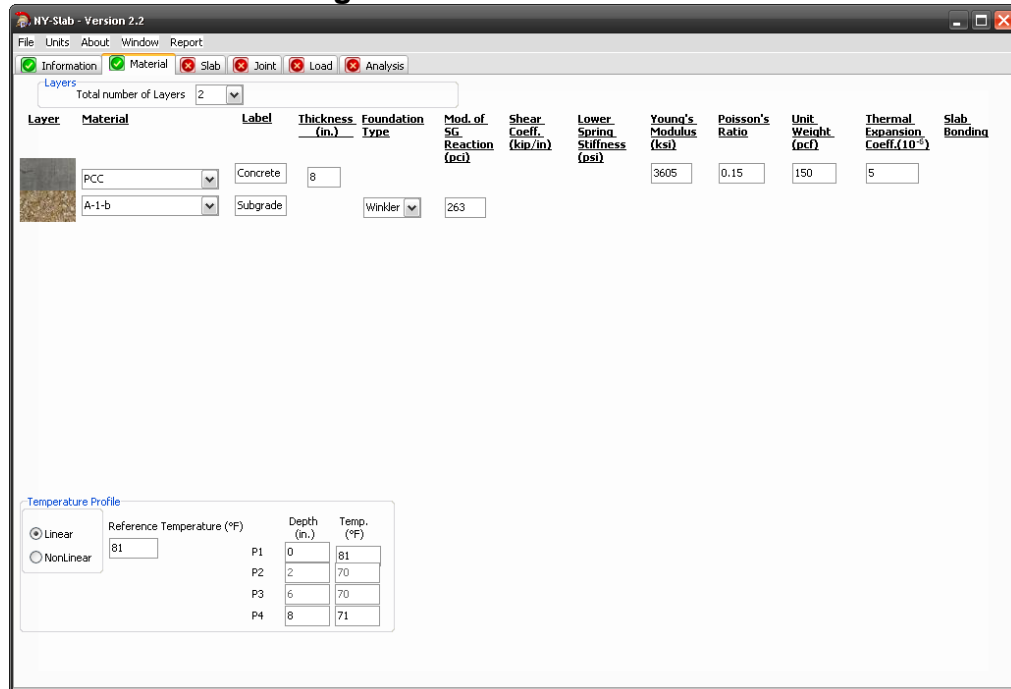
4.5.1.2 Pestaña Material

Las variables de entrada en esta pestaña son las siguientes:

4.5.1.2.1 Capas

El tramo fue configurado con dos capas: La primera capa consta de la losa de pavimento de concreto hidráulico, con un espesor de 8 Pulg como se puede observar en la **figura 13**.

Figura 13: Pestaña Material.



Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

El Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH,2014) en su conferencia titulada: **Conclusiones de los Pavimentos de Losas Cortas Construidos en Latinoamérica**, menciona que las reducciones de espesor pueden ir entre un 10% y un 30% dependiendo en cada caso de la configuración de cargas, suelo y clima que se presente.

Basándose por lo antes dicho por el ICH, se realizaron iteraciones en el programa con espesores de losa de 6 Pulg, 7 Pulg y 9 Pulg, sin embargo, se obtuvieron resultados de esfuerzos en donde estos superaron el 50% del módulo de ruptura del concreto, por ello se optó a utilizar un espesor de 8 Pulg ya que este cumple con la teoría de Clemmer.

La segunda capa de la estructura del pavimento corresponde a la subrasante con un espesor definido por el programa de 6 Pulg con material granular A-1-b, cabe recalcar que se tomó este tipo de material como subrasante puesto que es el material más predominante. **(Ver pág.83, Ver figura 13)**

4.5.1.2.2 Perfil Térmico

En el tramo en estudio se consideró un perfil de temperatura lineal con un gradiente térmico de $\pm 10^{\circ}\text{F}$, puesto que la temperatura en la zona donde se ubica el tramo es variable, siendo la temperatura de referencia de 81°F .

El programa define la casilla P1 como la superficie de arriba de la losa, en el que se introdujo el valor de 81°F para gradiente diurno, y en la casilla P4, correspondiente a la superficie de abajo del concreto a una profundidad de 8 Pulg (Equivalente al espesor de la losa) se introdujo un valor de 71°F para el mismo gradiente **(Ver pág. 83, figura 13)**. En el caso del gradiente nocturno en la casilla de P1 se introdujo el valor de 71°F y en la casilla P4 el valor de 81°F .

4.5.1.2.3 Coeficiente de dilatación térmica (A)

El coeficiente de dilatación térmica (α), cuya unidad es $1/^{\circ}\text{C}$ o $^{\circ}\text{C}^{-1}$, es el cociente que mide el cambio de longitud o volumen que se produce en un cuerpo sólido o un fluido contenido en un recipiente que experimenta una variación de temperatura que se provoca en él por cualquier medio. El valor de este correspondiente al concreto es de $5.0 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}$ (0.00005) como se puede observar en la tabla 45, este dato se utiliza en el programa Nyslab.

Tabla 45: 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

4.5.1.2.4 Módulo de ruptura del concreto (S'c)

El módulo de ruptura corresponde al mismo calculado en la sección 4.2.9, pág. 65 con la Ec. 20, teniendo como resultado 632.46 psi, del cual se aplicó la teoría de Clemmer (1923). Según Yang, H. (2004) en su obra Análisis y Diseño de Pavimento, explica que:

Los resultados en el experimento de Bate (Clemmer), una tensión de flexión inducida podría ser repetida indefinidamente sin causar ruptura, siempre que la intensidad de esfuerzo en las fibras no exceda aproximadamente 50% del módulo de ruptura del concreto (p.7).

El 50% del módulo de ruptura es de 316.23 psi. En base a este valor se optimizó las losas en Nyslab.

4.5.1.2.5 Módulo elástico del hormigón (Ec)

El módulo elástico del hormigón se calculó en la sección 4.2.10, pág. 66 cuyo esfuerzo a la compresión es de 4000psi, dando como resultado 3,604,996.53 psi. Este valor es requerido en Kilo libras por pulgadas cuadradas, por lo que el valor a introducir en el programa Nyslab fue 3,605 Ksi. **(Ver pág. 83, figura 13)**

4.5.1.2.6 Módulo Poisson

El módulo de Poisson correspondiente al concreto es de 0.15, valor obtenido de la **tabla 46**.

Tabla 46: Valores típicos de Modulo de Poisson para pavimento y base.

MATERIALES	RANGO	PICO
Concreto Hidraulico	0.10 - 0.20	0.15
Concreto Asfaltico	0.15 - 0.45	0.35
Base tratada con asfalto	0.15 - 0.45	0.35
Base tratada con Cemento		
Suelo Granular	0.10 - 0.20	0.15
Suelo Fino	0.15 - 0.35	0.25
Concreto Pobre	0.10 - 0.2	0.15
Base y Sub-base Granural	0.30 - 0.40	0.35
Suelo de Subrasante	0.30 - 0.5	0.4

Fuente: Enciclopedia Wikipedia

4.5.1.2.7 Módulo de reacción (k) de la subrasante

Este valor K es 262.80 Pci aproximadamente 263 Pci, el calculado en la sección 4.2.12.2 pág. 72 el cual equivale al módulo de reacción de la subrasante incluyendo la sustitución del suelo A - 4 por material de banco (40 cm de profundidad). **(Ver pág. 83, figura 13)**

4.5.1.3 Pestaña Losa

Se estableció el número de losas para analizar las características geométricas de éstas.

4.5.1.3.1 Dimensiones de la losa

El programa requiere el número de losas (longitudinales y transversales) y sus dimensiones para ser analizados, se pueden seleccionar entre 1 x 1 a 5 x 4 como combinaciones de losas, para ello se debe modular la losa previamente.

Se introdujo para el análisis 5 losas longitudinales con 4 transversales (**Ver pág. 88, figura 14**) Los datos de las dimensiones de las losas convencionales y losas cortas se presentan en tabla 47:

Tabla 47: Dimensiones de las losas.

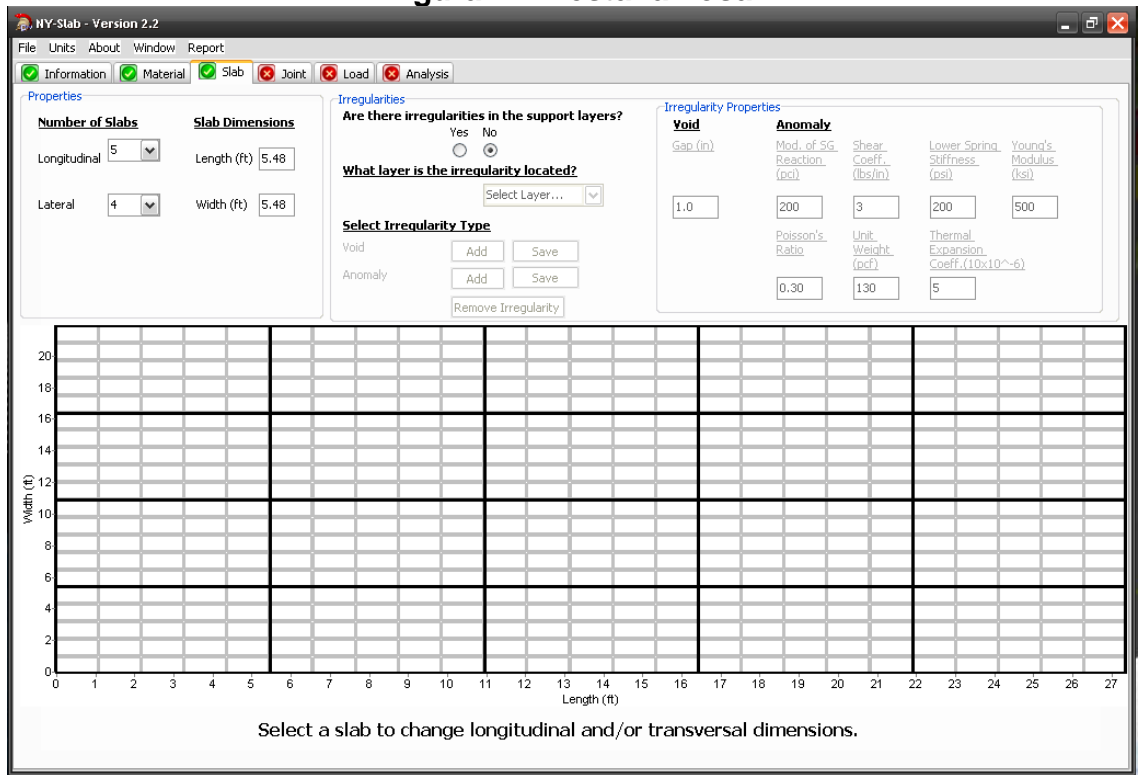
TRAMO: PISTA LARREYNAGA A SABANA GRANDE			
Método Asshto		Método Losas Cortas	
Largo (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Ancho (m)
5	5	1.67	1.67

Fuente: Elaboración Propia

La relación largo/ancho se cumplió, ya que se tomaron losas de formas cuadradas dando como resultado 1, es decir cumpliendo con lo mencionado en la sección 4.4, pág. 79 del presente Documento.

En la figura 14 se muestra la pestaña losa del programa Nyslab en donde, se puede observar el número de losas que se analizarán.

Figura 14: Pestaña Losa.

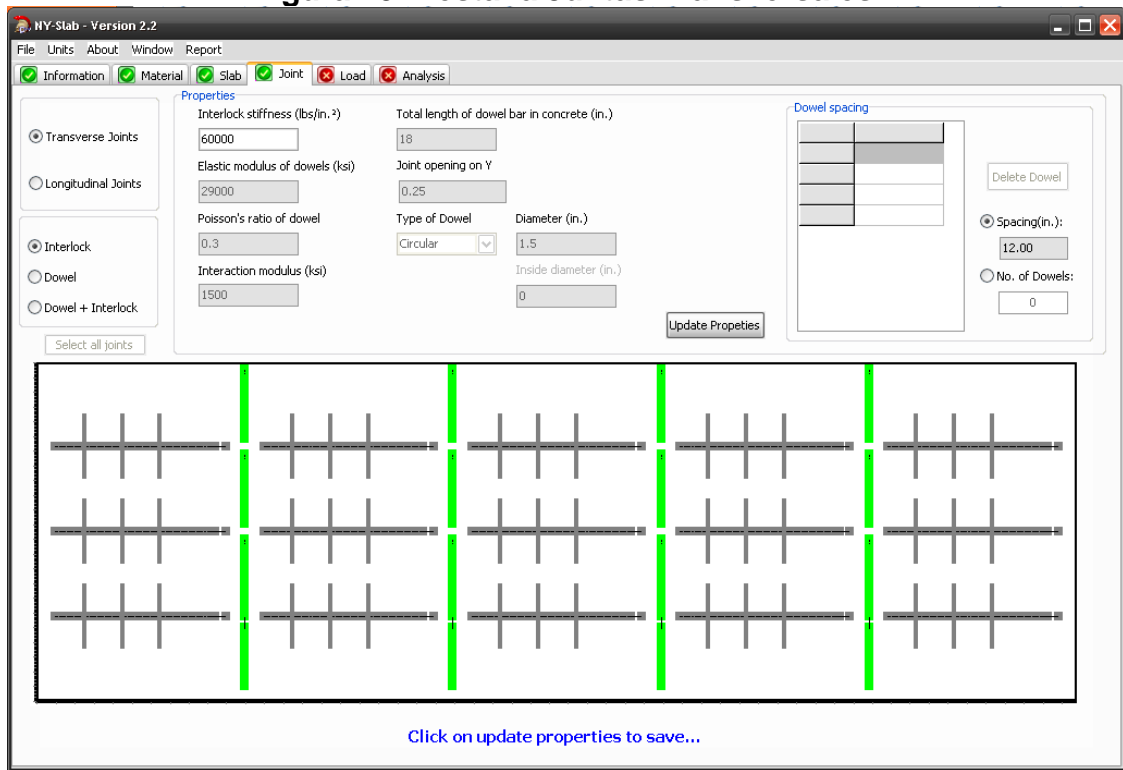


Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

4.5.1.4 Pestaña Juntas

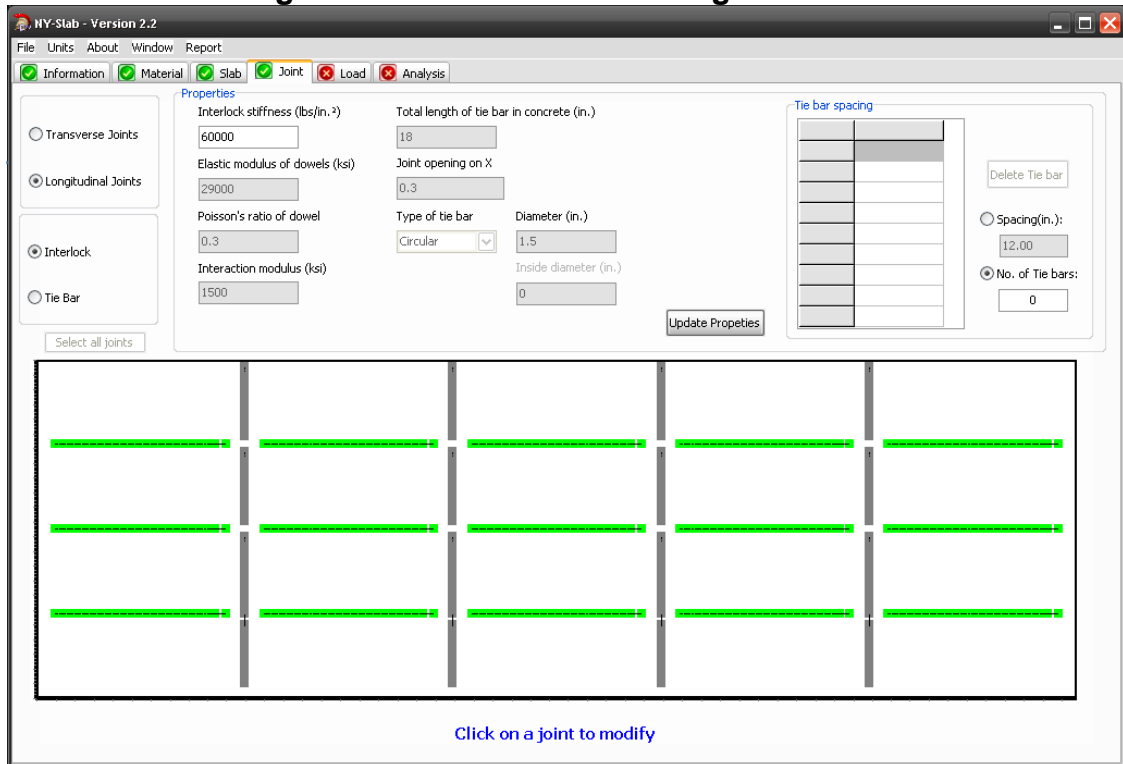
Esta pestaña requiere la información del tipo de transferencia de carga, en el tramo en estudio se realizará por trabazón de agregados (**Sin Dovelas**) como se puede observar en las figuras 15 y 16, pág.89.

Figura 15: Pestaña Juntas Transversales.



Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 16: Pestaña Juntas Longitudinales.



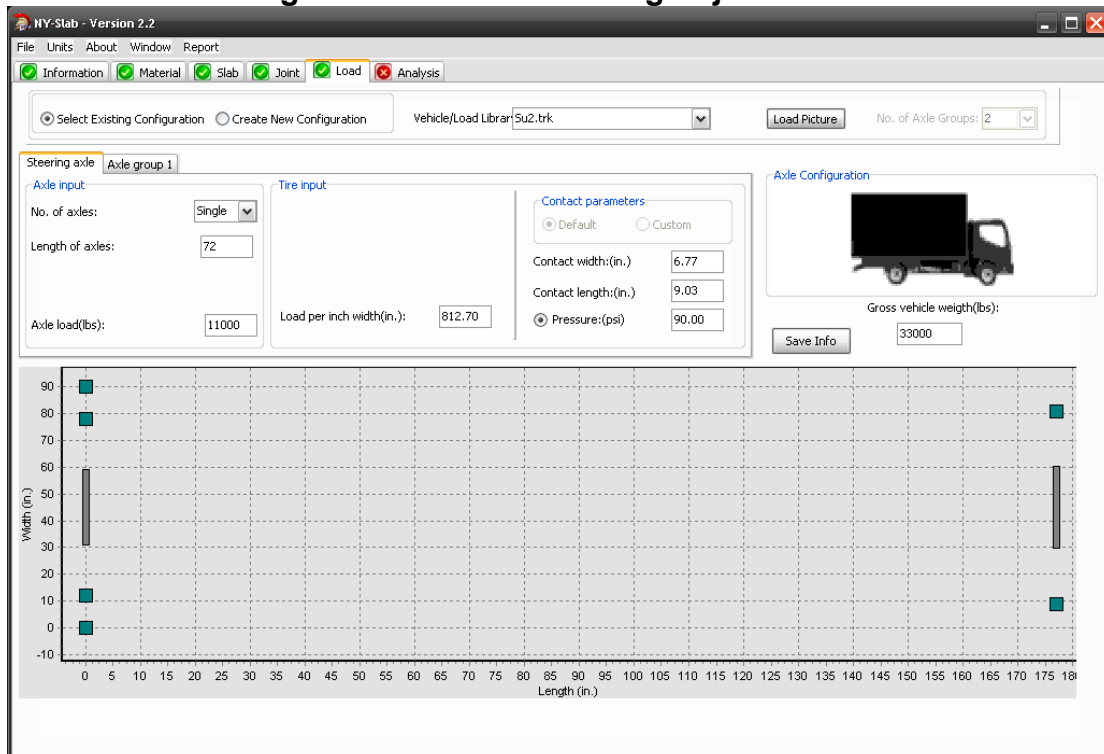
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

4.5.1.5 Pestaña Cargas

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

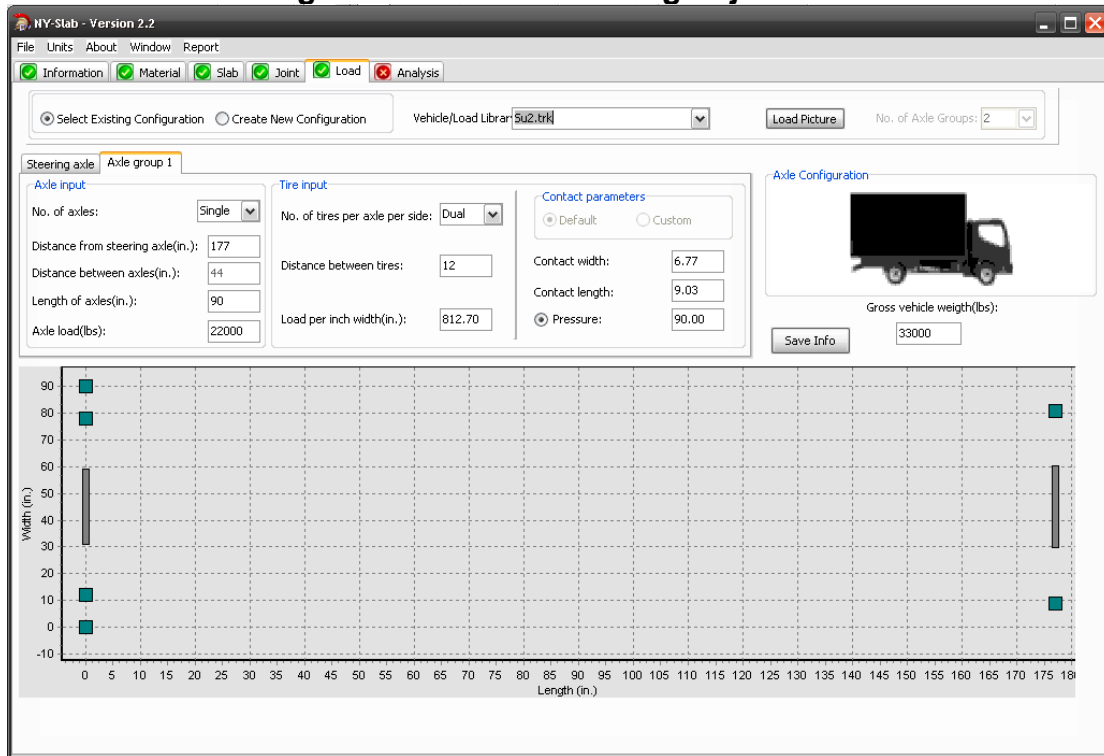
El tramo en estudio se modelo con el **vehículo Su2** (definido por el programa) siendo este el equivalente en el diagrama nicaragüense al **C2** (vehículo de carga) definido en la sección 5.2.1, pág. 102 ya que es el vehículo pesado que mayormente incide en el deterioro del pavimento debido a la distribución de carga (Ver **figuras 17-18**).

Figura 17: Pestaña de Carga Eje Sencillo



Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 18: Pestaña de Carga Eje Doble



Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

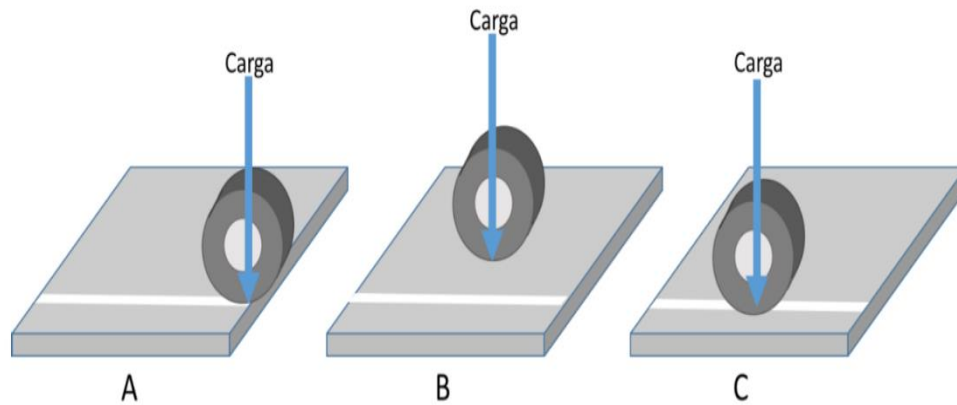
4.5.1.6 Pestaña Análisis

Se procedió a modelar la losa, el cual consiste en ubicar la carga según las tres ubicaciones determinados por **Harold Malcolm Westergard**, siendo estos: el Centro, Borde Libre y Esquina de la losa (Ver pág. 92, figura 19). También se introdujeron dos variables de dirección: “X” (dirección longitudinal) y “Y” (dirección transversal), ver figura 20.

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

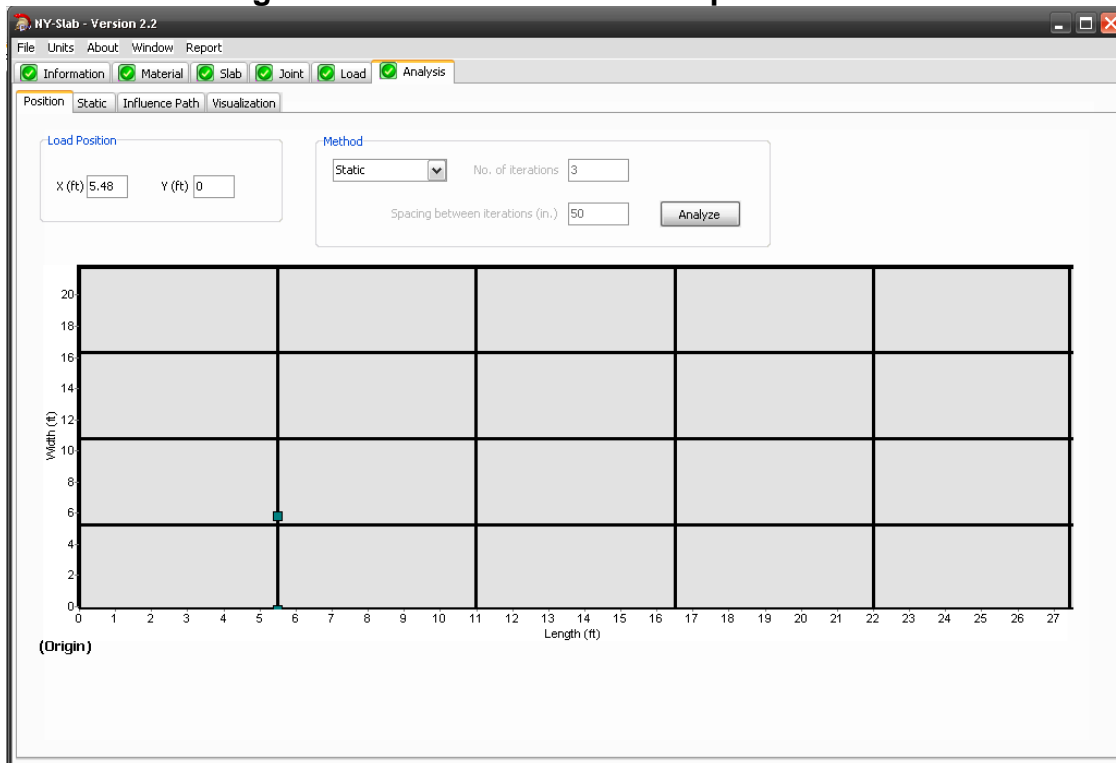
- ✓ Centro de la losa: (2.74ft, 2.74ft)
- ✓ Borde de la losa: (2.74ft, 0ft)
- ✓ Esquina de la losa: (5.48ft, 0ft)

Figura 19: Posiciones Críticas de cargas para pruebas en losas: Esquina (A) centro (B), y borde libre (C).



Fuente: Elaboración Propia

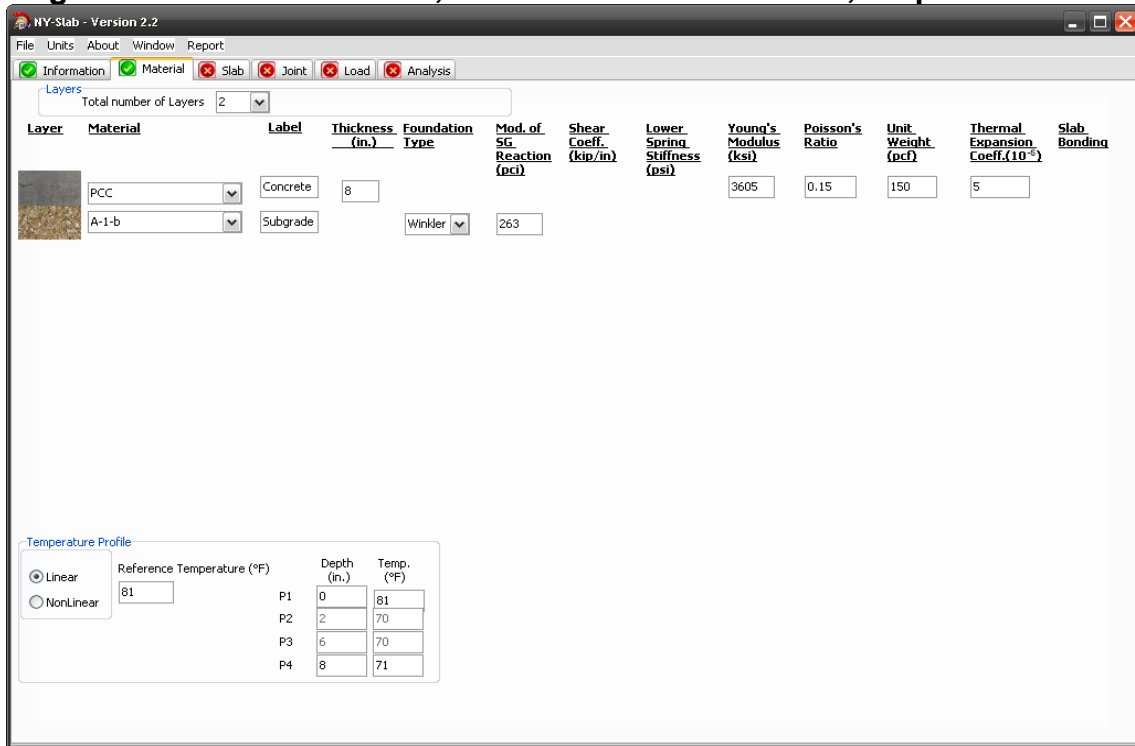
Figura 20: Pestaña Posición Esquina de la Losa



Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

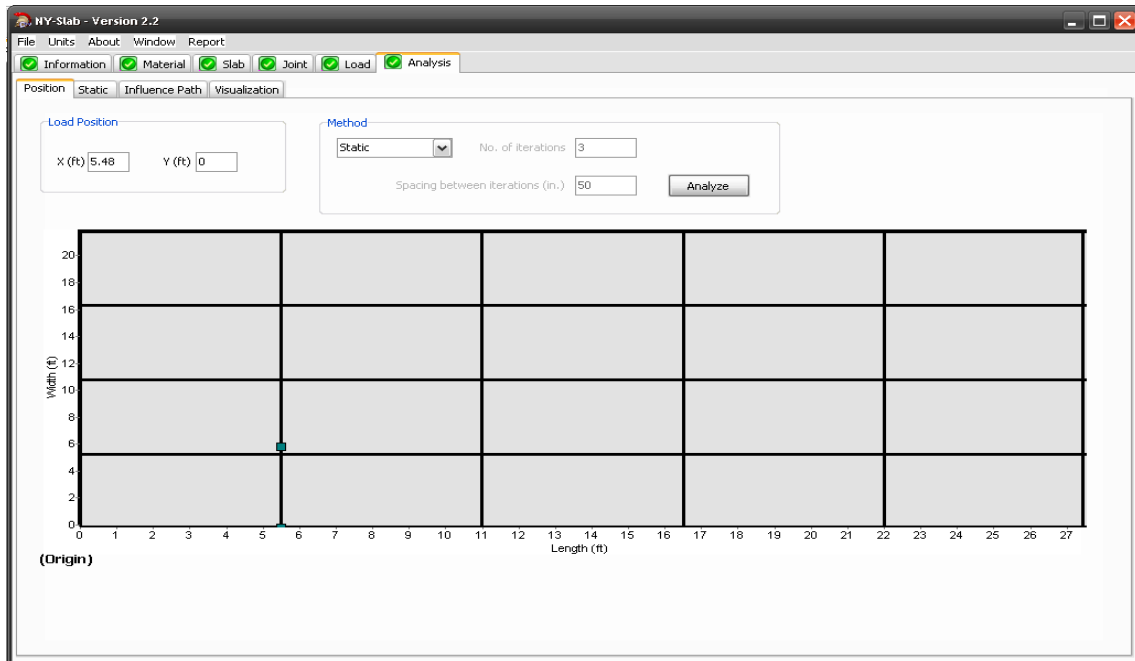
A continuación, se detalla la primera iteración que corresponde a la carga en la esquina de la losa con un gradiente diurno, los datos de entrada y resultados se presentan en **figuras 21-24**.

Figura 21: Pestaña Material, Gradiente Térmico Diurno, Esquina de la losa.



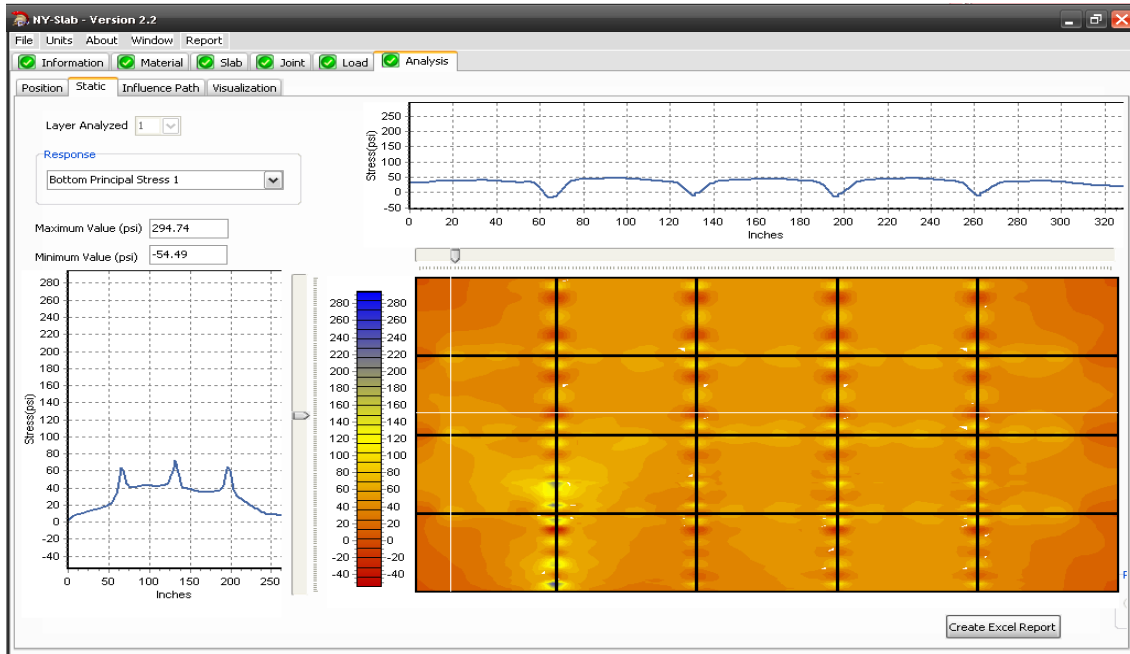
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 22: Pestaña Análisis Posición, Gradiente Térmico Diurno, Esquina de Losa.



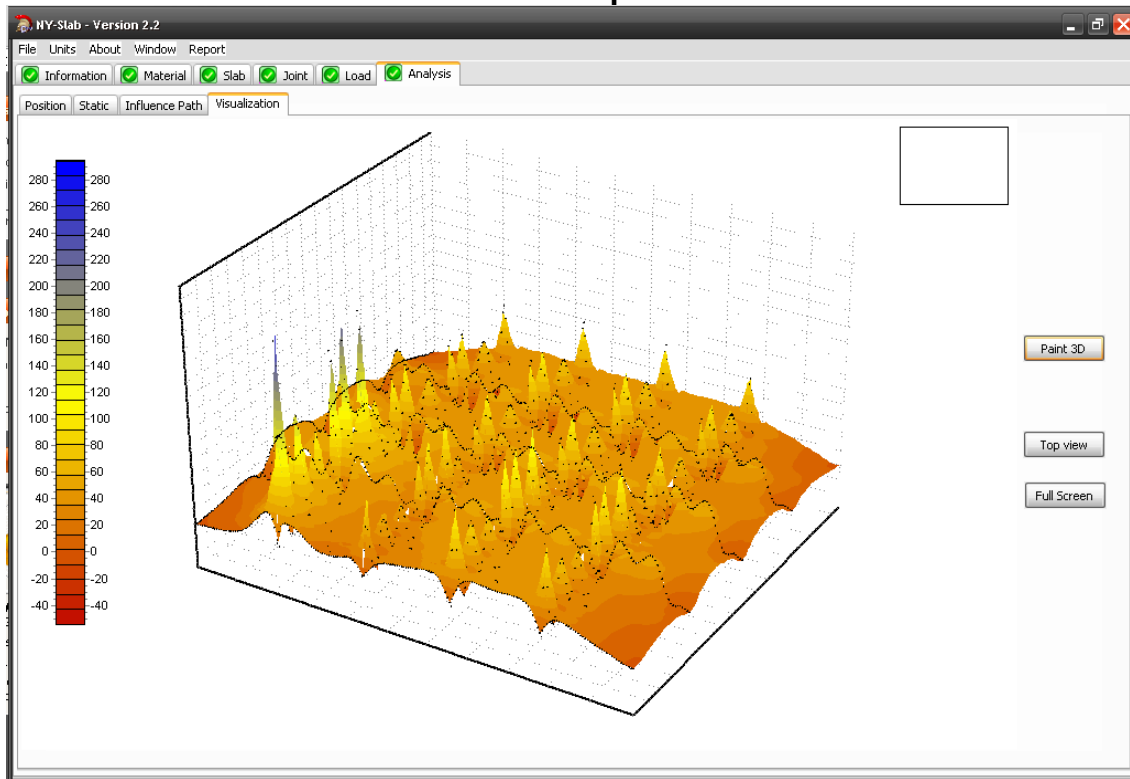
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 23: Pestaña Análisis Esfuerzo, Gradiente Térmico Diurno, Esquina de la Losa.



Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 24: Pestaña Análisis visualización, Gradiente Térmico Diurno, Esquina de Losa.



Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Los resultados de las cinco iteraciones restantes del programa se encuentran en **Anexos, pág. XLIV-LIV, figuras 46-65.**

4.5.2 Análisis de resultados de NYSLAB

El espesor óptimo de la losa se determinó por los mayores esfuerzos inducidos en la losa por la combinación del gradiente de temperatura y la carga de un vehículo C2.

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

Los resultados de las seis iteraciones que se realizaron con el programa NYSLAB para conocer el esfuerzo máximo en las posiciones de carga y que no superaron el 50% del módulo de ruptura se presentan a continuación:

Tabla 48: Esfuerzos resultantes en la esquina de la losa, gradiente diurno, 81°F en fibra superior y 71°F fibra inferior

POSICIÓN DE ANÁLISIS	ESQUINA DE LOSA			
	ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	GRADIENTE TÉRMICO		81°F/71°F
		X/Y (Ft)	VALOR MÁX	VALOR MÍN
Deflexion Vertical (mils)	5.48/0.00	-0.0007	-0.0172	σ MÁX < 316.23 PSI
Esfuerzo superior de Flexion Longitudinal (PSI)	5.48/0.00	84.22	-289.59	Cumple
Esfuerzo Superior de Flexion Lateral (PSI)	5.48/0.00	41.46	-119.20	Cumple
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	5.48/0.00	71.06	-78.06	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	5.48/0.00	89.13	-98.37	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	5.48/0.00	54.49	-294.74	Cumple
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	5.48/0.00	75.00	-75.61	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Longitudinal (PSI)	5.48/0.00	289.59	-84.22	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Lateral (PSI)	5.48/0.00	119.20	-41.46	Cumple
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	5.48/0.00	78.06	-71.06	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	5.48/0.00	294.74	-54.49	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	5.48/0.00	98.37	-89.13	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	5.48/0.00	75.00	-75.61	Cumple
Rotacion Longitudinal (PSI)	5.48/0.00	0.0003	-0.0002	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 49: Esfuerzos resultantes en la esquina de la losa, gradiente nocturno, 71°F en fibra superior y 81°F fibra inferior

POSICIÓN DE ANÁLISIS	ESQUINA DE LOSA			
	ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	GRADIENTE TÉRMICO		71 °F / 81 °F
		X/Y (Ft)	VALOR MÁX	VALOR MÍN
Deflexion Vertical (mils)	5.48/0.00	0.0048	-0.0105	σ MÁX < 316.23 PSI
Esfuerzo superior de Flexion Longitudinal (PSI)	5.48/0.00	192.98	-77.43	Cumple
Esfuerzo Superior de Flexion Lateral (PSI)	5.48/0.00	91.43	-73.34	Cumple
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	5.48/0.00	52.17	-43.35	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	5.48/0.00	195.31	-39.26	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	5.48/0.00	64.88	-79.00	Cumple
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	5.48/0.00	118.20	-86.60	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Longitudinal (PSI)	5.48/0.00	77.43	192.98	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Lateral (PSI)	5.48/0.00	73.34	-91.43	Cumple
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	5.48/0.00	43.35	-52.17	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	5.48/0.00	79.00	-64.88	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	5.48/0.00	39.26	-195.31	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	5.48/0.00	118.20	-86.60	Cumple
Rotacion Longitudinal (PSI)	5.48/0.00	0.0002	-0.0002	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 50: Esfuerzos resultantes en el centro de la losa, gradiente diurno, 81°F en fibra superior y 71°F fibra inferior.

POSICIÓN DE ANÁLISIS	CENTRO DE LOSA			
	ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	GRADIENTE		81 °F/71 °F
		X/Y (Ft)	VALOR MÁX	VALOR MÍN
Deflexion Vertical (mils)	2.74/2.74	-0.0007	-0.0118	σ MÁX < 316.23 PSI
Esfuerzo superior de Flexion Longitudinal (PSI)	2.74/2.74	73.70	-166.95	Cumple
Esfuerzo Superior de Flexion Lateral (PSI)	2.74/2.74	84.59	-195.02	Cumple
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	2.74/2.74	43.44	-48.77	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	2.74/2.74	59.36	-125.23	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	2.74/2.74	33.15	-188.79	Cumple
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	2.74/2.74	77.36	-88.35	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Longitudinal (PSI)	2.74/2.74	166.95	-73.70	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Lateral (PSI)	2.74/2.74	195.02	-84.59	Cumple
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	2.74/2.74	48.77	-43.44	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	2.74/2.74	188.79	-33.15	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	2.74/2.74	125.23	-59.36	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	2.74/2.74	77.36	-88.35	Cumple
Rotacion Longitudinal (PSI)	2.74/2.74	0.0003	-0.0002	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51: Esfuerzos resultantes en el centro de la losa, gradiente nocturno, 71°F en fibra superior y 81°F fibra inferior.

POSICIÓN DE ANÁLISIS	CENTRO DE LOSA			
	ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	GRADIENTE		71 °F / 81 °F
		X/Y (Ft)	VALOR MÁX	VALOR MÍN
Deflexion Vertical (mils)	2.74/2.74	0.0043	-0.0093	σ MÁX<316.23 PSI
Esfuerzo superior de Flexion Longitudinal (PSI)	2.74/2.74	183.53	-82.79	Cumple
Esfuerzo Superior de Flexion Lateral (PSI)	2.74/2.74	143.89	-83.13	Cumple
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	2.74/2.74	51.29	-52.45	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	2.74/2.74	188.55	-81.07	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	2.74/2.74	70.41	-84.82	Cumple
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	2.74/2.74	102.21	-92.63	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Longitudinal (PSI)	2.74/2.74	82.79	-183.53	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Lateral (PSI)	2.74/2.74	83.13	-143.89	Cumple
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	2.74/2.74	52.45	-51.29	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	2.74/2.74	84.82	-70.41	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	2.74/2.74	81.07	-188.55	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	2.74/2.74	102.21	-92.63	Cumple
Rotacion Longitudinal (PSI)	2.74/2.74	0.0002	-0.0003	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 52: Esfuerzos resultantes en el borde de la losa, gradiente diurno, 81°F en fibra superior y 71°F fibra inferior.

POSICIÓN DE ANÁLISIS	BORDE DE LA LOSA			
	ESFUERZO Y DEFLEXIÓN	GRADIENTE TÉRMICO		81 °F/71 °F
		X/Y (Ft)	VALOR MÁX	VALOR MÍN
Deflexion Vertical (mils)	2.74/0.00	-0.0007	-0.0201	σ MÁX<316.23 PSI
Esfuerzo superior de Flexion Longitudinal (PSI)	2.74/0.00	62.86	-187.13	Cumple
Esfuerzo Superior de Flexion Lateral (PSI)	2.74/0.00	48.04	-131.89	Cumple
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	2.74/0.00	51.24	-35.24	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	2.74/0.00	49.61	-124.03	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	2.74/0.00	47.43	-187.38	Cumple
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	2.74/0.00	94.34	-93.18	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Longitudinal (PSI)	2.74/0.00	187.13	-62.86	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Lateral (PSI)	2.74/0.00	131.89	-48.04	Cumple
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	2.74/0.00	35.24	-51.24	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	2.74/0.00	187.38	-47.43	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	2.74/0.00	124.03	-49.61	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	2.74/0.00	94.34	-93.18	Cumple
Rotacion Longitudinal (PSI)	2.74/0.00	0.0004	-0.0002	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 53: Esfuerzos resultantes en el borde de la losa, gradiente nocturno, 71°F en fibra superior y 81°F fibra inferior.

POSICIÓN DE ANÁLISIS	BORDE DE LA LOSA			
	GRADIENTE TÉRMICO			71 °F / 81 °F
	X/Y (Ft)	VALOR MÁX	VALOR MÍN	σ MÁX < 50% MR
Deflexion Vertical (mils)	2.74/0.00	0.0043	-0.0122	σ MÁX < 316.23 PSI
Esfuerzo superior de Flexion Longitudinal (PSI)	2.74/0.00	240.43	-123.53	Cumple
Esfuerzo Superior de Flexion Lateral (PSI)	2.74/0.00	155.67	-64.16	Cumple
Esfuerzo Superior Cortante (PSI)	2.74/0.00	70.51	-46.79	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 1 (PSI)	2.74/0.00	241.55	-61.80	Cumple
Esfuerzo Superior Principal 2 (PSI)	2.74/0.00	67.85	-124.36	Cumple
Esfuerzo Superior Principal Direccional (PSI)	2.74/0.00	93.37	-76.88	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Longitudinal (PSI)	2.74/0.00	123.53	-240.43	Cumple
Esfuerzo Inferior de Flexion Lateral (PSI)	2.74/0.00	64.16	-155.67	Cumple
Esfuerzo Inferior Cortante (PSI)	2.74/0.00	46.79	-70.51	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 1 (PSI)	2.74/0.00	124.36	-67.85	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal 2 (PSI)	2.74/0.00	61.80	-241.55	Cumple
Esfuerzo Inferior Principal Direccional (PSI)	2.74/0.00	93.37	-76.88	Cumple
Rotacion Longitudinal (PSI)	2.74/0.00	0.0002	-0.0002	Cumple

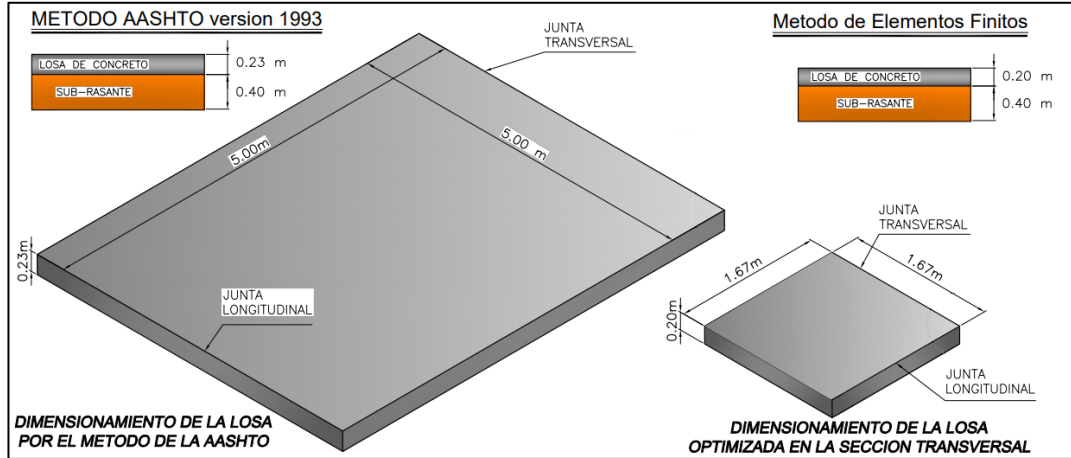
Fuente: Elaboración Propia

Con base a los resultados obtenidos 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 la esquina de la losa, resultando un esfuerzo inferior principal a las fibras superiores e inferiores de la losa de **294.74 lb/plg²**, como se muestra en la tabla 48 pág. 95, este esfuerzo crítico cumple con el criterio de no sobrepasar el 50% del Módulo de Ruptura del concreto que corresponde a un valor de **316.23 lb/plg²**, por lo tanto, es admisible.

La teoría de Clemmer se cumple con un espesor de losa de 8 pulg, por lo tanto, se puede afirmar que se redujo el espesor de losa de la AASTHO un 11.11% y las dimensiones de la losa por el método empírico es 1.67m x 1.67m, cabe recalcar que se requiere un Módulo de Ruptura de concreto de 44.47 Kg/cm².

Se logra apreciar en la figura 25 el resultado final al comparar las dimensiones y espesor de la losa convencional con la losa optimizada.

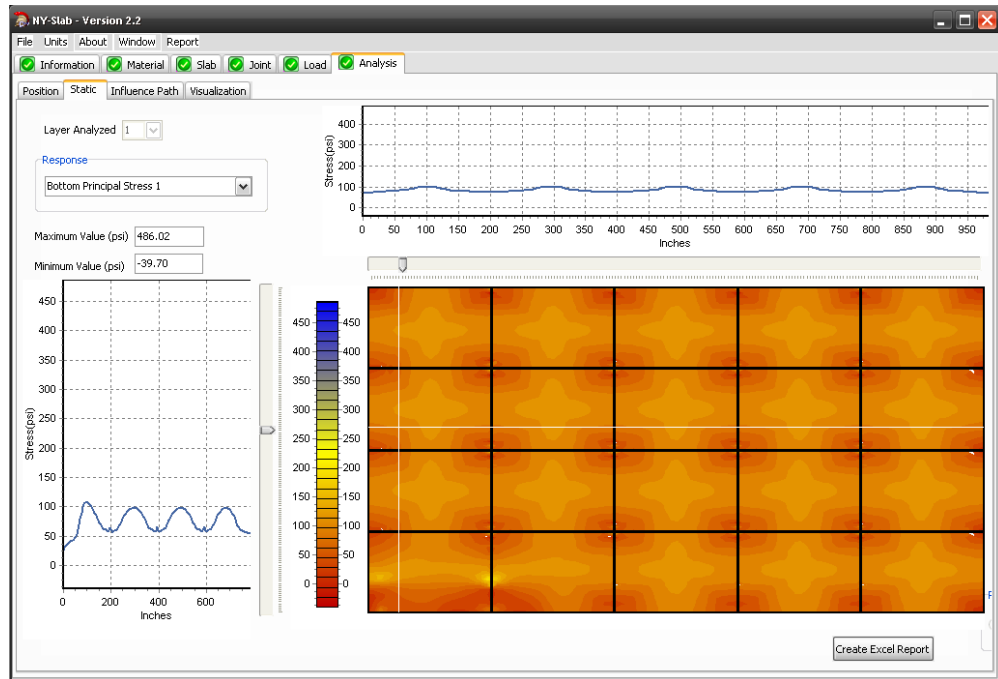
Figura 25: Comparación de resultados de espesor de losa por método AASHTO 93 y por método de elementos finitos



Fuente: Elaboración propia

Cabe recalcar que Inicialmente se realizó la primera corrida del programa NYSLAB con el espesor obtenido por el método AASHTO 93 de 9 Pulg, donde el resultado **no cumple** con la teoría de Clemmer, puesto que el esfuerzo máximo que se presenta en la esquina de la losa con gradiente diurno de 486.02psi > 316.23psi como se muestra en la figura 26.

Figura 26: Pestaña Análisis Esfuerzo, Gradiente Térmico Diurno, Esquina de la Losa.



Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

4.5.3 Limitaciones

El método de análisis de losas cortas (Método mecánico empírico) consta de 3 pasos a seguir:

1. Diseñar el espesor por el método AASHTO versión 1993.
2. Análisis estructural y Optimización de la losa por el programa de elementos Finitos Nyslab.
3. Determinar el daño por fatiga con el modelo de deterioro M-EPDG.

Este último paso, se omitió debido a que no se pudo contar con la licencia del programa computacional M-EPDG que se encuentra vencida, además de ser un software limitado a instituciones educativas para su adquisición. A pesar de ello, este último no resultó ser esencial como los 2 primeros pasos, debido a que su único objetivo se limita a predecir el daño que sufre la losa a lo largo del tiempo de diseño. Esto se compensa con la teoría de Clemmer, que, al ser optimizadas las dimensiones con este parámetro, pueden recibir cargas indefinidamente.

Capítulo V: Diseño Geométrico

5.1 Introducción

Como refiere el Manual para la Revisión de Diseños Geométricos (MTI, 2008), el diseño geométrico es la parte más importante dentro de un proyecto de construcción o mejoramiento de una vía, pues allí se determina su configuración tridimensional, es decir, la ubicación y la forma geométrica definida para los elementos de la carretera; de manera que ésta sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente. (p.28)

Para la elaboración del diseño geométrico del tramo Pista Larreynaga a Sabana Grande se utilizó las herramientas contenidas en el software AUTOCAD CIVIL 3D, empleando las normas establecidas por la AASHTO y el Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (2da edición, 2004) de la Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA).

Para poder determinar las características del alineamiento horizontal, vertical y sección transversal es necesario evaluar el tránsito y la topografía de la zona, además, establecer los parámetros técnicos que definen el diseño geométrico final.

5.2 Parámetros de Diseño Geométrico del Proyecto

El avance tecnológico en los últimos años y su influencia en el desarrollo automotriz ha obligado a estar modificando los diferentes parámetros de diseño de carreteras. No solo las altas velocidades, sino las dimensiones de los vehículos, unos más pequeños y otros más grandes y pesados influyen directamente en aspectos como el ancho de calzada y hombros, radios de curvatura mínimo, distancias de visibilidad, capacidad de soporte de la subrasante y de materiales pétreos, diseño de pavimentos, puentes y obras de drenaje, pendientes máximas, semaforización, rediseño de intersecciones, etc.

5.2.1 Vehículo de Diseño

El vehículo de diseño es aquel vehículo que predomina y de mayor exigencia del tránsito que se desplaza en la vía, valorando las dimensiones, peso y características de operación del mismo. Se selecciona a propósito para adoptar las condiciones más desfavorables, aquellos que poseen mayores dimensiones físicas y de radios de giros mayores. (SIECA, 2004, cap.2, p.2)

En base a los datos obtenidos por el análisis de tránsito el vehículo de carga predominante en la vía es el camión ligero, sin embargo, el vehículo de diseño definido corresponde al camión de carga “SU”, siendo este el equivalente al “C2” ya que es el vehículo pesado que mayormente incide en el deterioro del pavimento.

En la **tabla 54** se muestra las dimensiones del vehículo de diseño.

Tabla 54: Dimensiones de los vehículos de diseño

Vehículo de Diseño	Simbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo Delantero	Voladizo Trasero	WB1	WB2
Vehículo Liviano	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	
Camión	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	
Bus	BUS - 14	3.70	2.60	12.20	1.80	2.60	7.30	
Bus Articulado	A - BUS	3.40	2.60	18.30	3.10	6.70	5.90	
Cabecal con Semiremolque	WB - 15	4.10	2.60	16.80	0.60	4.50	10.80	
Cabecal Con Semiremolque	WB - 19	4.10	2.60	20.90	0.90	0.60	4.50	10.80
Cabecal Con Semiremolque	WB - 20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40 - 0.80	6.60	13.20 - 13.80

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, 2011, p.38

Nota: WB1, WB2 es la distancia entre ejes extremos Dimensiones en metros.

Los radios mínimos de las trayectorias de las ruedas exteriores e interiores y el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central se muestran en la tabla 55.

Tabla 55: Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño

Vehículo Tipo	Radio Interior (m)	Radio de Diseño (m)
Automóvil, P	4.2(4.7)	7.3(7.3)
Autobús Sencillo, BUS	7.4	12.8
Camión Sencillo, SU	8.5(8.7)	12.8(12.8)
Camión Articulado, WB-15	5.8(6.0)	13.7(13.7)
Camión Articulado, WB-19	2.8	13.7
Camión Articulado, WB-20	0	13.7

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, 2004, cap. 2, p.4

5.2.2 Tipos de Terrenos

La topografía del terreno influye en el alineamiento de carreteras y calles. Para este proyecto en base al plano topográfico, el terreno se clasifico como **plano** ya que la pendiente natural que posee es del 0.66%, cumpliendo así el intervalo de terreno plano que se muestra en la tabla 56.

Tabla 56: Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.

Tipo de Terreno	Rangos de Pendientes (%)
Llano o Plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 > G \leq 5$
Montañoso	$15 > G \geq 30$

Nota: G = Pendiente

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA. 2004, cap. 4, p.63

5.2.3 Velocidad de Diseño

Conocida también como velocidad de proyecto, corresponde a la velocidad seleccionada para fines del diseño vial y que gobierna las características del mismo. Se trata entonces de la máxima velocidad a la cual se puede transitar de una manera cómoda y segura, bajo condiciones favorables durante un tramo determinado de una vía. (Agudelo, 2002, p. 63)

Para determinar la velocidad de diseño de la vía es necesario conocer el TPDA y la topografía del terreno. Para este proyecto el TPDA es de 1,644 vpd y el tipo de terreno es plano. Por ende, la velocidad de diseño es de **70 KPH**, como se muestra en la tabla 57.

Tabla 57: Velocidades de diseño en kilómetros por hora, en función de los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno

Tipo de Terreno	Volúmenes de Tránsito Diario o TPDA, en vpd			
	>20,000	20,000 - 10,000	10,000 - 3,000	3,000 - 500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA. 2004

5.2.4 Alineamiento Horizontal

Según el Manual para la Revisión de Diseños Geométricos (MTI, 2008), menciona que en los puntos de intersección (PI) en que resulten ángulos de deflexión a valores igual o menor a los 20 minutos; no se aplicarán radios de curvatura para la generación de curvas horizontales, simplemente se establecerá la deflexión.

En los planos del Diseño Geométrico se puede observar que en los puntos de intersección los ángulos de deflexión son menores de 20 min por ende no se requieren de curvas horizontales.

5.2.5 Alineamiento Vertical

En el 2011, el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC) y SIECA, en su Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial menciona que:

Al proyectar sobre un plano vertical las distintas elevaciones del eje de la carretera, se obtiene el alineamiento vertical o perfil del eje de la carretera. En este alineamiento se representan tanto el perfil del terreno natural como el perfil terminado del eje de la carretera, al cual se le llama rasante y al perfil del eje terminado de la terracería, también conocido como subrasante. (p.115)

5.2.5.1 Pendiente longitudinal máxima

Es la mayor pendiente que se permita en el proyecto, determinándose por el volumen y la composición del tránsito previsto, por la configuración del terreno y velocidad de diseño.

Según CEPREDENAC y SIECA (2011) las pendientes para calles colectoras urbanas deben ser tan a nivel como sea práctico, consistente con el terreno colindante. Una pendiente mínima de 0.30% es aceptable para facilitar el drenaje. No obstante, es recomendable que se utilice una pendiente de 0.50% o más. Si hay banquetas adyacentes, se recomienda una pendiente máxima de 5.0%. (p. 119)

La pendiente máxima para el tramo es 8 % según la velocidad de diseño y el tipo de terreno, como se indica en **tabla 58**. No obstante, para el Diseño se utilizará la pendiente natural del terreno de 0,66 % puesto que al diseñar con la pendiente máxima se genera mayor costo en la construcción de la obra y además en los vehículos ocasiona un mayor consumo de combustible, otra desventaja es que produce desgaste en las llantas de los vehículos.

Tabla 58: Pendientes Máxima para Calles Colectoras Urbanas

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	9	9	9	9	8	7	7	6
Ondulado	12	12	11	10	9	8	8	7
Montañoso	14	13	12	12	11	10	10	9

Nota: En longitudes cortas de pendiente en áreas urbanas, menores de 150 m, pendientes descendientes y de una sola vía, y en pendientes con bajos volúmenes de tránsito, las pendientes indicadas pueden incrementar hasta en un 2%.

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, 2011, p.119

5.2.5.2 Distancia de Visibilidad en Carreteras

La Distancia de Visibilidad, es la longitud de la carretera que un conductor ve continuamente delante de él, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables y que le permiten realizar las maniobras asociadas con el proceso de conducción de manera segura.

Para este proyecto se consideran dos distancias de visibilidad: la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase o adelantamiento.

5.2.5.2.1 Distancia de Visibilidad de Parada (DVP)

Es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido. Es la distancia de visibilidad mínima con que se debe diseñar la geometría de una carretera, cualquiera que sea su tipo. (SIECA, 2011, Cap.4, p.22)

La SIECA establece para curvas verticales en columpio cuando la velocidad de diseño es de 70 KPH, valores de DVP entre **95 m – 110 m**, por lo tanto, se selecciona para el diseño 110m ver tabla 59.

Tabla 59: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio basados en la distancia de Visibilidad de Parada, DVP

Velocidad de Diseño	Rango de Velocidad de marcha Km/h	Coeficiente de Friccion	Valores de DVP (m)		Factor K de diseño
			Menores	Mayores	
30	30 - 30	0.40	30	30	4 - 4
40	40 - 40	0.38	45	45	8 - 8
50	47 - 50	0.35	60	65	11 - 12
60	55 - 60	0.33	75	85	15 - 18
70	63 - 70	0.31	95	110	20 - 25
80	70 - 80	0.30	115	140	25 - 32
90	77 - 90	0.30	130	170	30 - 40
100	85 - 100	0.29	160	205	37 - 51
110	91 - 110	0.28	180	245	43 - 62

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA. 2004, CAP.4, p.74

5.2.5.2.2 Distancia de visibilidad de rebase o adelantamiento

La distancia de visibilidad de adelantamiento se define como la mínima distancia de visibilidad requerida por el conductor de un vehículo para adelantar a otro vehículo que, a menor velocidad relativa, circula en su mismo carril y dirección, en condiciones cómodas y seguras, invadiendo para ello el carril contrario, pero sin afectar la velocidad del otro vehículo que se le acerca, el cual es visto por el conductor inmediatamente después de iniciar la maniobra de adelantamiento. (SIECA, 2011, Cap.4, p.25)

“La visibilidad de adelantamiento se requiere únicamente en carreteras de dos Carriles, con tránsito bidireccional” como es el caso del tramo en estudio. (CEPREDENAC & SIECA, 2011, p.79)

CEPREDENAC y SIECA, (2011) sugiere sobre los Criterios para Cálculo de las Distancias de Visibilidad lo siguiente:

Según las velocidades de diseño se establecen distancias de adelantamientos. Para una velocidad de diseño de **70KPH** corresponde una distancia de visibilidad de adelantamiento de **485m.** como se indica en la tabla 60.

Tabla 60: Distancia de visibilidad adecuada para adelantar

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Adelantamiento
30	200
40	270
50	345
60	410
70	485
80	540
90	615
100	670
110	730
120	775

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, 3ra edición, 2011, p.79.

5.2.5.3 Curvas Verticales

Las curvas verticales son las que se utilizan para servir de acuerdo entre la rasante de distintas pendientes. Tiene como objetivo suavizar el camino en el movimiento vertical, por lo general se utilizan arcos parabólicos, en vez de arcos circulares como en las curvas horizontales.

Cuando la diferencia algebraica ($A = P2 - P1 < 0.5\%$) entre pendientes a unir sea menor de 0.5% las curvas verticales no son necesarias ya que el cambio es tan pequeño que en el terreno se pierde durante la construcción.

Las curvas verticales, deben tener las siguientes características:

- a) Proporcionar un camino de operaciones segura y confortable
- b) Brindar una apariencia agradable al conductor
- c) Permitir el drenaje adecuado a la vía

En términos generales existen curvas verticales en **cresta y en columpio**. Las primeras se diseñan de acuerdo con la más amplia distancia de visibilidad de parada y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño.

5.2.5.3.1 Cálculo y revisión de curva vertical

Tabla 61: Elementos para el diseño geométrico:

Velocidad de diseño	70	kph
Distancia de parada	110	m
K	25	m

Tabla 62: Datos tomados del programa Civil 3D:

P1	-1.00	%
P2	0.66	%

➤ **Criterio para curvas verticales**

Si $A = P_2 - P_1 < 0.5\%$, las curvas verticales no son necesarias **Ec.23**

Cuando $A < 0 (-)$, la Curva es Cresta.

Cuando $A > 0 (+)$, la Curva es Columpio.

1. Cálculo de la diferencia algebraica de pendientes:

$A = P_2 - P_1 = 0.66 - (-1) = 1.66 \approx 1.70 (+) < 0.5\%$, entonces requiere **curva vertical**. Dado que la diferencia algebraica de pendientes es positiva se considera como una **curva tipo columpio**.

2. Cálculo de la longitud mínima de diseño

$$L_{min} = \frac{A \cdot Dp^2}{120 + 3.5Dp} = \frac{1.70 \cdot 110^2}{120 + 3.5 \cdot 110} = 40.73m \quad \text{Ec.24}$$

$$L_{min} = K \cdot A = 25 \cdot 1.70 = 42.50m \quad \text{Ec.25}$$

$$L_{diseño} = 50 m$$

Se redondeó la longitud mínima al múltiplo de 10 superior, y esta pasa a ser la longitud de diseño utilizada en el programa.

3. Criterios

a) Criterio de comodidad:

$$L \geq \frac{A \cdot V^2}{395} = 50 \geq \frac{1.70 \cdot 70^2}{395} = 50 \geq 21.09 \quad \checkmark \text{ Cumple} \quad \text{Ec.26}$$

b) Criterio de apariencia:

$$L \geq 30 \cdot A = 50 \geq 30 \cdot 1.70 = 50m \geq 51m \quad \checkmark \text{ Cumple} \quad \text{Ec.27}$$

c) Criterio de drenaje:

$L \leq 43 * A = 50 \leq 43 * 1.70 = 50m \leq 73.10m$ **Cumple** **Ec.28**

Tabla 63: Resumen de elementos de la curva vertical

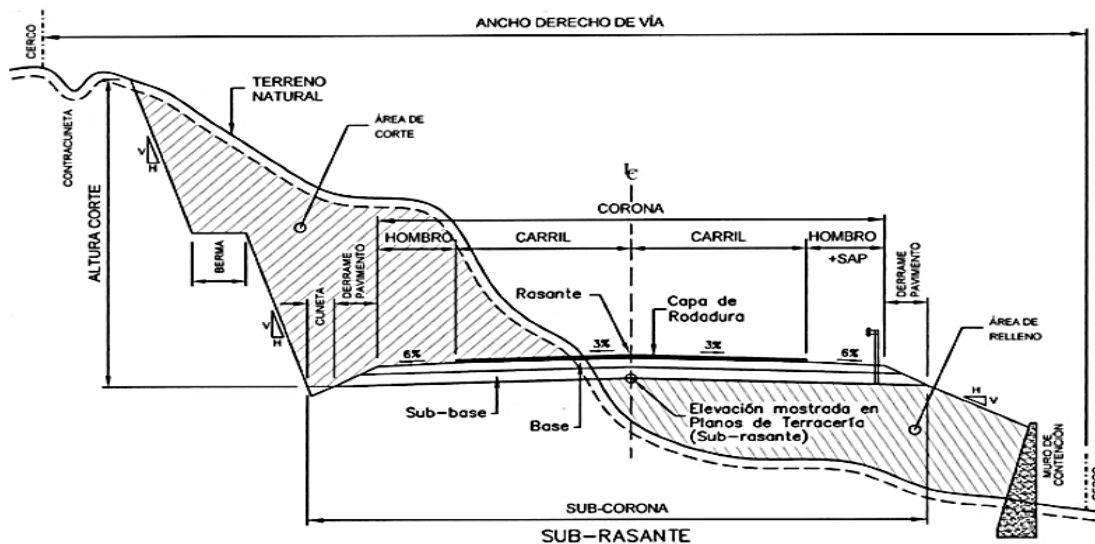
Curva No.	Est. PCV (m)	Elv. PCV(m)	Est. PIV (m)	Elv. PIV(m)	Est. PTV (m)	Elv. PTV(m)	P1 (%)	P2 (%)	A (%)	Tipo	L Diseño (m)	K Diseño (m)
1	0+000	76.46	0+029.95	76.16	0+060	76.37	-1	0.66	1.66	Columpio	50	29.41

5.2.6 Sección transversal

La sección transversal de una carretera corresponde a un corte vertical normal al eje del alineamiento horizontal, definiendo la ubicación y dimensiones de cada uno de los elementos que conforman dicha carretera en un punto cualquiera y su relación con el terreno natural. (Agudelo, 2002, p.258)

La figura 27 muestra los elementos fundamentales que normalmente se incluyen en una carretera: plataforma o corona, cunetas, taludes, etc.

Figura 27: Sección transversal típica en tangente en carretera en dos direcciones



Fuente: CEPREDENAC y SIECA, (2011), p. 138

5.2.6.1 Derecho de vía

El derecho de vía según la norma SIECA (2004), es la franja de terreno que adquiere el dueño de una carretera, normalmente el estado, para la construcción de la misma, incluyendo dentro de sus límites el diseño bien balanceado de las calzadas con sus carriles proyectados, los hombros interiores y exteriores, las medianas y todos los demás elementos que conforman normalmente la sección transversal típica de este tipo de instalaciones, conforme su clasificación funcional. (p.77)

Las condiciones actuales del derecho de vía en el tramo en estudio al revisar el levantamiento Topográfico brindado por la Alcaldía de Managua y visita de campo realizada, tiene un promedio de derecho de vía existente de 18 m. sin embargo, se constató invasión por construcciones de diferentes tipos, reduciendo los espacios de libre circulación en un tramo del corredor de 150 m, en donde existe un derecho de vía de 13.47 m.

5.2.6.2 Corona

Es la superficie visible de una carretera o calle que queda comprendida entre las aristas del relleno y/o las interiores de las cunetas. El ancho de corona comprende la rasante, la pendiente transversal, el ancho de la calzada, los hombros, el sobre ancho del hombro en relleno, las aceras o banquetas y la mediana, en caso de que esta última forme parte de la sección transversal. (CEPRENAC & SIECA, 2011, p.137)

5.2.6.3 Calzada

Es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles, entendiéndose por **carril** a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

La calzada varía a lo largo del camino y depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y excepcionalmente en el vertical.

Debido a que existe un pequeño tramo de calle pavimentada de concreto hidráulico con un ancho de calzada de **10 m**. Según recomendación de la Alcaldía de Managua, el ancho de calzada del tramo en estudio será de 10 m para evitar desproporción geométrica en la sección transversal.

5.2.6.4 Bombeo Normal

Es la pendiente transversal de la corona en los tramos rectos del alineamiento horizontal hacia uno u otro lado del eje, con el objetivo de facilitar el drenaje o escurrimiento de las aguas superficiales. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto con la mínima pendiente, para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad. (CEPREDENAC SIECA, 2011, p.139)

Los pavimentos de tipo alto son aquellos que mantienen superficies lisas y propiedades antideslizantes en todo tipo de clima, y que son sometidos a cargas de altos volúmenes de tráfico pesado, requieren poco mantenimiento. (CEPREDENAC & SIECA, 2011, p.139)

Tabla 64: Bombeo Normal de Calzada

Tipo de Superficie	Rango de Pendientes Transversales
Alto	1.5 - 2.0
Bajo	2.0 -6.0

Fuente: SIECA-2011, p.139

Como se muestra en la tabla 64, el bombeo transversal puede variar en dependencia del tipo de superficie de rodadura que se utilice, para superficie tipo alto que según sus características coincide con un pavimento rígido, la pendiente oscila entre **1.5% – 2%**, para el diseño se elegirá el valor de **2%**.

5.2.6.5 Pendiente Transversal

Según CEPREDENAC y SIECA (3ª. Edición, 2011), en el capítulo 4, establece que los hombros pueden tener pendientes transversales de 2 al 6 por ciento cuando se trata de hombros asfaltados o con concreto hidráulico. En el Diseño se propone utilizar la pendiente transversal de la acera de 2%.

En la **tabla 65** se especifican los anchos de aceras recomendados de acuerdo con el tipo de carretera.

Tabla 65: 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

Nota: * Solamente con mediana

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA. 2004

Dado que la vía es una Colectora Suburbana el rango de valores recomendados para aceras varía entre 1.00 - 1.20 m por lo que se propone de **1.00 m**, Consecuentemente el ancho de corona corresponde: **12.30 m** (sumatoria de dos veces el ancho de acera más dos veces el bordillo más el ancho de calzada).

Ancho de acera: 1.00 m

Ancho de bordillo: 0.15 m

Ancho de calzada: 10 m

Ancho de corona: $2(1.00 \text{ m}) + 2(0.15 \text{ m}) + 10 \text{ m} = 12.30 \text{ m}$

Los parámetros de diseño geométrico aplicadas a este proyecto se presentan en **tabla 66**.

Tabla 66: Parámetros de diseño geométrico

CARACTERISTICAS	VALORES	UNIDAD
Clasificación funcional	Colectora Suburbana	
Vehículo de Diseño(Cabezal semiremolque)	C2	
Velocidad de Diseño	70	KPH
Tipo de terreno	Plano	
Pendiente Longitudinal	0.66	%
Distancia de visibilidad de parada	110	m
Distancia de visibilidad de adelantamiento	485	m
Derecho de vía	18	m
Ancho de corona	12.30	m
Numero de carriles	2	und
Ancho de carril	5	m
Acera	1.00	m
Pendiente transversal (Calzada)	2	%

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Según los objetivos específicos planteados en este proyecto monográfico se ha concluido lo siguiente:

Se obtuvo que el total de ejes equivalentes de la vía es $W_{18} \text{ total} = 3,012,943$ este dato se utilizó en el diseño de pavimento. Además, se concluye que los vehículos que causaran mayor daño sobre el pavimento son los vehículos C3 y T3-S2 con el 22.32% y 17.22% del ESAL's.

El ensaye de suelo de granulometría nos muestra que el terreno de fundación está comprendido por cinco tipos de suelos no plásticos, que según AASHTO son: los suelos granulares A-3, A-1-b, A-2-4, A-1-a y suelos limosos A-4, Además el CBR de los suelos indican que estos pueden ser usado como subrasante a acepción del tipo de suelo A-4.

Según el Diseño AASTHO la losa es de concreto simple con un espesor de 9 Pulg, la modulación de las losas es 5 m de largo y 5 m de ancho. El espesor del pavimento optimizado es 8 pulgadas equivalente a una reducción del 11% del espesor inicial y las dimensiones de las losas equivalen a 1.67m x 1.67m.

Al realizar el trazado geométrico se observó que el tramo no presenta curvas verticales ni horizontales. Así mismo con el estudio de tránsito y la norma SIECA se logró establecer los parámetros que definieron los alineamientos horizontales y verticales, tales como la velocidad de diseño, vehículo de diseño, radio de giro, pendiente longitudinal máxima, etc.

Recomendaciones

Según los resultados que se obtuvieron de este Documento investigativo se recomienda a la alcaldía del distrito de Managua:

Establecer medidas de control para la circulación vehicular sobre la vía en estudio, con el objetivo de evitar que vehículos fuera de diseño (que exceden el límite de carga) transiten y provoquen daño prematuro de la vía según las normas de tránsito.

En la subrasante es necesario comprobar que la compactación del CBR sea justa la calculada en el diseño (95 %) ya que garantizará un eficiente soporte de la losa y se evitarán deflexiones y tensiones en la misma, que puedan ser causados por el movimiento de agua y por cargas de tránsito.

En el tramo donde hay presencia del material A - 4 se recomienda extraer dicho material y reponerlo con material de banco, compactar al 95 % como mínimo.

Garantizar con mano de obra calificada y supervisión, la calidad de la losa en cuanto a resistencia, colocación y curado del concreto, además la superficie debe ser bien conformada.

Para un correcto funcionamiento del proyecto se recomienda cumplir con los parámetros del diseño geométrico calculados en este documento, que cumple con la Norma SIECA 2004.

Se recomienda un estudio de drenaje sobre la vía ya que este carece de un sistema de aguas pluviales.

Bibliografía

- AASHTO. (1993). *Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 93*. Lima: Autor
- Agudelo Ospina, J.J. (2002). *Diseño Geométrico de Vías*. (sin editorial). Recuperado de <https://sinavarro.files.wordpress.com/2011/08/disec3b1o-geomc3a9trico-de-vc3adas-john-jairo-agudelo.pdf>
- Arévalo, C.O. (2013, octubre). *Losas Cortas: Una experiencia en Nicaragua*. VII congreso Nacional de Ingeniería Civil presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Banco Central de Nicaragua. (2017). *Estado de la Economía y Perspectivas 2017*. Managua: Autor.
- Cemex. (2010). *Pavimento de concreto Cemex*. México: Autor.
- Cifras Oficiales, Censo Nacionales 2005, VIII Censo de población y IV de vivienda 2005. Recuperado de: <http://www.bcn.gob.ni>.
- Covarrubias, J.P. (2012, diciembre). *Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada*, 27(3). Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732012000300005
- Huang, Y. H. (2004). *Análisis y Diseño de Pavimento (2da. Edición)*. Nueva Jersey: Upper Saddle River.
- Iturbide, J.C. (2002). *Manual Centroamericano para el Diseño de pavimento*. Guatemala.
- Instituto del Asfalto. (1,991). *Guía para el diseño de Espesores*, (MS-1).
- Leclair, R. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, de la SIECA, 2da. Edición*. Guatemala.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2008). *Manual para la Revisión de Diseño Geométricos*. Managua: Autor.

- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2020). *Anuario de Aforos de Trafico*. Managua: Autor.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2008). *Manual para la Revisión de Diseño de pavimento*. Managua: Autor.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2000). Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000.Nicaragua: Autor
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2008). *Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos*. Nicaragua: Autor
- Murrillo X.E (2010). Estudio del comportamiento de las bases de pavimentos rígidos en la ciudad de cuenca y su influencia en el Diseño, (Tesis inédita de Maestría en Geología). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Rodríguez, M. A., & Ivan Matus Lazo. (s.f.). *Guías de Laboratorio de Mecánica de Suelos I*.
- Salas B.M. (2012). *Tópicos de Pavimentos de Concreto Diseño, Construcción y Supervisión*. (sin editorial). Recuperado de <http://civilgeeks.com/2014/06/21/manual-de-diseno-construccion-y-supervision-de-pavimentos/>
- Salgado, M. (2014, noviembre). *Conclusiones de los Pavimentos de Losas Cortas Construidos en Latinoamérica*. Conferencia presentada en el Hotel Panamericano por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. Argentina.
- Salgado, M. (2014, noviembre). *Conclusiones de los Pavimentos de Losas Cortas Construidos en Latinoamérica*. Conferencia presentada en el Hotel Panamericano de Buenos Aires. Argentina.
- SIECA Y CEPREDENAC. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, 3ra. Edición*. Guatemala.

ANEXOS

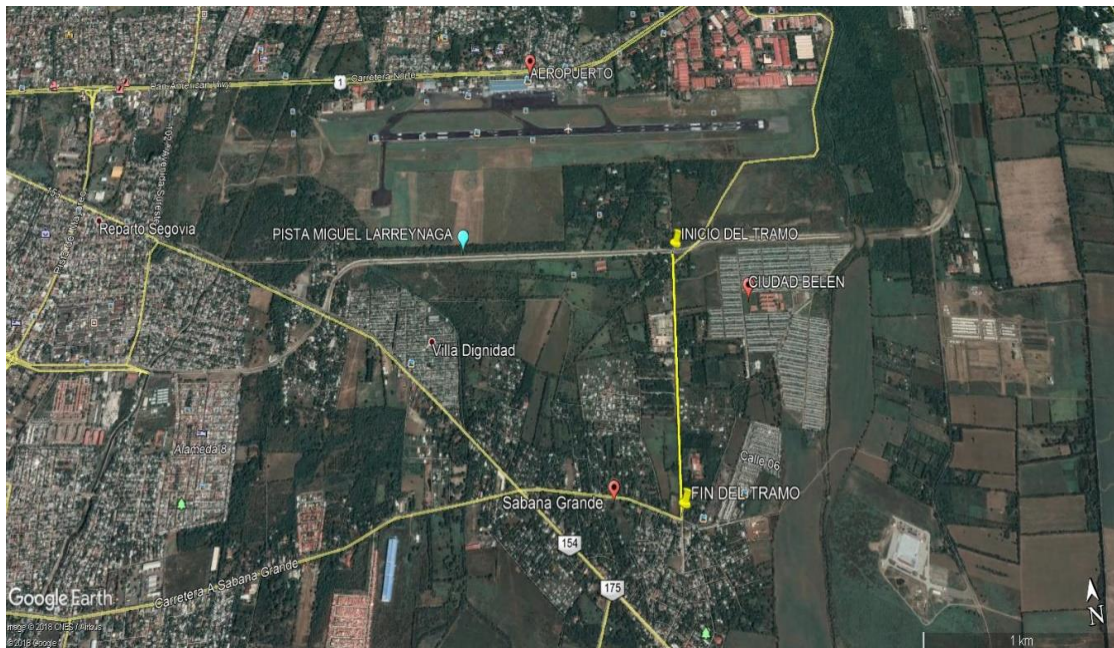
ANEXOS A: UBICACIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LA VIA

Figura 28: Mapa de Macro Localización – Tramo de Pista Larreynaga a Sabana Grande



Fuente: Google Earth

Figura 29: Mapa de Micro Localización – Tramo de Pista Larreynaga a Sabana Grande



Fuente: Google Earth

Figura 30: Situación Actual de salida del Tramo. Est. 1+300



Fuente: Elaboración Propia

Figura 31: Foco de contaminación Est. 1+200



Fuente: Elaboración Propia

Figura 32: Situación Actual de entrada a Nueva Jerusalén. Est.0+740



Fuente: Elaboración Propia

Figura 33: Acumulación de agua en el tramo. Est. 0+700



Fuente: Elaboración Propia

















Figura 34: Polvaredas. Est. 0+740



Fuente: Elaboración Propia

ANEXOS B: ESTUDIO DEL TRANSITO

Tabla 67: Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Trafico de la oficina de Diagnostico, Evaluación de pavimentos y puentes

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, Cuadracicl, 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 Tx-Sx<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx>=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 AGRÍCOLAS		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 (Tractores - 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 (Semovientes).

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2017

Tabla 68: Conteo vehicular del tramo Pista Larreynaga a Sabana Grande día miércoles (12 horas)

Conteo Vehicular, Dia Miercoles 6 de abril del 2022. Tramo: Pista Larreynaga a Sabana Grande.																		
hora	Motos	Vehiculo de pasajero						Vehiculo de carga								Equipo Pesados		Total
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 15-30 s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	T3S3	V.A	V.C	
6 - 7am	120	5	5	11	5	0	10	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	162
7- 8am	63	17	21	14	10	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	131
8 - 9am	56	13	11	2	4	0	0	1	0	5	0	0	0	1	0	0	0	93
9 - 10am	54	14	12	2	2	0	0	5	5	4	0	0	0	2	1	0	0	101
10 - 11am	44	6	14	6	1	0	0	7	2	3	0	0	0	2	0	0	0	85
11 - 12pm	47	5	12	5	0	0	0	5	0	1	0	0	0	1	1	0	0	77
12 - 1pm	37	12	2	2	2	0	0	2	2	2	0	0	0	3	0	0	0	64
1 - 2pm	38	6	18	1	0	1	2	5	0	5	0	0	0	2	2	0	0	80
2 - 3pm	39	16	18	6	3	0	3	10	2	4	2	0	0	2	0	0	0	105
3 - 4pm	50	10	10	4	7	0	0	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	88
4 - 5pm	49	10	20	5	7	0	3	6	0	6	0	0	0	3	0	0	0	109
5 - 6pm	67	17	25	12	10	3	6	11	7	6	0	0	0	3	2	0	0	169
TOTAL	664	131	168	70	51	4	24	61	20	44	2	0	0	19	6	0	0	1264

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69: Conteo vehicular del tramo Pista Larreynaga a Sabana Grande día jueves (12 horas).

Conteo Vehicular, Dia Jueves 7 de abril del 2022. Tramo: Pista Larreynaga a Sabana Grande.																		
Hora	Motos	Vehiculos de pasajeros						Vehiculos de carga								Equipo Pesados		Total
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	T3S3	V.A	V.C	
6 - 7am	160	14	13	6	4	0	10	3	0	2	0	0	0	0	4	0	0	216
7 - 8am	61	7	19	10	4	2	0	7	2	3	0	0	0	0	0	0	0	115
8 - 9am	36	12	10	8	6	0	3	7	3	0	0	0	0	3	2	0	2	92
9 - 10am	37	10	16	3	7	0	2	10	3	3	2	0	0	2	0	0	0	95
10 - 11am	37	12	8	7	4	0	2	6	5	2	0	0	0	0	4	0	0	87
11 - 12pm	29	7	11	5	4	0	0	6	4	3	0	0	0	0	0	0	0	69
12 - 1pm	51	12	8	5	7	0	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	98
1 - 2:pm	44	3	13	2	2	0	2	6	5	0	0	0	0	2	0	0	0	79
2 - 3pm	38	5	12	4	5	0	0	8	4	4	0	0	0	2	2	0	0	84
3 - 4pm	22	8	12	4	3	0	3	13	2	2	0	0	0	0	0	0	2	71
4 - 5pm	64	7	23	4	6	0	5	14	2	7	0	0	0	7	0	0	0	139
5 - 6pm	68	16	19	11	11	0	6	7	0	10	0	0	0	0	3	0	0	151
TOTAL	647	113	164	69	63	2	33	97	35	36	2	0	0	16	15	0	4	1,296

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70: Conteo vehicular del tramo Pista Larreynaga a Sabana Grande día viernes (12 horas).

Conteo Vehicular Día, Viernes 8 de abril del 2022. Tramo: Pista Larreynaga a Sabana Grande.																		
Hora	Motos	Vehículos de pasajeros						Vehículos de carga						Equipo Pesados		Total		
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s	Bus 30+ s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	T3S3		V.A	V.C
6 - 7am	137	17	17	7	10	2	5	8	2	3	0	0	0	4	0	0	2	214
7 - 8am	78	16	22	6	6	0	2	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	144
8 - 9am	50	13	13	7	4	2	2	5	2	4	0	0	0	0	3	0	0	105
9 - 10am	29	10	7	10	0	0	3	10	3	3	0	0	0	0	2	0	2	79
10 - 11am	48	5	16	3	4	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82
11 - 12pm	47	5	14	7	3	0	0	5	2	3	0	0	0	2	3	0	0	91
12 - 1pm	37	8	10	4	2	0	0	6	3	3	0	0	0	3	3	0	0	79
1 - 2pm	44	7	11	6	5	0	3	7	2	3	0	0	0	3	0	0	0	91
2 - 3pm	40	7	13	4	6	0	0	8	0	4	0	0	0	0	2	0	0	84
3 - 4pm	42	5	8	3	5	2	5	10	10	5	2	0	0	2	2	0	2	103
4 - 5pm	45	12	22	5	8	2	7	12	8	7	0	0	0	3	0	0	0	131
5 - 6pm	103	20	26	10	14	3	10	14	6	11	2	0	0	2	2	0	0	223
TOTAL	700	125	179	72	67	11	37	102	41	46	4	0	0	19	17	0	6	1,426







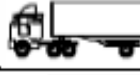





Fuente: Elaboración propia

Tabla 71: Porcentaje de tránsito de Diseño

Porcentaje de Tránsito Diseño (TD)				
Tipo de Vehículo		TD	% TD	% TD Total
Vehículos Livianos	Autos	830,803	20.19	67.64
	Jeep	465,450	11.31	
	Camioneta	1,071,035	26.03	
	Micro Bus	375,363	9.12	
	Mini Bus	40,039	0.97	
Vehículo Pesado	Bus	190,184	4.62	32.36
	Camion Ligero	455,440	11.07	
	C2	180,174	4.38	
	C3	270,261	6.57	
	T2S2	15,015	0.36	
	T3S2	120,116	2.92	
	T3S3	85,082	2.07	
V.C	15,015	0.36		
Total		4,113,976	100	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72: Diagrama de cargas permisibles para Vehículos Pesados.

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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura vial (MTI)

Tabla 73: Diagrama de cargas permisibles para Vehículos Liviano y Pasajeros.

Tipo de Vehículo	Peso por eje (TON)	Peso por eje (LBS)
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-15-30	4/8	8800/17600
C-2 LIV	4/8	8800/17600
BUS=C2	5/10	11000/22000

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Tabla 74: Factores de Carga para Pavimentos rígido, ejes simples $P_t = 2.5$.

Appendix D

D-15

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 75: Factores de Carga para Pavimentos rígido, ejes dobles Pt = 2.5.

D-16

Design of Pavement Structures

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 76: Factores de Carga para Pavimentos rígido, ejes triples $P_t = 2.5$.

Appendix D

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 77: Porcentaje de ejes equivalentes

Porcentaje de ejes equivalentes (ESAL)				
Tipo de Vehiculo		ESAL Diseño	% ESAL	% ESAL Total
Vehiculos livianos	Autos	631	0.02	2
	Jeep	354	0.01	
	Camioneta	4477	0.15	
	Micro Bus	22672	0.75	
	Mini Bus	39286	1.30	
Vehiculos pesados	Bus	444840	14.76	98
	Camion Ligero	446878	14.83	
	C2	421427	13.99	
	C3	672545	22.32	
	T2S2	55509	1.84	
	T3S2	518781	17.22	
	T3S3	330034	10.95	
	V.C	55509	1.84	
Total		3,012,943	100	100

Fuente:

Elaboración propia

ANEXOS C: ESTUDIO DE SUELOS

Figura 35: Excavación del sondeo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 36: Muestra de sondeo



Fuente: Elaboración Propia

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78: Cantidad de material para determinar contenido de humedad.

Maximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estandar	Masa minima recomendada de especimen de ensayo humedo para contenidos de humedad reportados al	
		± 0.1%	± 1%
2 mm o menos	N° 10	20 g	20 g *
4,75 mm	N° 4	100 g	20 g *
9.50 mm	3/8"	500 g	50 g
19.00 mm	3/4"	2.5 kg	250 g
37.50 mm	1 1/2"	10 kg	1 kg
75.00 mm	3"	50 kg	5 kg

Fuente: Norma de Ensaye ASTM 2216.

Nota: (*) Se usará no menos de 20 g para que sea representativa.

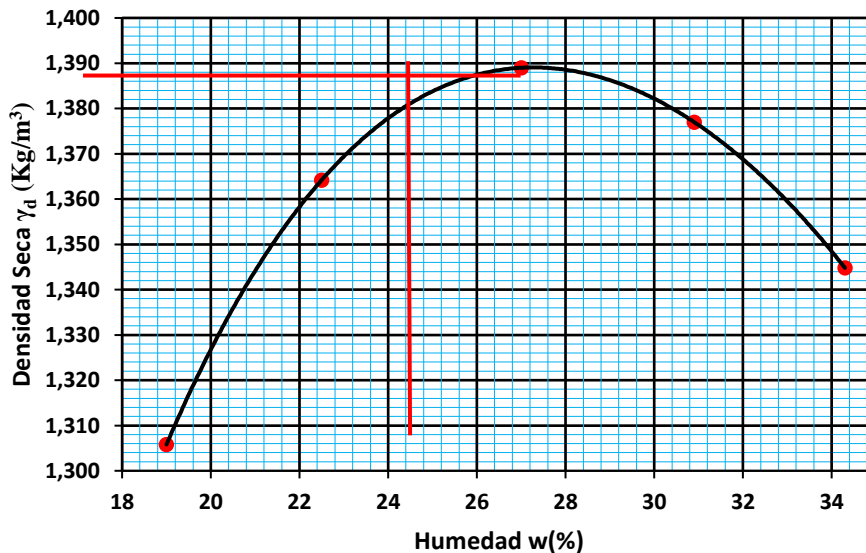
Tabla 79: Resultados del Ensayo Proctor Estándar

A - 4				
ESPECIMEN	1	2	3	4
% de Agua Propuesta	19	23	31	35
Cantidad de Agua (ml)	855	1035	1395	1575
Volumen del Cilindro (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Peso del Molde Cilíndrico (Kg)	6.616	6.616	6.616	6.616
Peso del Mater. + Molde (Kg)	9.879	10.124	10.400	10.408
Peso del Material (Kg)	3.263	3.508	3.784	3.792
Código de Tara	A - 07	G - 64	CH - M	E - YO
Peso de Tara (gr)	40.0	48.4	41.5	47.3
Peso Húmedo + Tara (gr)	316.9	318.9	313.3	456.3
Peso Seco + Tara (gr)	272.7	269.3	249.2	351.9
Peso de Material Húmedo (gr)	276.9	270.5	271.8	409.0
Peso de Material Seco (gr)	232.7	220.9	207.7	304.6
% de Humedad	19.0	22.5	30.9	34.3
Peso Volumétrico Húmedo γ_H (Kg/m ³)	1,553.8	1,670.5	1,801.9	1,805.7
Peso Volumétrico Seco γ_S (Kg/m ³)	1,305.8	1,364.2	1,377.0	1,344.8
Densidad Seca Maxima γ_{dmax} (Kg/m ³)	1,389			
Humedad Optimo (%w _{opt})	27			

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 15: Curva de Compactación

DENSIDAD SECA vs HUMEDAD



Fuente: Elaboración propia

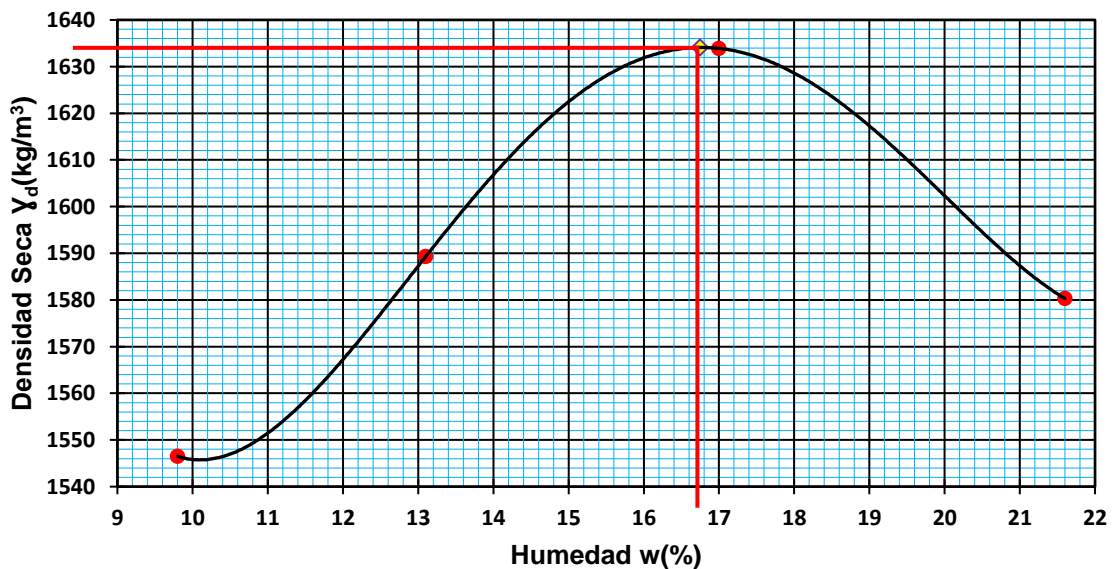
Tabla 80: Resultados del Ensayo Proctor Estándar

A - 2 - 4				
ESPECIMEN	1	2	3	4
% de Agua Propuesta	8	12	16	20
Cantidad de Agua (ml)	360	540	720	900
Volumen del Cilindro (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Peso del Molde Cilíndrico (Kg)	6.616	6.616	6.616	6.616
Peso del Mater. + Molde (Kg)	10.181	10.390	10.629	10.651
Peso del Material (Kg)	3.565	3.774	4.013	4.035
Código de Tara	D - 33	M - 3	A - 100	I - M - R
Peso de Tara (gr)	53.5	54.0	31.9	32.2
Peso Húmedo + Tara (gr)	347.9	292.6	298.1	363.4
Peso Seco + Tara (gr)	321.7	265.0	259.5	304.6
Peso de Material Húmedo (gr)	294.4	238.6	266.2	331.2
Peso de Material Seco (gr)	268.2	211.0	227.6	272.4
% de Humedad	9.8	13.1	17.0	21.6
Peso Volumétrico Húmedo γ_H (Kg/m ³)	1,697.6	1,797.1	1,911.0	1,921.4
Peso Volumétrico Seco γ_s (Kg/m ³)	1,546.5	1,589.3	1,633.9	1,580.3
Densidad Seca Maxima γ_{dmax} (Kg/m ³)	1,634.1			
Humedad Optimo (% w_{opt})	16.75			

Fuente: Elaboración propia

Grafico 16: Curva de Compactación

CURVA DE COMPACTACION



Fuente: Elaboración propia

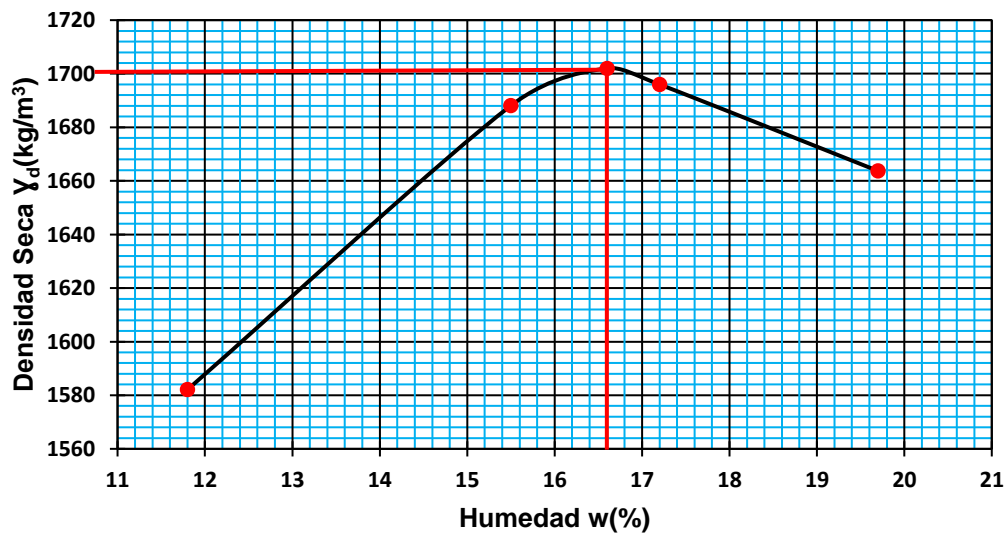
Tabla 81: Resultados del Ensayo Proctor Estándar

A - 3				
ESPECIMEN	1	2	3	4
% de Agua Propuesta	12	16	18	20
Cantidad de Agua (ml)	540	720	810	900
Volumen del Cilindro (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Peso del Molde Cilíndrico (Kg)	6.616	6.616	6.616	6.616
Peso del Mater. + Molde (Kg)	10.332	10.709	10.790	10.797
Peso del Material (Kg)	3.716	4.093	4.174	4.181
Código de Tara	PI - 03	P - 12	D - 12	A - 70
Peso de Tara (gr)	48.4	54.1	47.8	41.1
Peso Húmedo + Tara (gr)	350.5	355.8	361.3	411.0
Peso Seco + Tara (gr)	318.5	315.4	315.3	350.2
Peso de Material Húmedo (gr)	302.1	301.7	313.5	369.9
Peso de Material Seco (gr)	270.1	261.3	267.5	309.1
% de Humedad	11.8	15.5	17.2	19.7
Peso Volumétrico Húmedo γ_H (Kg/m ³)	1,769.5	1,949.0	1,987.6	1,991.0
Peso Volumétrico Seco γ_s (Kg/m ³)	1,582.1	1,688.1	1,696.0	1,663.7
Densidad Seca Maxima γ_{dmax} (Kg/m ³)	1,702.0			
Humedad Optimo (%w _{opt})	16.6			

Fuente: Elaboración propia

Grafica 17: Curva de Compactación

CURVA DE COMPACTACION



Fuente: Elaboración propia

Tabla 82: Nivel de Penetración

Lecturas	Penetraciones	
	Milímetros	Pulgadas
Primera	0.00	0.0000
Segunda	0.64	0.0250
Tercera	1.27	0.0500
Cuarta	1.91	0.0750
Quinta	2.54	0.1000
Sexta	3.18	0.1250
Séptima	3.81	0.1500
Octava	4.45	0.1750
Novena	5.08	0.2000
Decima	7.62	0.3000
Undécima	10.16	0.4000
Duodécima	12.70	0.5000

Fuente: Elaboración propia

Figura 37: Procedimiento de corrección de curva esfuerzo vs penetración

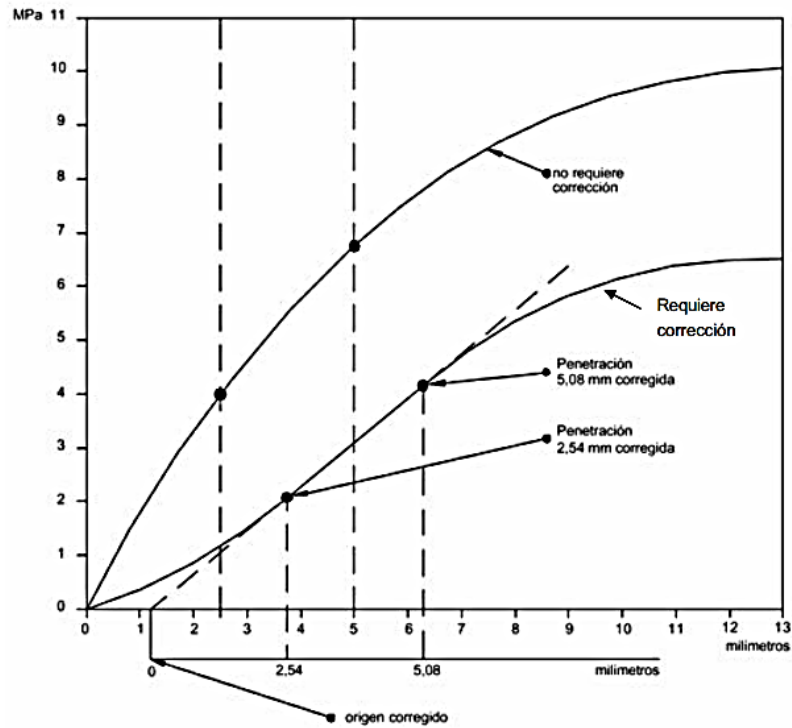
Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman de la curva los valores de presión correspondientes a 2.54 y 5.08 mm (0,1" y 0,2") de penetración.

Si la curva presenta un punto de inflexión (ver figura C.VI), la tangente a la curva en ese punto cortará el eje de abscisas en otro (0 corregido), el cual se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

Con los valores de penetración obtenidos como se acaba de indicar, se calculan los valores de Relación de Soporte correspondientes, dividiendo las presiones correspondientes entre los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa (1000 lb/Pulg²) y 10.3 Mpa (1500 lb/pulg²) respectivamente, y se multiplica por 100.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 38: Curva de esfuerzo vs penetración



Fuente: Guía de laboratorio de suelo de la universidad Nacional de Ingeniería

Tabla 83: Recopilación de Resultados del Ensayo CBR

A - 1 - b (0)			
Numero de muestras	1	2	3
Molde No.:	A - 4	A - 3	A - 2
N° de Capas:	3	3	3
N° de Golpes por Capa:	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.112	7.119	7.146
Peso del molde + material (kg):	11.081	11.270	11.478
Peso Volumétrico Húmedo γ_h (Kg/m ³):	1,890.0	1,976.7	2,062.9
N° de tara:	PI - 03	E - YO	A - 12
Peso de tara (grs):	48.3	47.4	41.7
Peso de tara + material húmedo (grs):	284.8	281.3	402.6
Peso de tara + material Seco (grs):	255.7	254.1	358.9
Contenido de Humedad (%):	14.0%	13.2%	13.8%
Peso Volumétrico Seco γ_d (Kg/m ³):	1,657.4	1,746.8	1,813.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84: Datos de ensaye de carga del CBR

N° de golpes:		10				25				56			
PENETRACION		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos	
mm	Pulg			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²
0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.64	0.025	3	158.9	158.9	53.0	5	264.8	264.8	88.3	4	211.8	480.0	160.0
1.27	0.050	6	317.7	317.7	105.9	10	529.5	529.5	176.5	11	582.5	960.0	320.0
1.91	0.075	8	423.6	423.6	141.2	15	794.3	794.3	264.8	19	1,006.1	1,470.0	490.0
2.54	0.100	10	529.5	529.5	176.5	21	1,112.0	1,112.0	370.7	28	1,482.6	1,995.0	665.0
3.18	0.125	12	635.4	635.4	211.8	26	1,376.7	1,376.7	458.9	37	1,959.2	2,445.0	815.0
3.81	0.150	14	741.3	741.3	247.1	31	1,641.5	1,641.5	547.2	46	2,435.7	2,880.0	960.0
4.45	0.175	16	847.2	847.2	282.4	36	1,906.2	1,906.2	635.4	54	2,859.3	3,260.0	1,086.7
5.08	0.200	18	953.1	953.1	317.7	40	2,118.0	2,118.0	706.0	61	3,230.0	3,600.0	1,200.0
7.62	0.300	24	1,270.8	1,270.8	423.6	55	2,912.3	2,912.3	970.8	87	4,606.7	4,830.0	1,610.0
10.16	0.400	29	1,535.6	1,535.6	511.9	66	3,494.7	3,494.7	1,164.9	104	5,506.8	5,790.0	1,930.0
12.70	0.500	33	1,747.4	1,747.4	582.5	75	3,971.3	3,971.3	1,323.8	121	6,407.0	6,600.0	2,200.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85: Resultados de CBR a penetración de 0.1” y 0.2”

PROCTOR ESTANDAR		$\gamma_{dmax} = 1,753.0 \text{ Kg/m}^3$			$\%w_{Optima} = 15\%$		$w = 900 \text{ ml}$	
N° de golpes	%w	γ_h	$\gamma_d \text{ producida}$	% comp. Producida	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R
10	14.0	1,890.0	1,657.4	94.5%	0.1	17.7	0.2	21.2
25	13.2	1,976.7	1,746.8	99.6%	0.1	37.1	0.2	47.1
56	13.8	2,062.9	1,813.1	103.4%	0.1	49.4	0.2	71.8

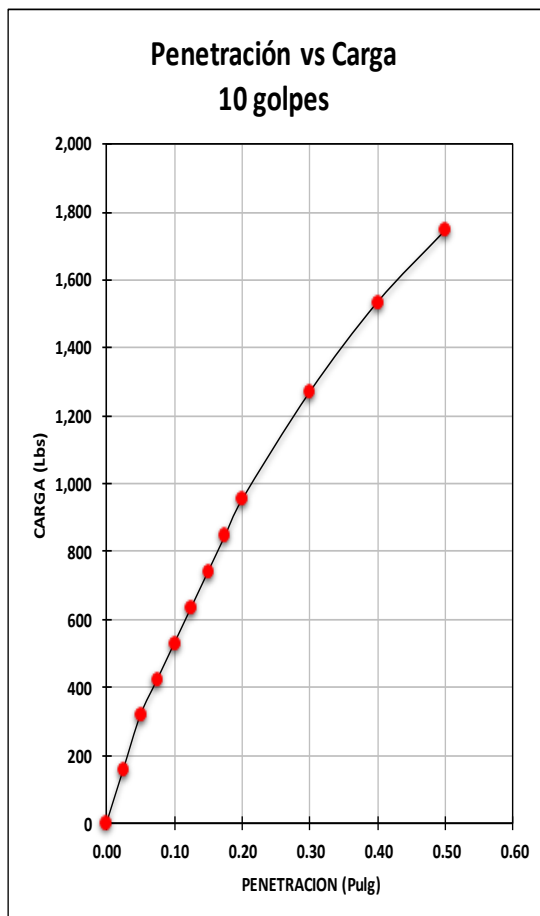
Fuente: Elaboración propia

Tabla 86: CBR corregidos a penetración de 0.1” y 0.2”

N° de golpes	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R	% compactación	γ_d	C.B.R
10	0.1	17.7	0.2	21.2	90%	1,578.5	1.7
25	0.1	37.1	0.2	47.1	95%	1,666.2	23.7
56	0.1	66.5	0.2	80.0	100%	1,753.8	50.6

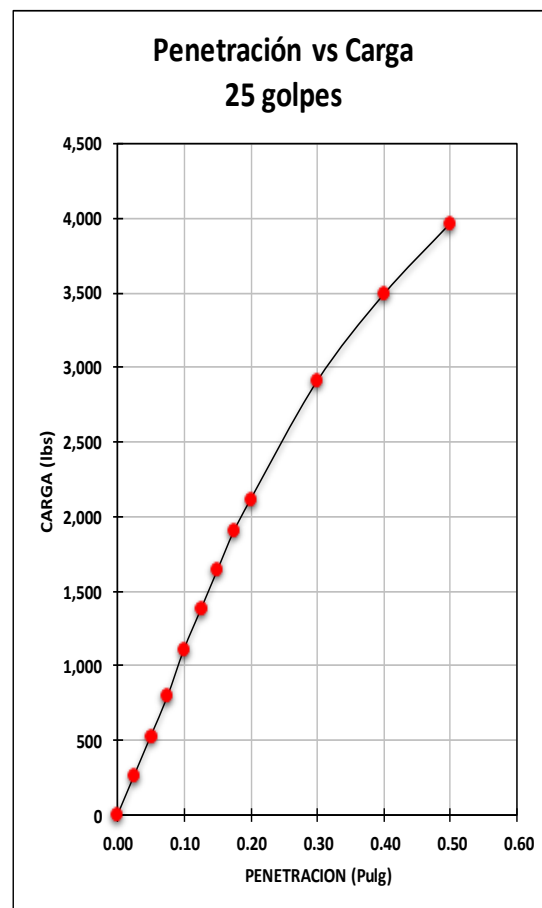
Fuente: Elaboración propia

Grafica 18: Suelo A – 1 – b
Curva carga - penetración



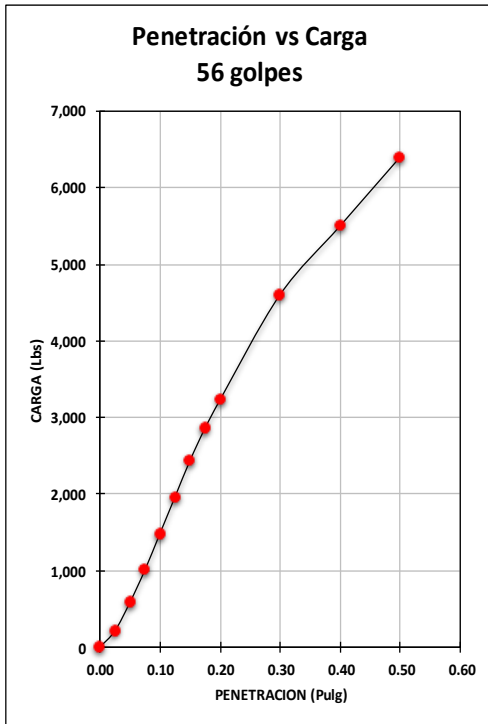
Fuente: Elaboración propia
Nota: No necesita corrección

Grafica 19: Suelo A – 1 – b
Curva carga - penetración



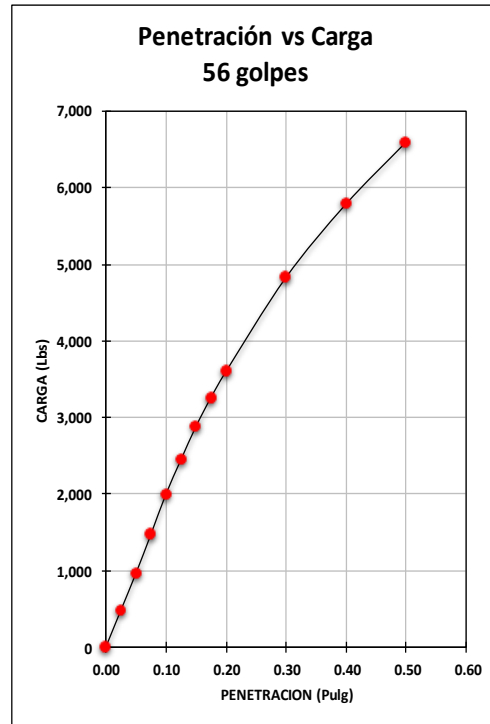
Fuente: Elaboración propia
Nota: No necesita corrección

Grafica 20: Suelo A – 1 – b
Curva carga – penetración



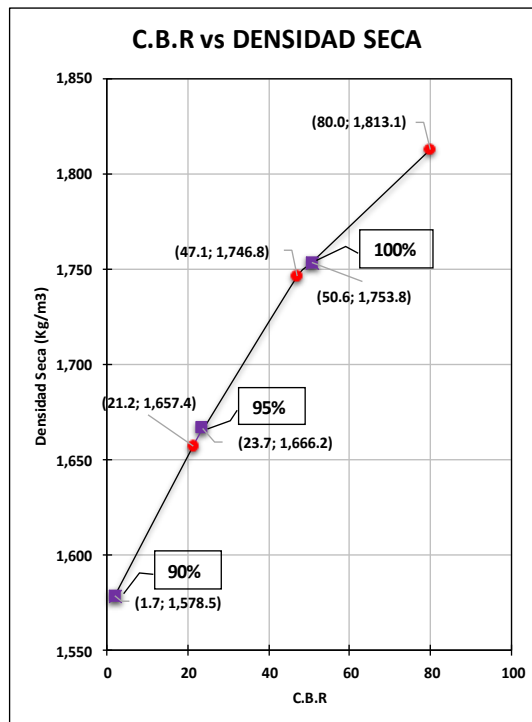
Fuente: Elaboración propia
 Nota: Sin corrección

Grafica 21: Suelo A – 1 – b
Curva carga - penetración



Fuente: Elaboración propia
 Nota: Con corrección

Grafica 22: Suelo A – 1 – b; CBR vs DENSIDAD SECA



Fuente: Elaboración propia

Tabla 87: Recopilación de Resultados del Ensayo CBR

A - 4 (0)			
Numero de muestras	1	2	3
Molde No.:	A - 4	A - 3	A - 2
N° de Capas:	3	3	3
N° de Golpes por Capa:	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.112	7.150	7.117
Peso del molde + material (kg):	10.521	10.831	10.903
Peso Volumétrico Húmedo γ_h :	1,623.3	1,752.9	1,802.9
N° de tara:	A - 70	B - 12 - 1	A - 05
Peso de tara (grs):	41.2	47.4	41.7
Peso de tara + material húmedo (grs):	333.8	295.7	356.1
Peso de tara + material Seco (grs):	272.7	241.1	283.3
Contenido de Humedad (%):	26.4%	28.2%	30.1%
Peso Volumétrico Seco γ_d (Kg/m ³):	1,284.4	1,367.4	1,385.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 88: Datos de ensaye de carga del CBR

N° de golpes:		10				25				56			
PENETRACION		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos	
mm	Pulg			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²
0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.64	0.025	1	53.0	53.0	17.7	3	158.9	121.3	40.4	4	211.8	154.3	51.4
1.27	0.050	2	105.9	105.8	35.3	4	211.8	198.4	66.1	7	370.7	314.2	104.7
1.91	0.075	2	105.9	137.8	45.9	5	264.8	264.8	88.3	9	476.6	474.0	158.0
2.54	0.100	3	158.9	158.9	53.0	6	317.7	317.7	105.9	12	635.4	635.4	211.8
3.18	0.125	3	158.9	178.6	59.5	7	370.7	370.7	123.6	14	741.3	741.3	247.1
3.81	0.150	3	158.9	195.1	65.0	8	423.6	423.6	141.2	15	794.3	826.7	275.6
4.45	0.175	3	158.9	210.5	70.2	9	476.6	476.6	158.9	16	847.2	900.0	300.0
5.08	0.200	4	211.8	222.7	74.2	10	529.5	529.5	176.5	18	953.1	953.1	317.7
7.62	0.300	5	264.8	264.8	88.3	14	741.3	741.3	247.1	22	1,164.9	1,164.9	388.3
10.16	0.400	5	264.8	294.3	98.1	18	953.1	953.1	317.7	25	1,323.8	1,323.8	441.3
12.70	0.500	6	317.7	317.7	105.9	21	1,112.0	1,112.0	370.7	28	1,482.6	1,482.6	494.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89: Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"

PROCTOR ESTANDAR		$\gamma_{dmax} = 1,389.00 \text{ Kg/m}^3$			$\%w_{Optima} = 27\%$		$w = 1620 \text{ ml}$	
N° de golpes	%w	γ_h	$\gamma_{d, producida}$	% comp. Producida	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R
10	26.4	1,623.3	1,284.4	92.5%	0.1	5.3	0.2	4.7
25	28.2	1,752.9	1,367.4	98.4%	0.1	10.6	0.2	11.8
56	30.1	1,802.9	1,385.4	99.7%	0.1	21.2	0.2	21.2

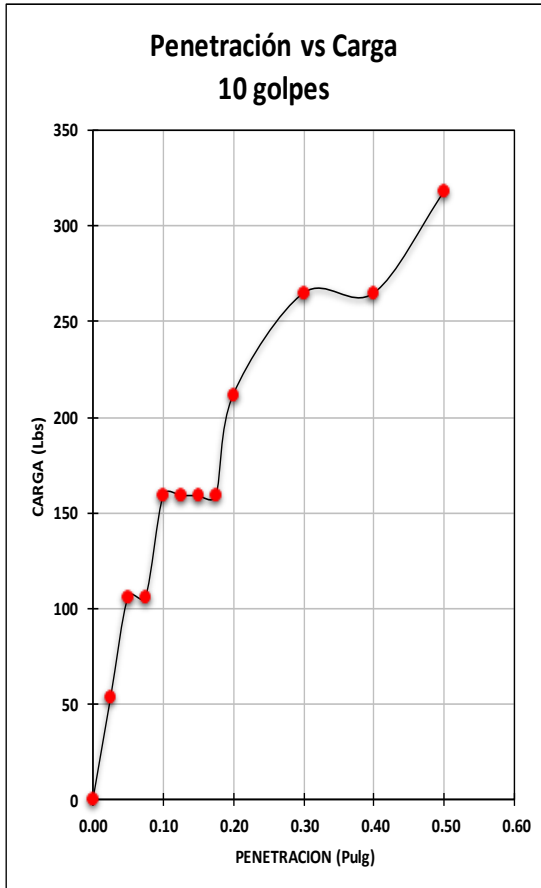
Fuente: Elaboración propia

Tabla 90: CBR corregidos a penetración de 0.1” y 0.2”

N° de golpes	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R	% compactación	γ_d	C.B.R
10	0.1	5.3	0.2	4.9	90%	1,249.2	2
25	0.1	10.6	0.2	11.8	95%	1,319.6	7.8
56	0.1	21.2	0.2	21.2	100%	1,389.6	23.4

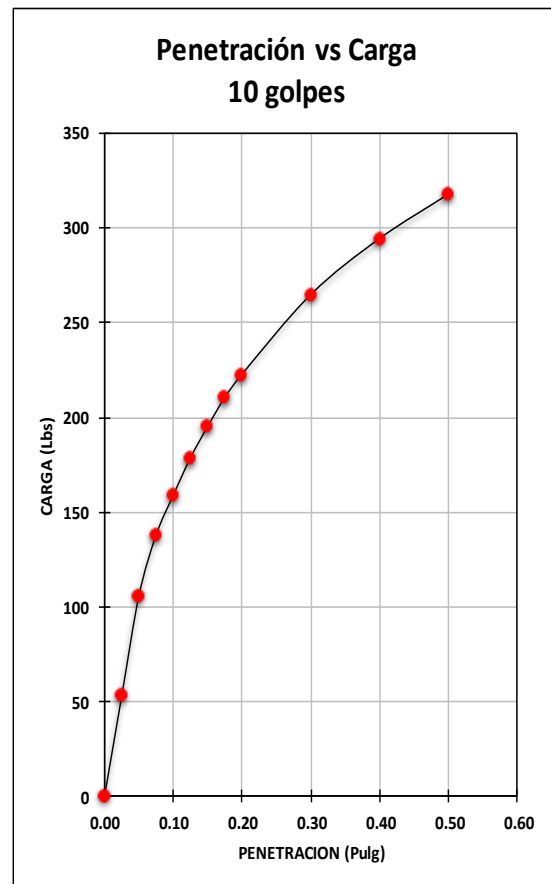
Fuente: Elaboración propia

**Grafica 23: Suelo A – 4
Curva carga - penetración**



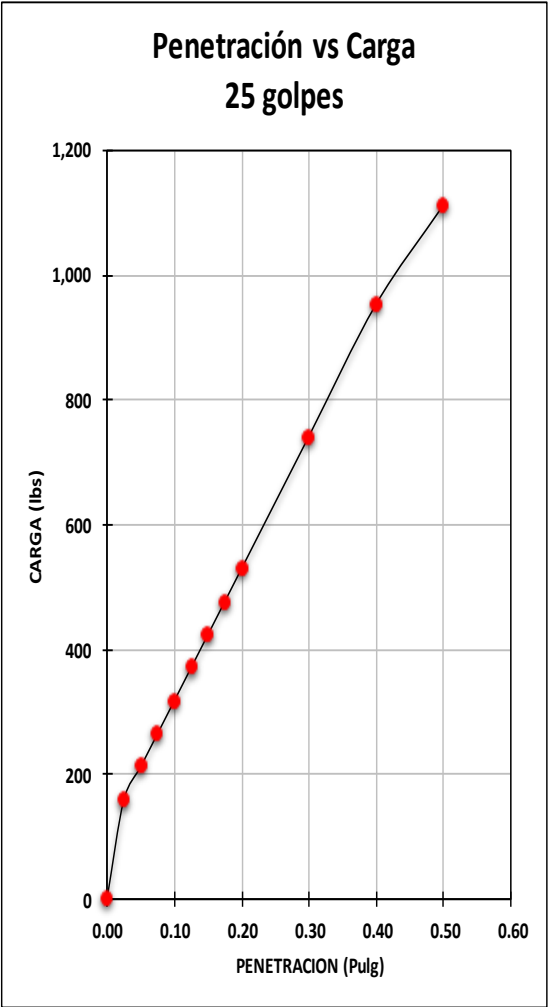
Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección

**Grafica 24: Suelo A – 4
Curva carga - penetración**



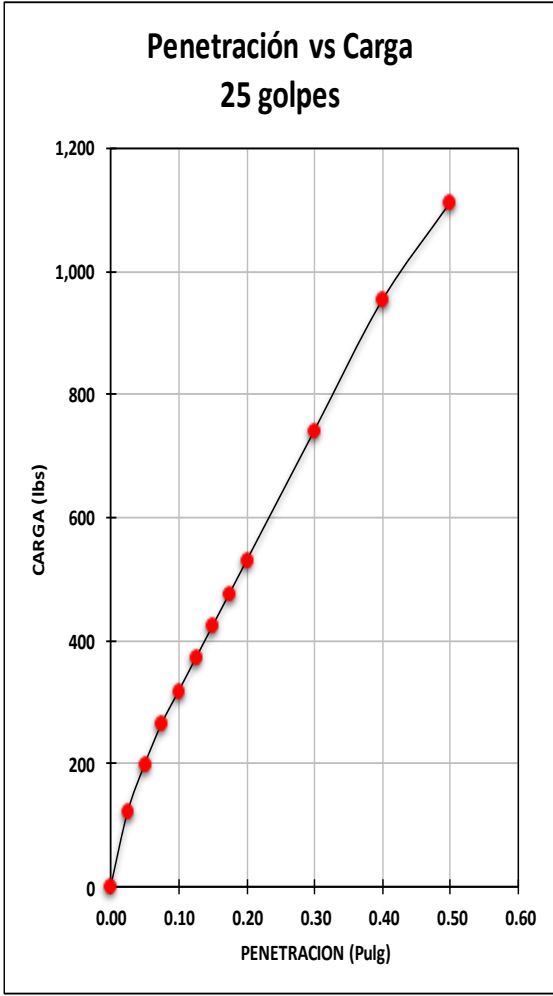
Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección

Grafica 25: Suelo A – 4
Curva carga - penetración



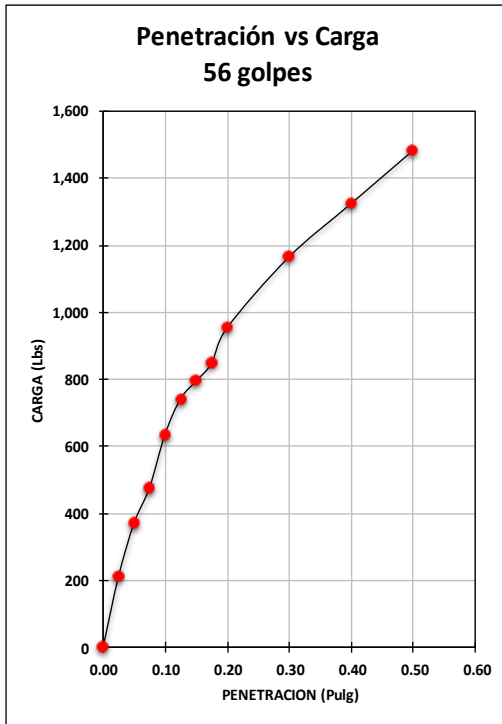
Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección

Grafica 26: Suelo A – 4
Curva carga - penetración



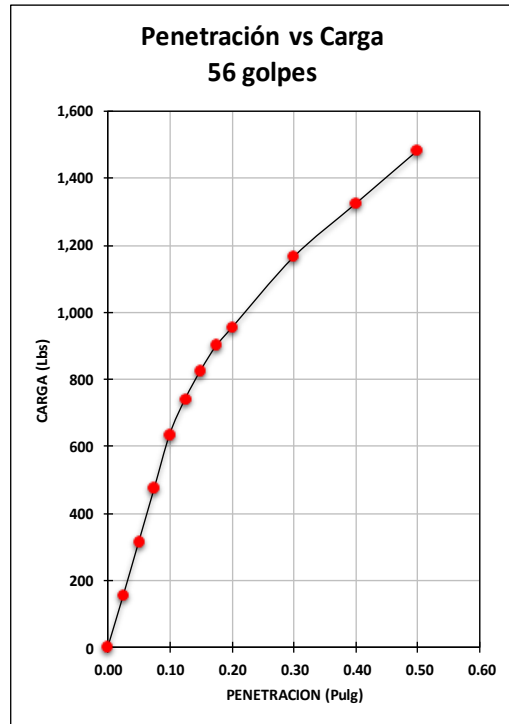
Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección

**Grafica 27: Suelo A – 4
Curva carga - penetración**



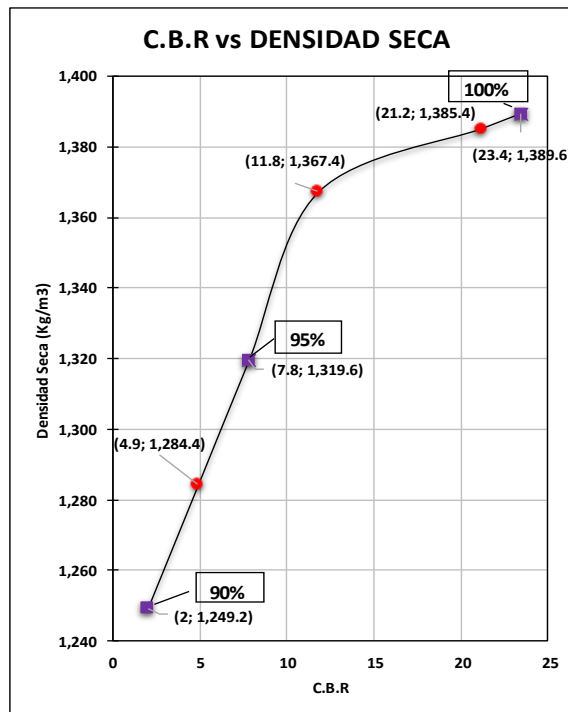
Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección

**Grafica 28: Suelo A – 4
Curva carga - penetración**



Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección

Grafica 29: Suelo A – 1 – b; CBR vs DENSIDAD SECA



Fuente: Elaboración propia

Tabla 91: Recopilación de Resultados del Ensayo CBR

A - 2 - 4(0)			
Numero de muestras	1	2	3
Molde No.:	A - 1	A - 2	A - 3
N° de Capas:	3	3	3
N° de Golpes por Capa:	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.081	7.145	7.119
Peso del molde + material (kg):	10.698	10.855	11.054
Peso Volumétrico Húmedo γ_h :	1,722.4	1,766.7	1,873.8
N° de tara:	A - 04	P - 03	K - 30
Peso de tara (grs):	41.7	48.4	41.6
Peso de tara + material húmedo (grs):	362.5	301.9	291.3
Peso de tara + material Seco (grs):	319.3	269.7	258.5
Contenido de Humedad (%):	15.6%	14.6%	15.1%
Peso Volumétrico Seco γ_d (Kg/m ³):	1,490.4	1,542.3	1627.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92: Datos de ensayo de carga del CBR

N° de golpes:		10				25				56			
PENETRACION		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos	
mm	Pulg			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²
0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.64	0.025	2	105.9	52.5	17.5	3	158.9	150.0	50.0	6	317.7	317.7	105.9
1.27	0.050	3	158.9	107.5	35.8	4	211.8	295.0	98.3	11	582.5	582.5	194.2
1.91	0.075	3	158.9	162.5	54.2	5	264.8	435.0	145.0	16	847.2	847.2	282.4
2.54	0.100	4	211.8	220.0	73.3	8	423.6	495.0	165.0	21	1,112.0	1,112.0	370.7
3.18	0.125	5	264.8	270.0	90.0	9	476.6	539.0	179.7	26	1,376.7	1,376.7	458.9
3.81	0.150	5	264.8	300.0	100.0	10	529.5	580.0	193.3	29	1,535.6	1,580.0	526.7
4.45	0.175	6	317.7	323.0	107.7	10	529.5	613.0	204.3	33	1,747.4	1,747.4	582.5
5.08	0.200	6	317.7	348.0	116.0	11	582.5	639.0	213.0	36	1,906.2	1,906.2	635.4
7.62	0.300	8	423.6	428.0	142.7	13	688.4	737.5	245.8	46	2,435.7	2,435.7	811.9
10.16	0.400	9	476.6	495.0	165.0	15	794.3	815.0	271.7	51	2,700.5	2,700.5	900.2
12.70	0.500	11	582.5	552.5	184.2	16	847.2	860.0	286.7	55	2,912.3	2,912.3	970.8

Fuente:

Elaboración propia

Tabla 93: Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"

PROCTOR ESTANDAR		$\gamma_{dmax} = 1,633.50 \text{ Kg/m}^3$			$\%w_{Optima} = 16.8\%$		$w = 1,008 \text{ ml}$	
N° de golpes	%w	γ_h	$\gamma_{d, \text{producid.}}$	% comp. Producida	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R
10	15.6	1,722.4	1,490.4	91.2%	0.1	7.1	0.2	7.1
25	14.6	1,766.7	1,542.3	94.4%	0.1	14.1	0.2	12.9
56	15.1	1,873.8	1,627.7	99.6%	0.1	37.1	0.2	42.4

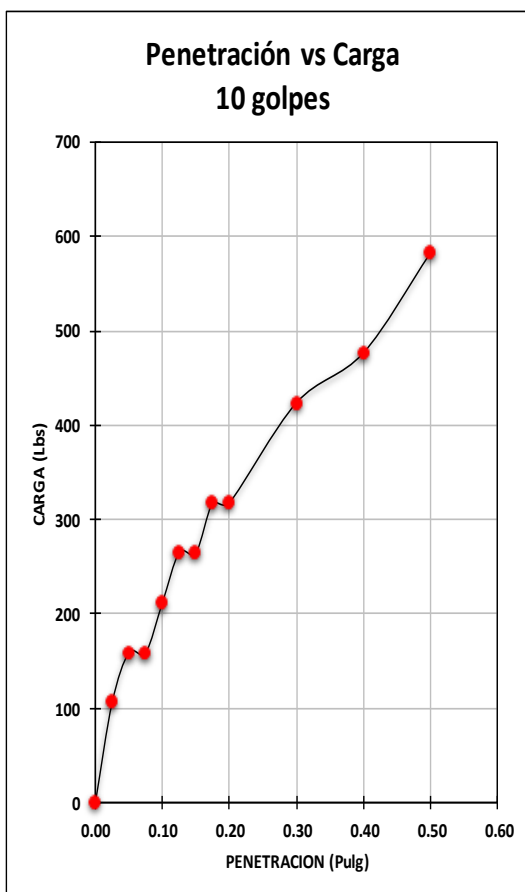
Fuente: Elaboración propia

Tabla 94: CBR corregidos a penetración de 0.1" y 0.2"

N° de golpes	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R	% compactación	Y _d	C.B.R
10	0.1	7.3	0.2	7.7	90%	1,470.9	5.3
25	0.1	16.5	0.2	14.2	95%	1,552.2	17.5
56	0.1	37.1	0.2	42.4	100%	1,634.3	44.6

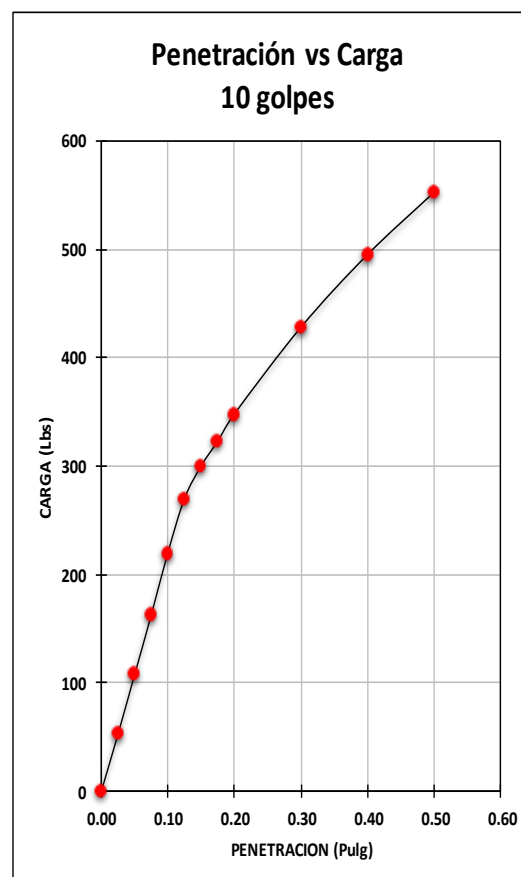
Fuente: Elaboración propia

**Grafica 30: Suelo A – 2 – 4
Curva carga - penetración**



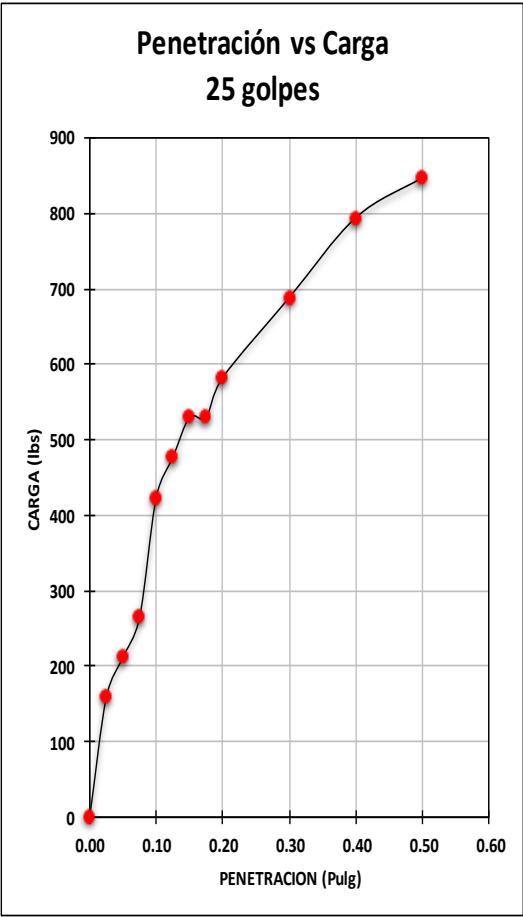
Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección

**Grafica 31: Suelo A – 2 – 4
Curva carga - penetración**



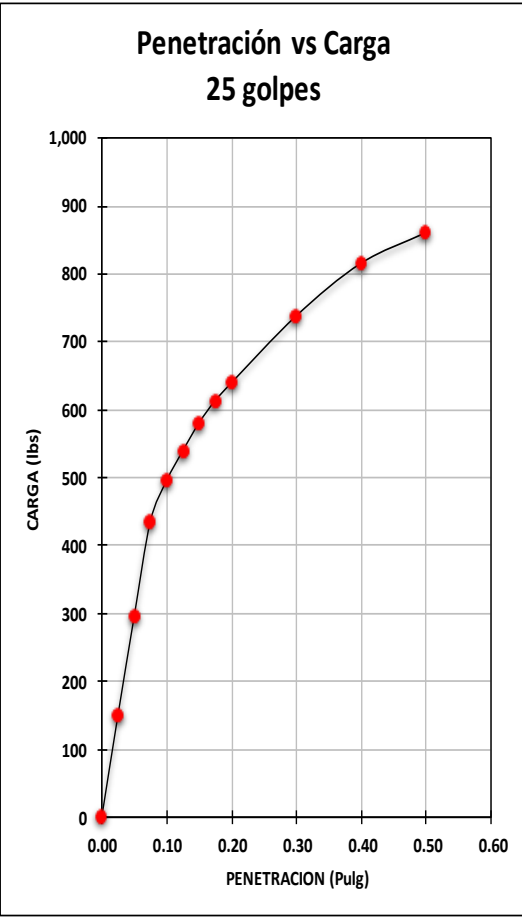
Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección

Grafica 32: Suelo A – 2 – 4
Curva carga - penetración



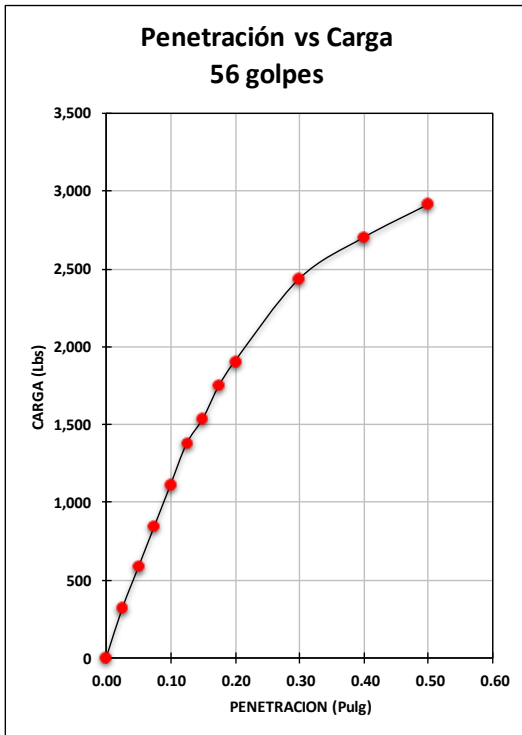
Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección

Grafica 33: Suelo A – 2 – 4
Curva carga - penetración



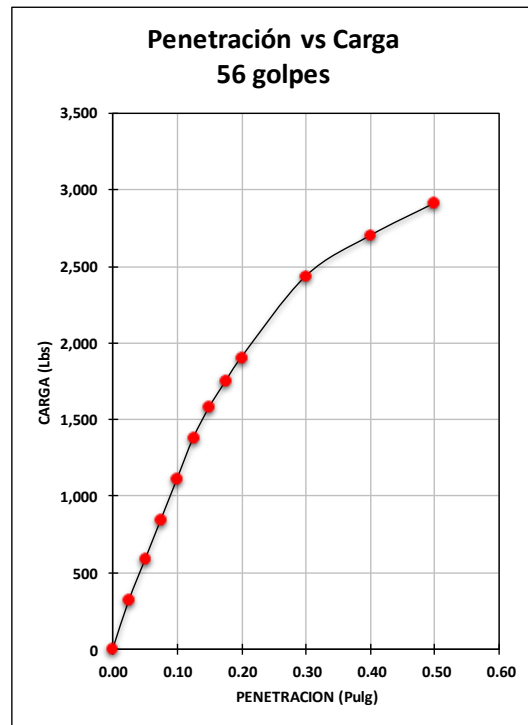
Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección

**Grafica 34: Suelo A – 2 – 4
Curva carga - penetración**



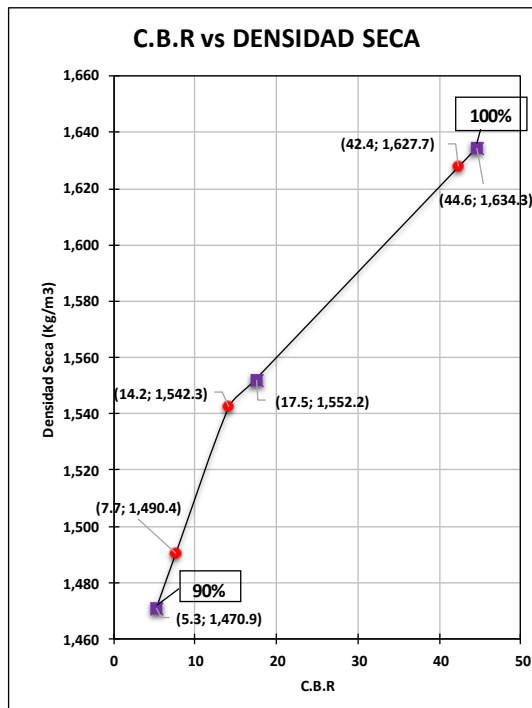
**Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección**

**Grafica 35: Suelo A – 2 – 4
Curva carga - penetración**



**Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección**

Grafica 36: Suelo A – 2 – 4; CBR vs DENSIDAD SECA



Fuente: Elaboración propia

Tabla 95: Recopilación de Resultados del Ensayo CBR

A - 3 (0)			
Numero de muestras	1	2	3
Molde No.:	A - 1	A - 2	A - 3
N° de Capas:	3	3	3
N° de Golpes por Capa:	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.081	7.145	7.119
Peso del molde + material (kg):	10.656	10.938	11.032
Peso Volumétrico Húmedo γ_h :	1,702.4	1,806.2	1,863.3
N° de tara:	A - 12	A - 03	CH - M
Peso de tara (grs):	41.9	41.2	41.6
Peso de tara + material húmedo (grs):	303.6	274.5	251.5
Peso de tara + material Seco (grs):	271.3	244.2	226.7
Contenido de Humedad (%):	14.1%	14.9%	13.4%
Peso Volumétrico Seco γ_d (Kg/m ³):	1,492.3	1,571.6	1,643.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 96: Datos de ensaye de carga del CBR

N° de golpes:		10				25				56			
PENETRACION		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos	
mm	Pulg			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²
0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.64	0.025	2	105.9	105.9	35.3	3	158.9	158.9	53.0	4	211.8	211.8	70.6
1.27	0.050	4	211.8	195.0	65.0	6	317.7	317.7	105.9	8	423.6	423.6	141.2
1.91	0.075	5	264.8	264.8	88.3	8	423.6	465.0	155.0	13	688.4	688.4	229.5
2.54	0.100	6	317.7	317.7	105.9	11	582.5	582.5	194.2	17	900.2	920.0	306.7
3.18	0.125	7	370.7	370.7	123.6	13	688.4	688.4	229.5	21	1,112.0	1,112.0	370.7
3.81	0.150	8	423.6	423.6	141.2	15	794.3	770.0	256.7	25	1,323.8	1,323.8	441.3
4.45	0.175	9	476.6	476.6	158.9	16	847.2	847.2	282.4	28	1,482.6	1,482.6	494.2
5.08	0.200	10	529.5	529.5	176.5	17	900.2	910.0	303.3	29	1,535.6	1,600.0	533.3
7.62	0.300	12	635.4	692.5	230.8	21	1,112.0	1,112.0	370.7	29	1,535.6	1,940.0	646.7
10.16	0.400	14	741.3	797.5	265.8	23	1,217.9	1,255.0	418.3	29	1,535.6	2,140.0	713.3
12.70	0.500	16	847.2	847.2	282.4	25	1,323.8	1,323.8	441.3	33	1,747.4	2,260.0	753.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 97: Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"

PROCTOR ESTANDAR		$\gamma_{dmax} = 1,702.00 \text{ Kg/m}^3$			$\%w_{Optima} = 16.6\%$		$w = 996 \text{ ml}$	
N° de golpes	%w	γ_h	$\gamma_d \text{ producida}$	% comp. Producida	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R
10	14.1	1,702.4	1,492.3	87.7%	0.1	10.6	0.2	11.8
25	14.9	1,806.2	1,571.6	92.3%	0.1	19.4	0.2	20.0
56	13.4	1,863.3	1,643.2	96.5%	0.1	30.0	0.2	34.1

Fuente:

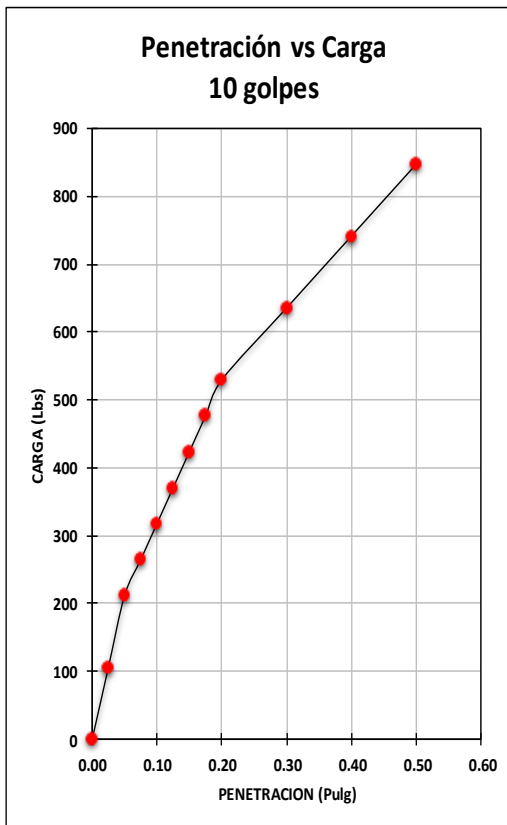
Elaboración propia

Tabla 98: CBR corregidos a penetración de 0.1” y 0.2”

N° de golpes	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R	% compactación	Y_d	C.B.R
10	0.1	10.6	0.2	11.8	90%	1,532.0	16
25	0.1	19.4	0.2	20.2	95%	1,617.6	30.1
56	0.1	30.7	0.2	35.6	100%	1,702.9	48.4

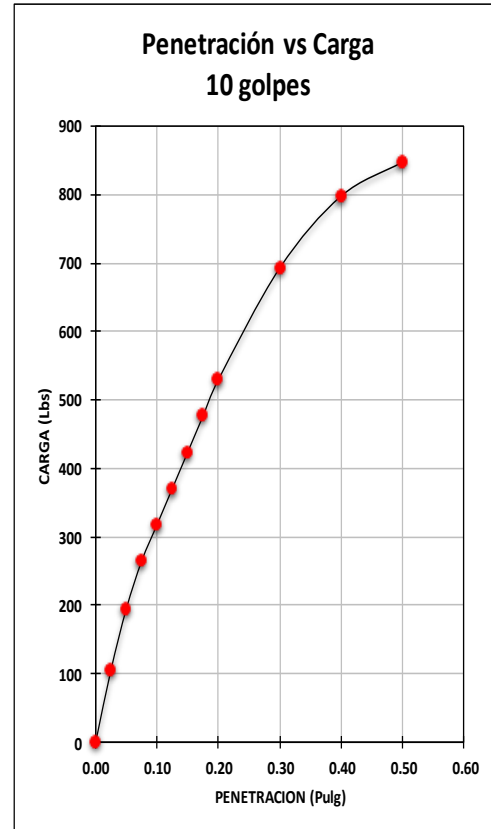
Fuente: Elaboración propia

**Grafica 37: Suelo A – 3
Curva carga - penetración**



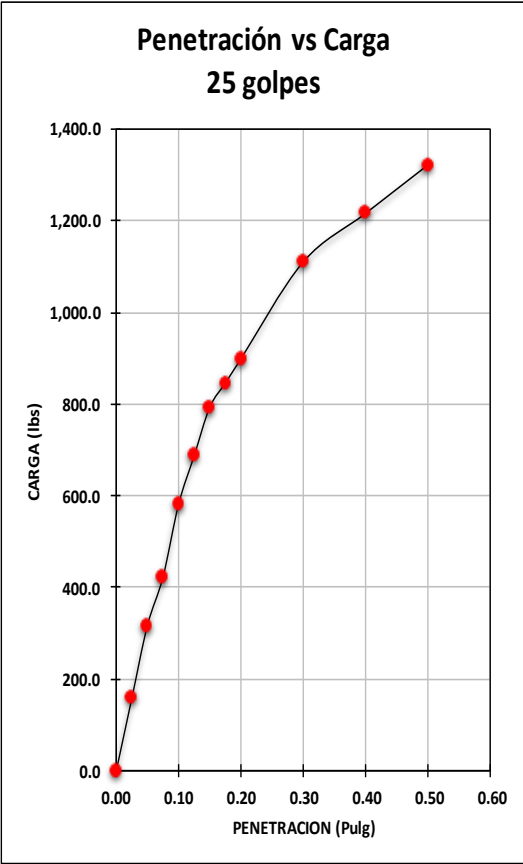
Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección

**Grafica 38: Suelo A – 3
Curva carga - penetración**



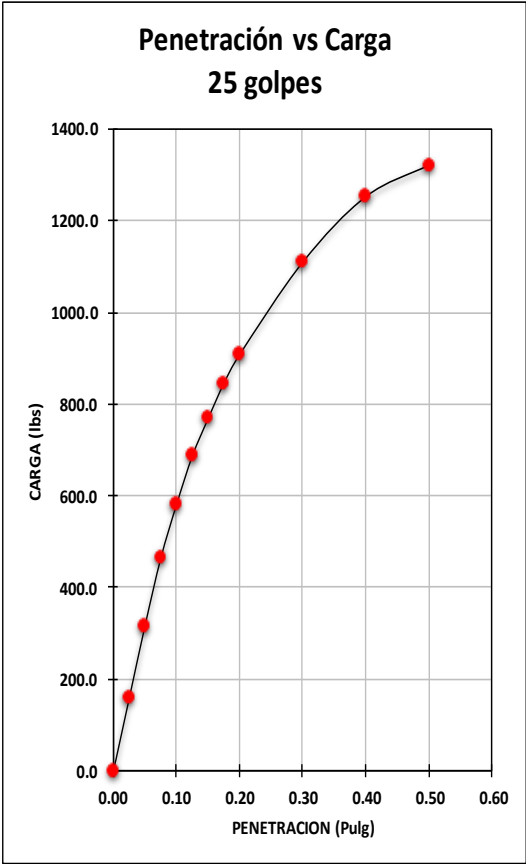
Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección

Grafica 39: Suelo A – 3
Curva carga – penetración.



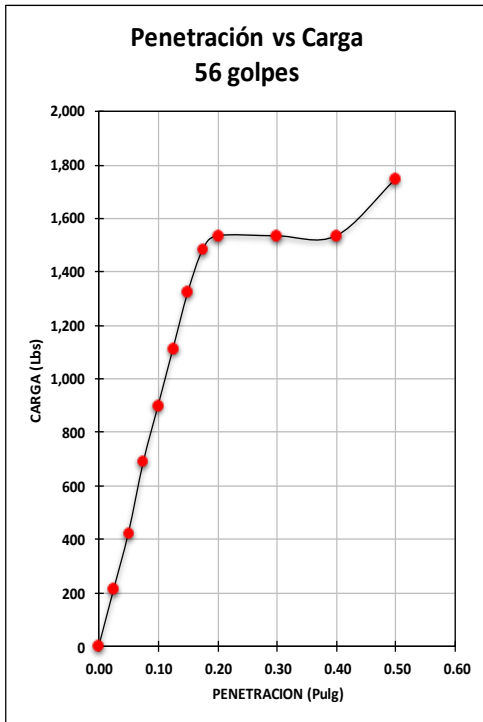
Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección

Grafica 40: Suelo A – 3
Curva carga - penetración



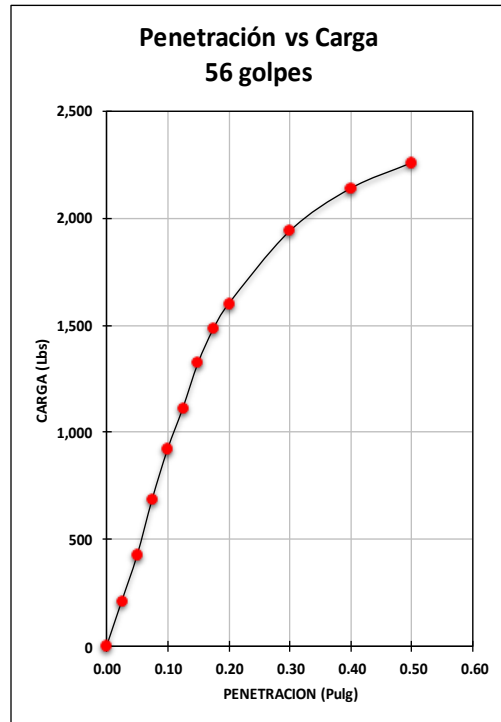
Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección

Grafica 41: Suelo A – 3
Curva carga - penetración



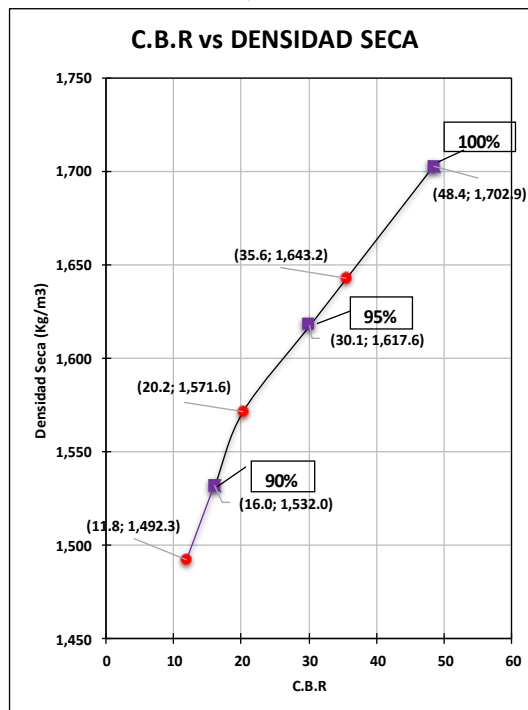
Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección

Grafica 42: Suelo A – 3
Curva carga - penetración



Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección

Grafica 43: Suelo A – 3; CBR vs DENSIDAD SECA



Fuente: Elaboración propia

Tabla 99: Ensaye Granulométrico de banco Los Martínez

Ensayo No. 1: Análisis Granulométrico del material que retiene el tamiz N° 4				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
1 1/2"	0.00	0	0	100
1"	116.00	1	1	99
3/4"	165.00	1	2	98
1/2"	277.00	2	5	95
3/8"	315.00	3	7	93
No. 4	1,767.00	15	22	78
Pasa No. 4	9,110.00	78	100	0
SUMA	11,750.00	100		
Ensayo No. 2: Análisis Granulométrico del material que pasa el tamiz No. 4 (lavado)				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
10	23.00	15	15	62
40	56.00	37	53	25
200	26.40	18	70	7
PASA No. 200	11.00	7	78	0
SUMA	116.40	78		

Fuente: Elaboración propia

Figura 39: muestras de banco “Los Martínez”



Fuente: Elaboración propia

Tabla 100: Ensaye Granulométrico de banco La Suburbana

Ensayo No. 1: Análisis Granulométrico del material que retiene el tamiz N° 4				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
1 1/2"	0.00	0	0	100
1"	217.00	2	2	98
3/4"	289.00	2	4	96
1/2"	684.00	5	9	91
3/8"	1,179.00	9	18	82
No. 4	3,528.00	26	44	56
Pasa No. 4	7,490.00	56	100	0
SUMA	13,387.00	100		
Ensayo No. 2: Análisis Granulométrico del material que pasa el tamiz No. 4 (lavado)				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
10	48.10	22	22	34
40	55.60	25	47	8
200	15.00	7	54	2
PASA No. 200	3.50	2	56	0
SUMA	122.20	56		

Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Ilustraciones de ensayo material Hormigón Rojo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 101: Ensaye Granulométrico de la mezcla de materiales de banco

Ensayo No. 1: Análisis Granulométrico del material que retiene el tamiz N° 4				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
1 1/2"	0.00	0	0	100
1"	89.00	1	1	99
3/4"	157.00	1	2	98
1/2"	233.00	2	4	96
3/8"	597.00	5	9	91
No. 4	2,100.00	18	27	73
Pasa No. 4	8,811.00	73	100	0
SUMA	11,987.00	100		
Ensayo No. 2: Análisis Granulométrico del material que pasa el tamiz No. 4 (lavado)				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
10	27.10	17	17	56
40	56.40	34	51	22
200	26.40	16	67	6
PASA No. 200	9.10	6	73	0
SUMA	119.00	73		

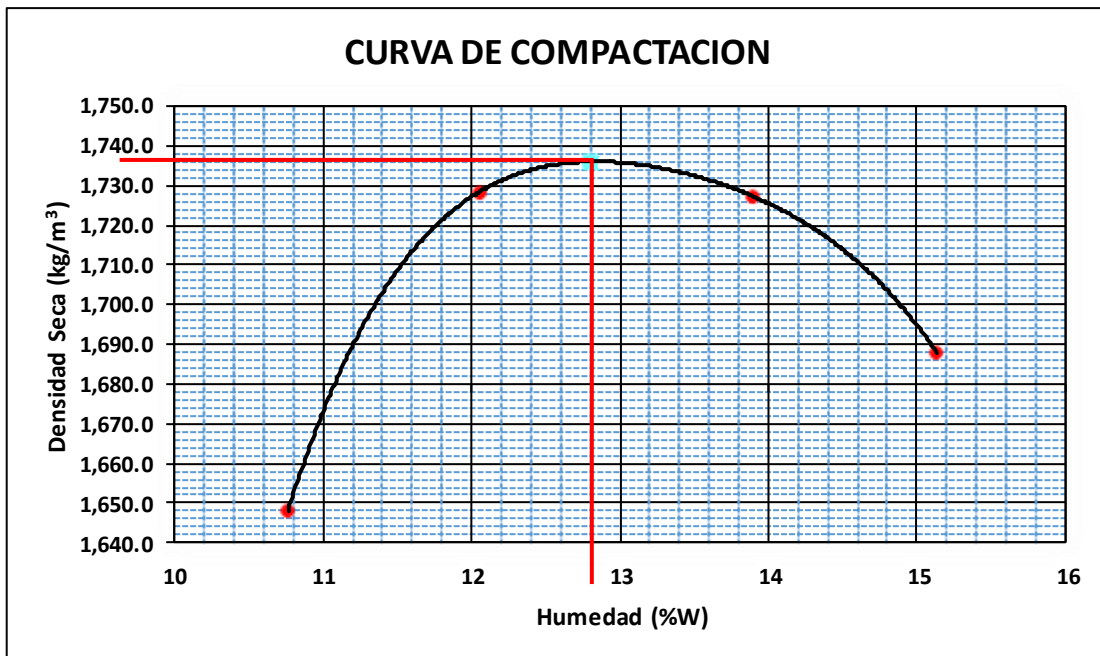
Fuente: Elaboración propia

Tabla 102: Resultados de Proctor Modificado

A - 1 - b (0)				
ESPECIMEN	1	2	3	4
% de Agua Propuesta	10	12	14	16
Cantidad de Agua (ml)	450	540	630	720
Volumen del Cilindro (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Peso del Molde Cilíndrico (Kg)	6.615	6.615	6.615	6.615
Peso del Mater. + Molde (Kg)	10.450	10.680	10.747	10.955
Peso del Material (Kg)	3.835	4.065	4.132	4.340
Código de Tara	B - 12- 1	A - 100	A - 04	L - MC - 4
Peso de Tara (gr)	47.00	31.80	41.70	47.00
Peso Húmedo + Tara (gr)	227.10	224.30	226.20	225.80
Peso Seco + Tara (gr)	209.60	203.60	203.70	202.30
Peso de Material Húmedo (gr)	180.10	192.50	184.50	178.80
Peso de Material Seco (gr)	162.60	171.80	162.00	155.30
% de Humedad	10.8	12.0	13.9	15.1
Peso Volumétrico Húmedo γ_H (Kg/m ³)	1,826.2	1,935.7	1,967.6	2,066.7
Peso Volumétrico Seco γ_s (Kg/m ³)	1,648.2	1,728.3	1,727.4	1,688.0
Densidad Seca Maxima γ_{dmax} (Kg/m ³)	1,736.0			
Humedad Optimo (%w _{opt})	12.8			

Fuente: Elaboración propia

Grafica 44: Curva de Compactación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 103: Recopilación de Datos y Resultados del Ensayo CBR

A - 1 - b (0)			
Numero de muestras	1	2	3
Molde No.:	A - 5	A - 4	A - 3
Nº de Capas:	3	3	3
Nº de Golpes por Capa:	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.197	7.112	7.119
Peso del molde + material (kg):	11.179	10.924	11.311
Peso Volumétrico Húmedo χ_h (Kg/m³):	1,731.3	1,815.2	1,996.2
Nº de tara:	CH - M	I - C	A - 19
Peso de tara (grs):	41.6	41.3	42.1
Peso de tara + material húmedo (grs):	208.4	198.1	236.6
Peso de tara + material Seco (grs):	189.5	180.2	214.6
Contenido de Humedad (%):	12.8%	12.9%	12.8%
Peso Volumétrico Seco χ_d (Kg/m³):	1,535.1	1,608.0	1,770.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 104: Datos de ensaye de carga del CBR

N° de golpes:		10				25				56			
PENETRACION		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos	
mm	Pulg			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²
0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0
0.64	0.025	2	105.9	150.0	50.0	3	158.9	340.0	113.3	4	211.8	610.0	203.3
1.27	0.050	4	211.8	300.0	100.0	6	317.7	620.0	206.7	8	423.6	1,175.0	391.7
1.91	0.075	6	317.7	450.0	150.0	8	423.6	930.0	310.0	13	688.4	1,778.0	592.7
2.54	0.100	9	530.0	600.0	200.0	11	582.5	1,250.0	416.7	19	1,006.1	2,430.0	810.0
3.18	0.125	12	635.4	750.0	250.0	14	741.3	1,500.0	500.0	26	1,376.7	2,950.0	983.3
3.81	0.150	14	741.3	900.0	300.0	17	900.2	1,750.0	583.3	33	1,747.4	3,436.0	1,145.3
5.08	0.200	20	1,059.0	1,200.0	400.0	23	1,217.9	2,235.0	745.0	53	2,806.4	4,310.0	1,436.7
7.62	0.300	28	1,482.6	1,740.0	580.0	31	1,641.5	2,850.0	950.0	72	3,812.4	5,350.0	1,783.3
10.16	0.400	36	1,906.2	2,150.0	716.7	40	2,118.0	3,120.0	1,040.0	90	4,765.5	6,100.0	2,033.3
12.70	0.500	43	2,276.9	2,350.0	783.3	47	2,488.7	3,250.0	1,083.3	104	5,506.8	6,500.0	2,166.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 105: Resultados de CBR a penetración de 0.1” y 0.2”

PROCTOR MODIFICADO		$Y_{dmax} = 1,736.00 \text{ Kg/m}^3$			$\%w_{Optima} = 12.8\%$		$w = 768 \text{ ml}$	
N° de golpes	%w	Y_h	$Y_d \text{ producida}$	% comp. Producida	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R
10	12.8	1,731.3	1,535.1	88.4%	0.1	17.7	0.2	23.5
25	12.9	1,815.2	1,608.0	92.6%	0.1	19.4	0.2	27.1
56	12.8	1,996.2	1,770.4	102.0%	0.1	33.5	0.2	62.4

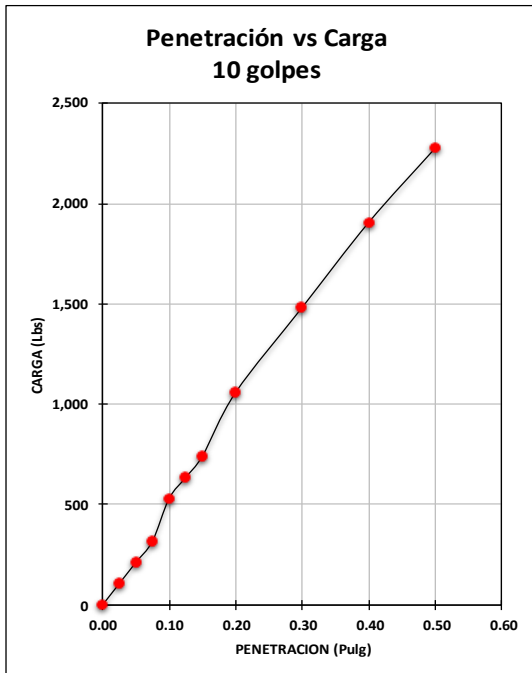
Fuente: Elaboración propia

Tabla 106: CBR corregidos a penetración de 0.1” y 0.2”

N° de golpes	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R	% compactación	Y_d	C.B.R
10	0.1	20.0	0.2	26.7	90%	1,562.9	35.5
25	0.1	41.7	0.2	49.7	95%	1,649.5	61.5
56	0.1	81.0	0.2	95.8	100%	1,735.8	86

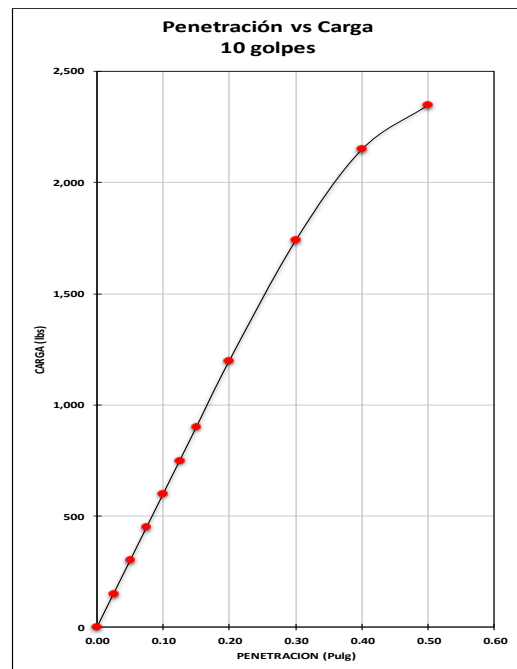
Fuente: Elaboración propia

**Grafica 45: Suelo A - 1 - b
Curva carga - penetración**



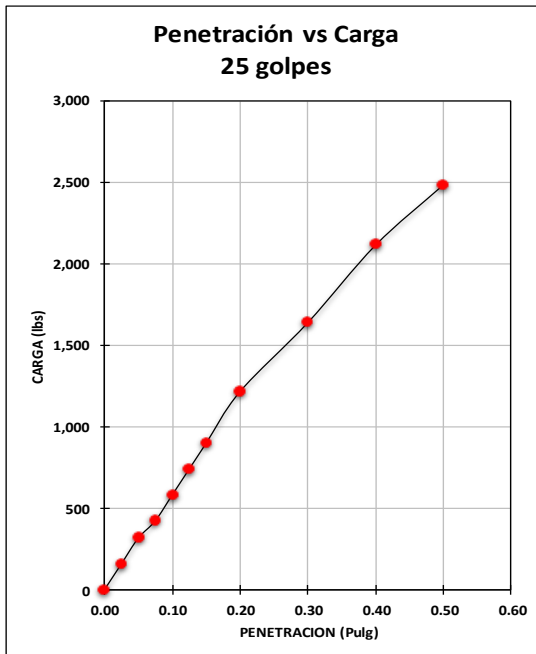
**Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección**

**Grafica 46: Suelo A - 1 - b
Curva carga - penetración**



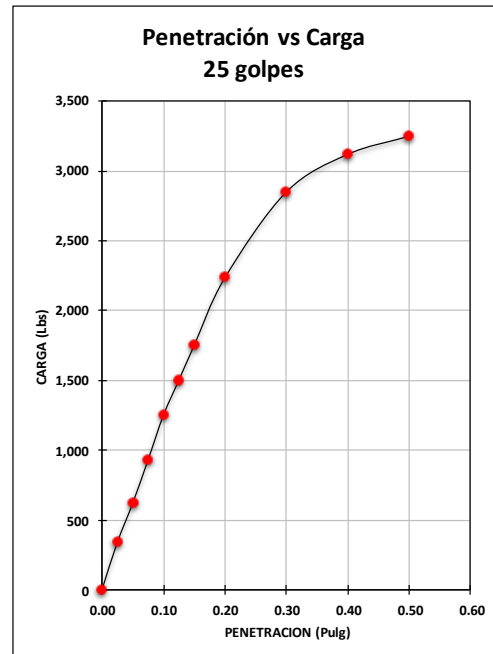
**Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección**

**Grafica 47: Suelo A - 1 - b
Curva carga - penetración**



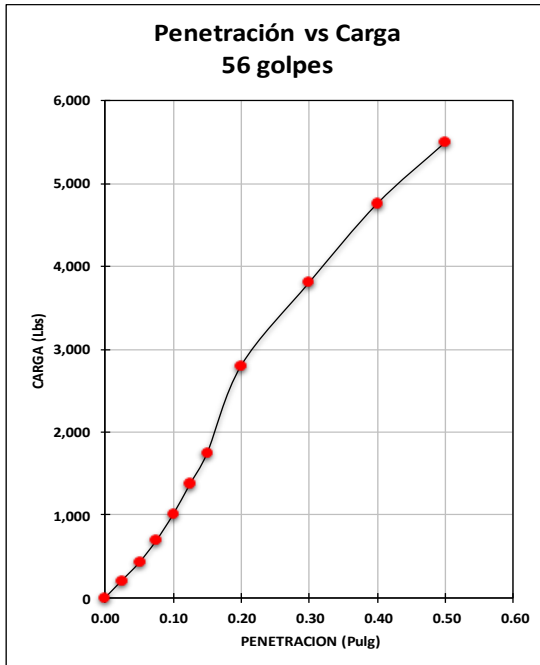
**Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección**

**Grafica 48: Suelo A - 1 - b
Curva carga - penetración**



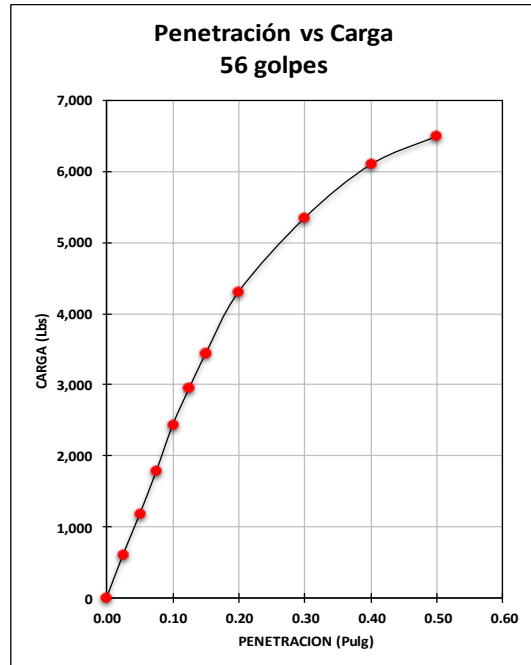
**Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección**

**Grafica 49: Suelo A - 1 - b
Curva carga - penetración**



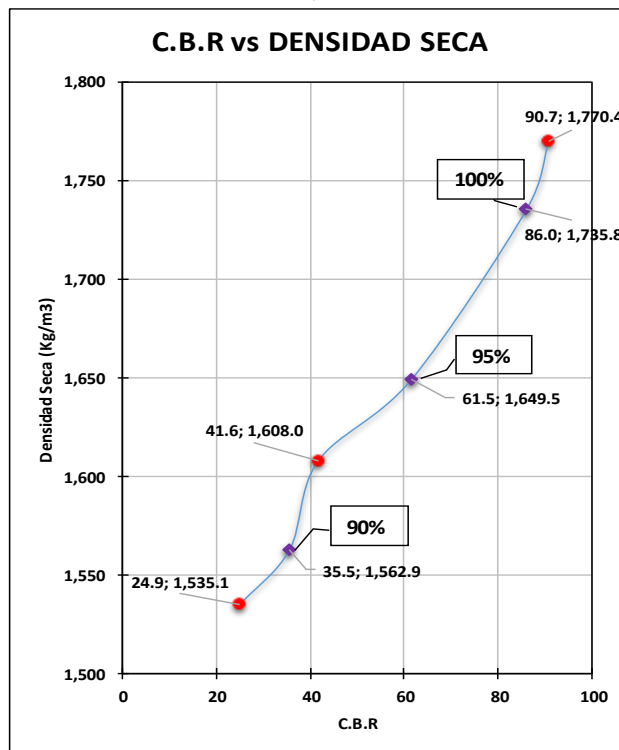
Fuente: Elaboración propia
Nota: Sin corrección

**Grafica 50: Suelo A - 1 - b
Curva carga - penetración**



Fuente: Elaboración propia
Nota: Con corrección

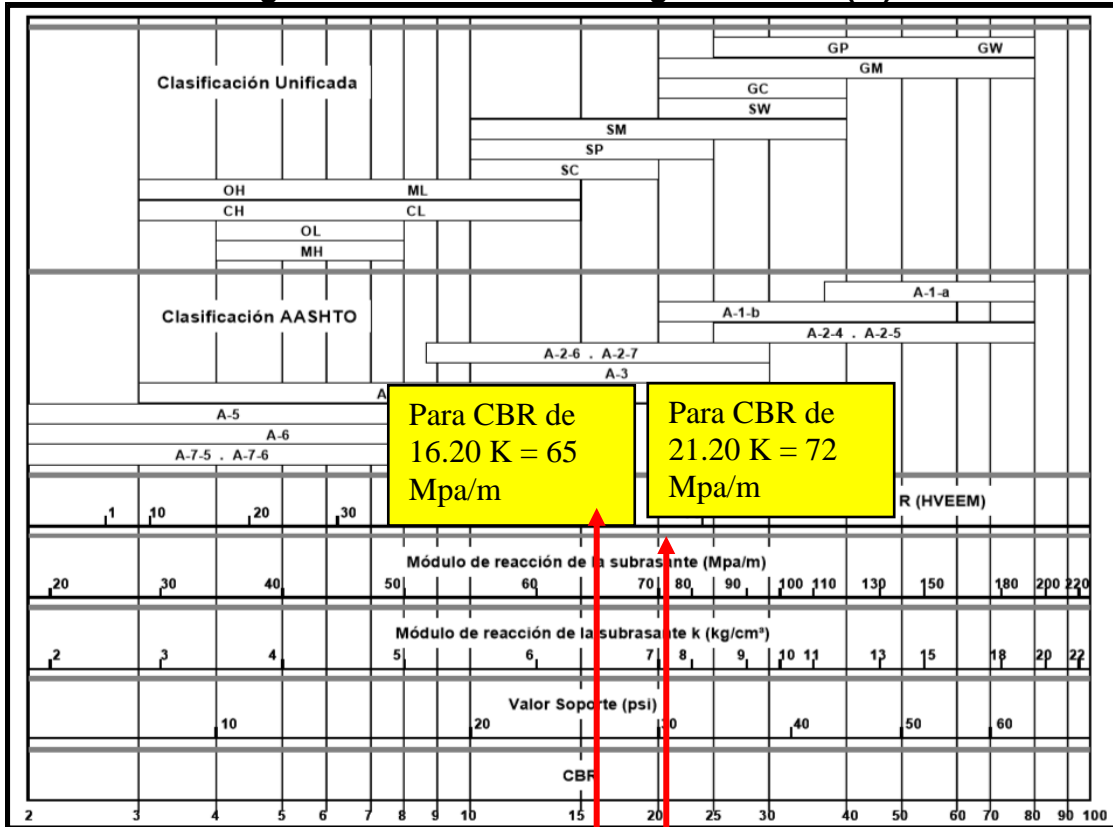
Grafica 51: Suelo A - 1 - b; CBR vs DENSIDAD SECA



Fuente: Elaboración propia

ANEXOS D: DISEÑO DE PAVIMENTO

Figura 41: California Bearing Ratio CBR (%)



Fuente: Manual de pavimentos de concreto Cemex 2010.

**Tabla 107: Incremento del valor de K según espesor de subbase
Proyectado.**

k - Suelo - Sub-base (pci)				
k - Suelo (pci)	Espesor de la sub-base			
	4"	6"	9"	12"
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: Manual de pavimentos de concreto Cemex.

Tabla 108: Incremento del valor de K según espesor de subbase (6")

Aumento de k (pci) - Suelo con subbase 6"	
k - Suelo (pci)	Espesor de la subbase
	6"
200	230
237.25	267.25
300	330

Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Introducción de Datos de Diseño (k = 237.25)

The screenshot shows the 'Concrete Pavement Design' software window. The 'Concrete Pavement Design/Analysis Inputs' section contains the following data:

Parameter	Value	Unit
Concrete Thickness	6.00	inches
Total Rigid ESALs	3,012,943	
Reliability	95.00	%
Overall Standard Deviation	0.39	
Flexural Strength	632.5	psi
Modulus of Elasticity	3,604,997.0	psi
Load Transfer Coefficient	3.20	
Modulus of Subgrade Reaction	237.3	psi/in.
Drainage Coefficient	1.00	
Initial Serviceability	4.50	
Terminal Serviceability	2.50	

The 'Concrete Pavement Design/Analysis' section contains a warning message: 'Warning! Input Value Changed, Press Solve For to Recalculate' and a 'Solve For' button. A yellow callout box points to the 'Solve For' button with the text: 'Presionar **Solve For** Para recalcular el espesor de losa.'

Another yellow callout box points to the 'Concrete Thickness' input field with the text: 'Espesor de Losa Propuesto.'

Buttons for 'Save and Close' and 'Help' are visible on the right side of the window.

Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

Figura 43: Espesor requerido (D) según WinPAS

Parameter	Value	Unit
Concrete Thickness	8.72	inches
Total Rigid ESALS	3,012,943	
Reliability	95.00	%
Overall Standard Deviation	0.39	
Flexural Strength	632.5	psi
Modulus of Elasticity	3,604,997.0	psi
Load Transfer Coefficient	3.20	
Modulus of Subgrade Reaction	237.3	psi/in.
Drainage Coefficient	1.00	
Initial Serviceability	4.50	
Terminal Serviceability	2.50	

Concrete Thickness: 8.72 inches

Solve For

Save and Close

Help

Espesor de Losa Requerido (D) según WinPAS es de 8.72pulg.

Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

Figura 44: Introducción de Datos de Diseño (K= 267.25)

The screenshot shows the 'Concrete Pavement Design' software window. It is divided into two main sections: 'Concrete Pavement Design/Analysis Inputs' and 'Concrete Pavement Design/Analysis'. The 'Inputs' section contains several parameters with their respective values and units:

Parameter	Value	Unit
Concrete Thickness	6.00	inches
Total Rigid ESALS	3,012,943	
Reliability	95.00	%
Overall Standard Deviation	0.39	
Flexural Strength	632.5	psi
Modulus of Elasticity	3,604,997.0	psi
Load Transfer Coefficient	3.20	
Modulus of Subgrade Reaction	267.3	psi/in.
Drainage Coefficient	1.00	
Initial Serviceability	4.50	
Terminal Serviceability	2.50	

The 'Analysis' section displays a warning message: 'Warning! Input Value Changed, Press Solve For to Recalculate'. A 'Solve For' button is located next to this message. A yellow callout box points to the 'Solve For' button with the text: 'Presionar solve For Para recalcular el espesor de losa.' Another yellow callout box points to the 'Concrete Thickness' input field with the text: 'Espesor de Losa Propuesto'. The window also features 'Save and Close' and 'Help' buttons on the right side.

Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

Figura 45: Espesor requerido (D) según WinPAS

Concrete Pavement Design/Analysis Inputs		
Concrete Thickness	8.65	inches
Total Rigid ESALS	3,012,943	
Reliability	95.00	%
Overall Standard Deviation	0.39	
Flexural Strength	632.5	psi
Modulus of Elasticity	3,604,997.0	psi
Load Transfer Coefficient	3.20	
Modulus of Subgrade Reaction	267.3	psi/in.
Drainage Coefficient	1.00	
Initial Serviceability	4.50	
Terminal Serviceability	2.50	

Concrete Pavement Design/Analysis

Concrete Thickness: 8.65 inches

Solve For

Save and Close

Help

Espesor de Losa Requerido (D) según WinPAS es de 8.65 Pulg.

Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

Tabla 109: Resumen de especificaciones para colocación de juntas.

Espesor de losa (cm)	1	2	3	4
	Espaciamiento entre juntas (cm)	Profundidad de corte de juntas (cm)	Profundidad del material de sellado (cm)	Ancho del corte para la junta (cm)
15	360	5.00	1.00	0.50
16	384	5.33	1.07	0.53
17	408	5.67	1.13	0.57
18	432	6.00	1.20	0.60
19	456	6.33	1.27	0.63
20	480	6.67	1.33	0.67
21	504	7.00	1.40	0.70
22	528	7.33	1.47	0.73
23	552	7.67	1.53	0.77
24	576	8.00	1.60	0.80
25	600	8.33	1.67	0.83
26	624	8.67	1.73	0.87
27	648	9.00	1.80	0.90
28	672	9.33	1.87	0.93
29	696	9.67	1.93	0.97
30	720	10.00	2.00	1.00
31	744	10.33	2.07	1.03
32	768	10.67	2.13	1.07
33	792	11.00	2.20	1.10
34	816	11.33	2.27	1.13
35	840	11.67	2.33	1.17

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93

Figura 46: Pestaña Material, Gradiente térmico Nocturno, Esquina de Losa.

The screenshot shows the 'Material' tab in the NY Slab software. The 'Layers' section is set to 2 layers. The material properties are as follows:

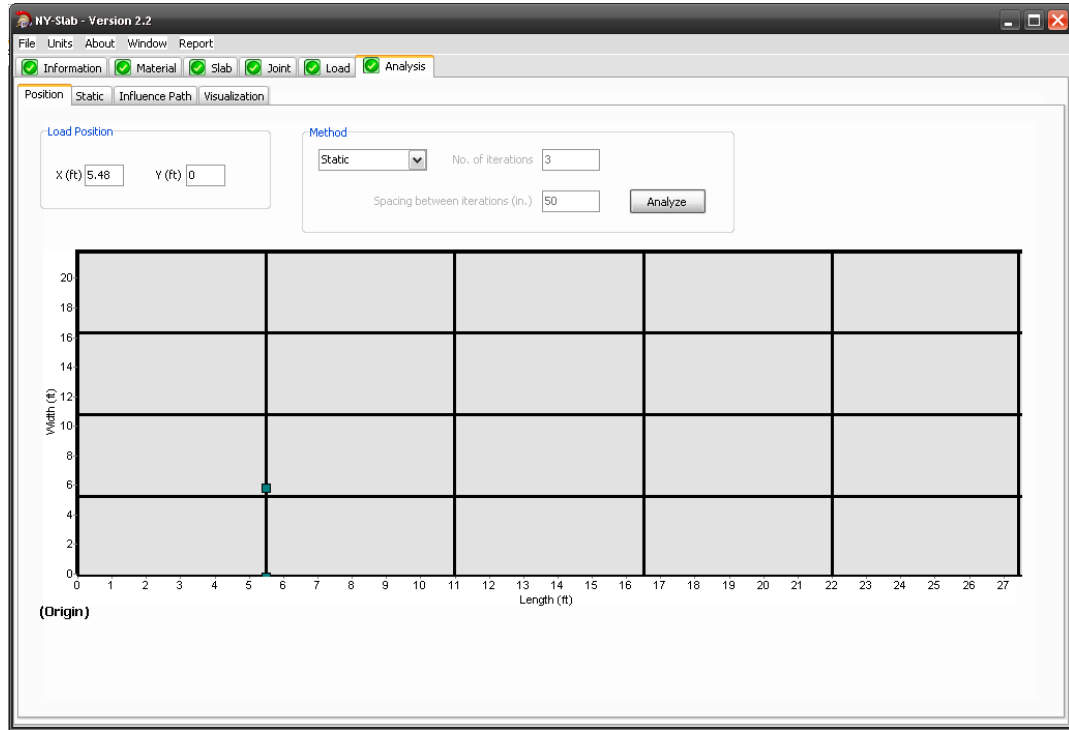
Layer	Material	Label	Thickness (in.)	Foundation Type	Mod. of SG Reaction (pci)	Shear Coeff. (kip/in)	Lower Spring Stiffness (psi)	Young's Modulus (ksi)	Poisson's Ratio	Unit Weight (pcf)	Thermal Expansion Coeff. (10 ⁻⁵)	Slab Bonding
1	PCC	Concrete	8					3605	0.15	150	5	
2	A-1-b	Subgrade		Winkler	263							

The 'Temperature Profile' section is set to 'Linear' with a 'Reference Temperature (°F)' of 81. The profile data is as follows:

Depth (in.)	Temp. (°F)
P1 (0)	71
P2 (2)	73.5
P3 (6)	78.5
P4 (8)	81

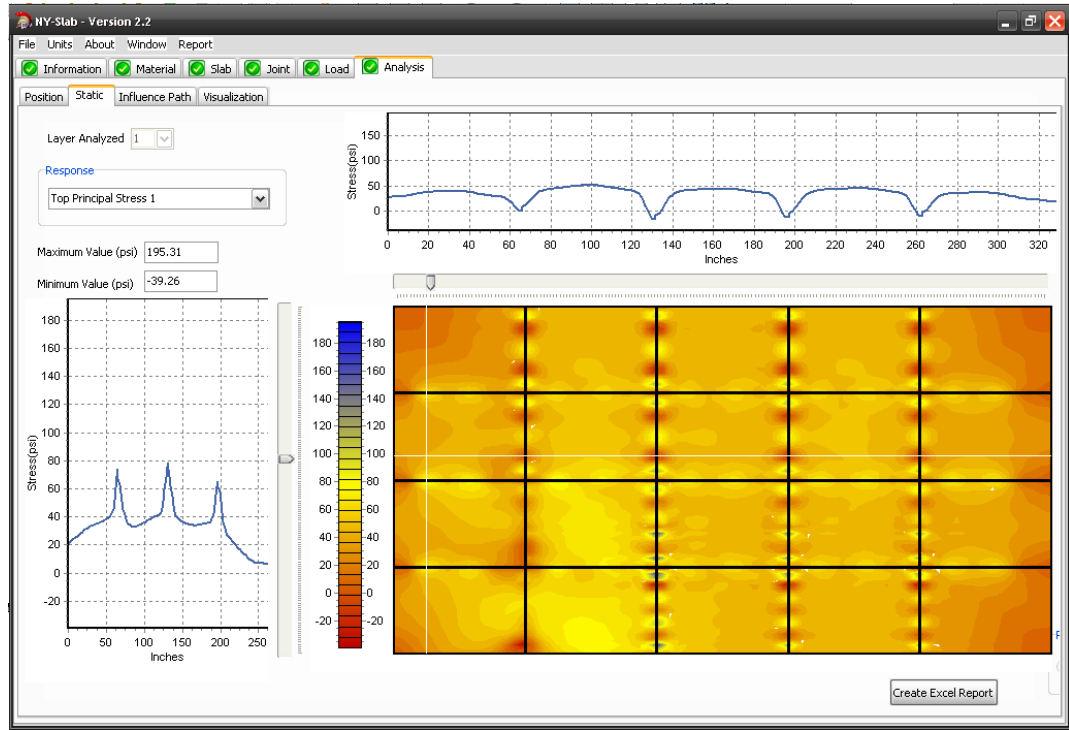
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 47: Pestaña Análisis Posición, Gradiente térmico Nocturno, Esquina de Losa.



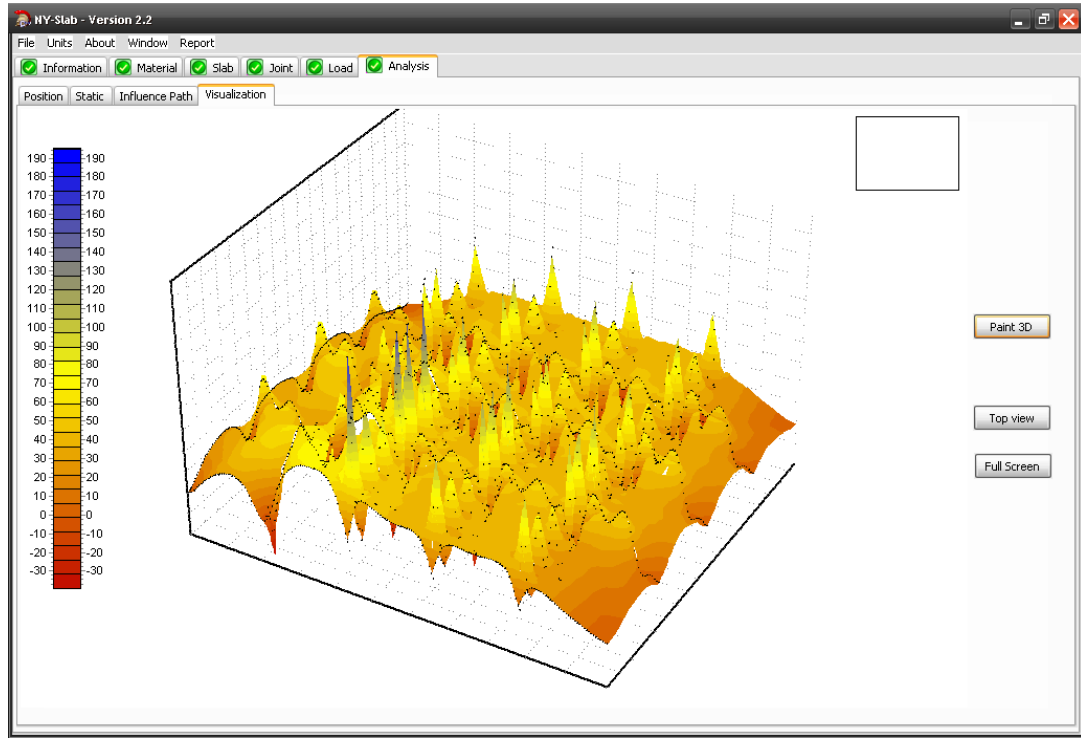
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 48: Pestaña Análisis Esfuerzo, Gradiente Nocturno, Esquina de Losa.



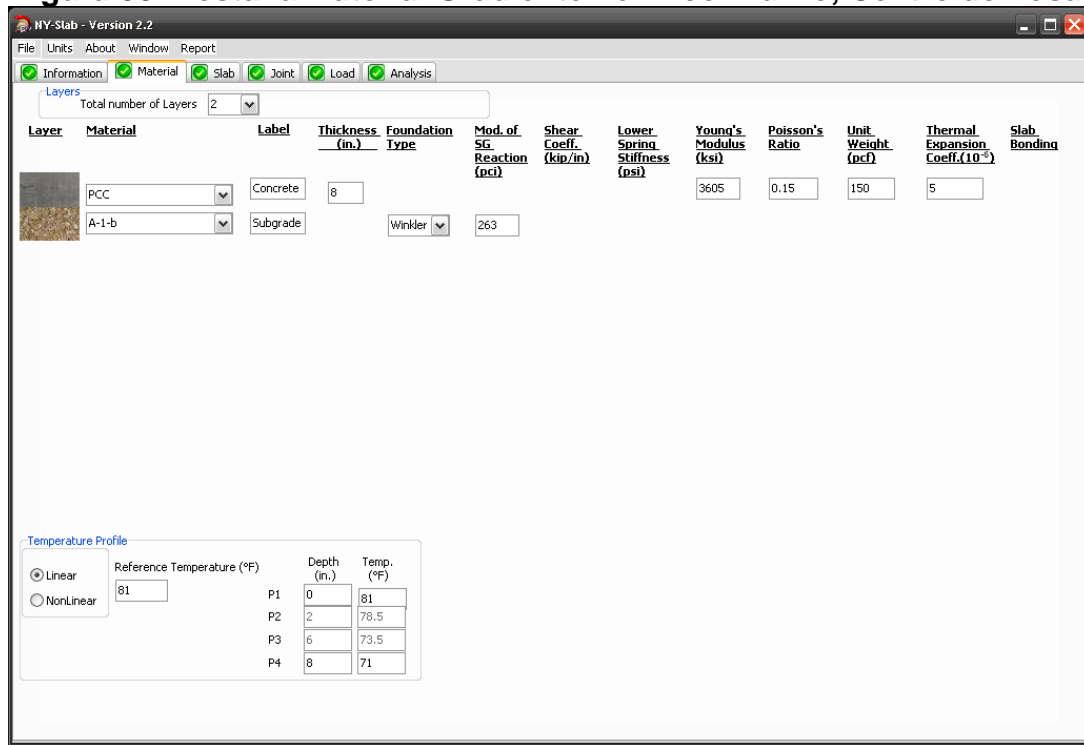
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 49: Pestaña Análisis visualización, Gradiente Nocturno, Esquina de Losa.



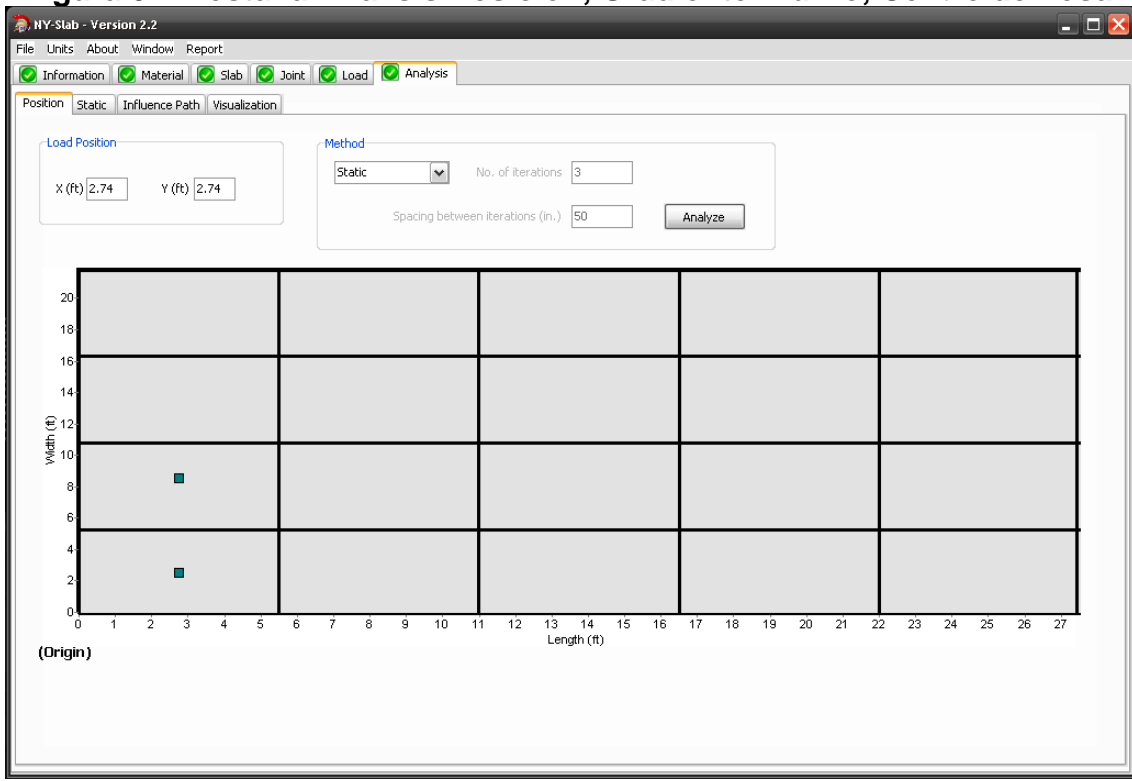
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 50: Pestaña Material Gradiente Térmico Diurno, Centro de Losa.



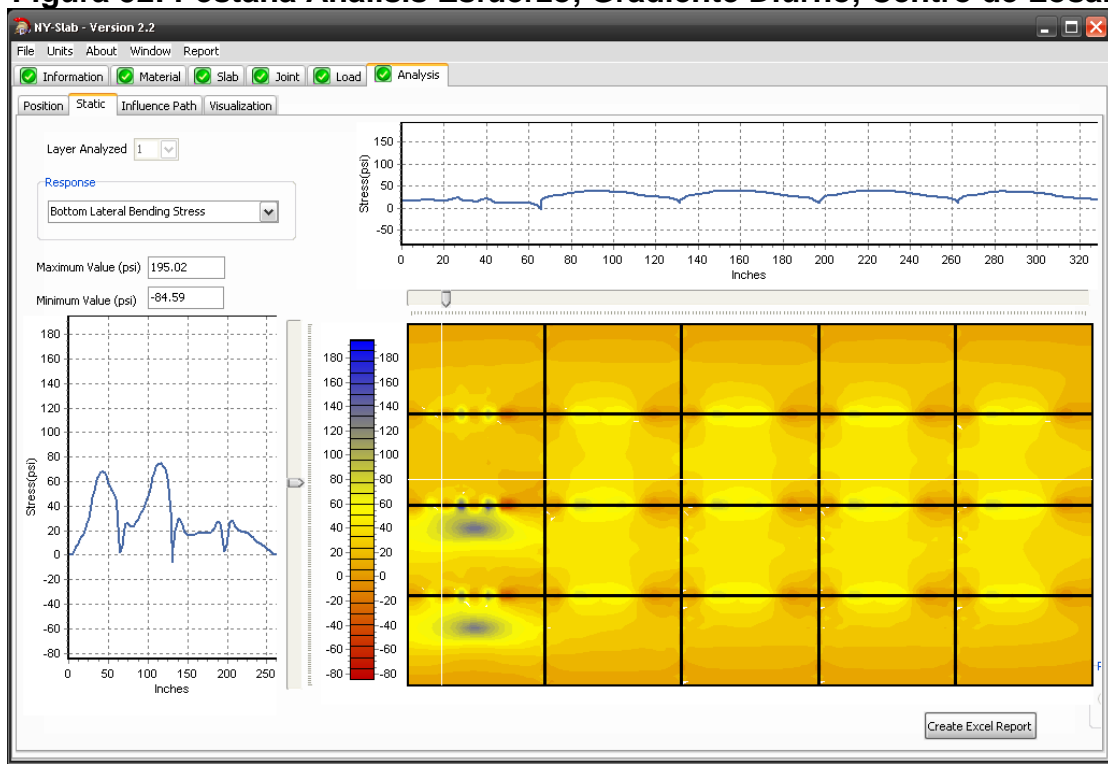
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 51: Pestaña Análisis Posición, Gradiente Diurno, Centro de Losa.



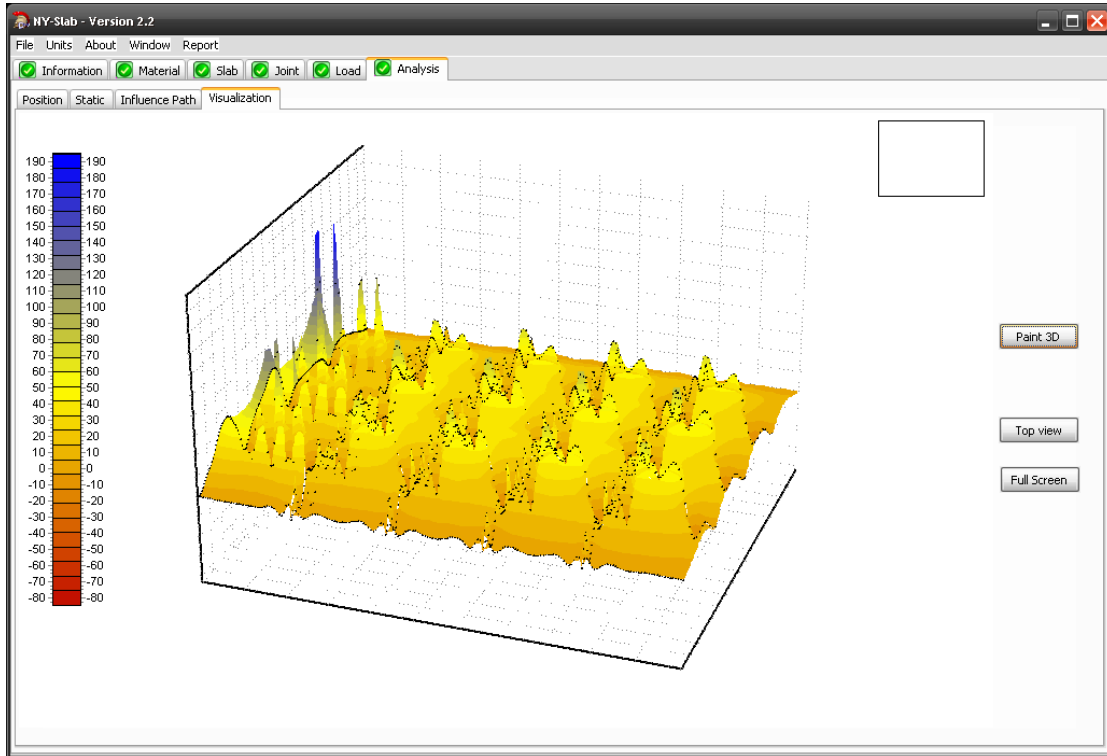
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 52: Pestaña Análisis Esfuerzo, Gradiente Diurno, Centro de Losa.



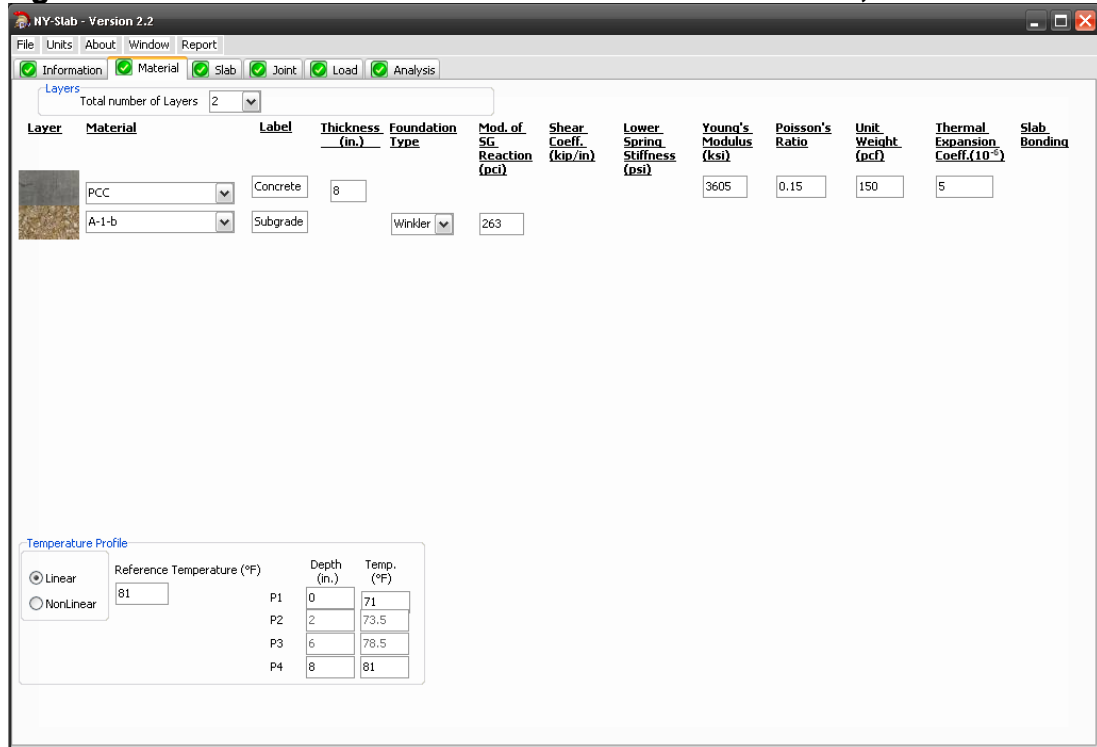
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 53: Pestaña Análisis visualización, Gradiente Diurno, Centro de Losa.



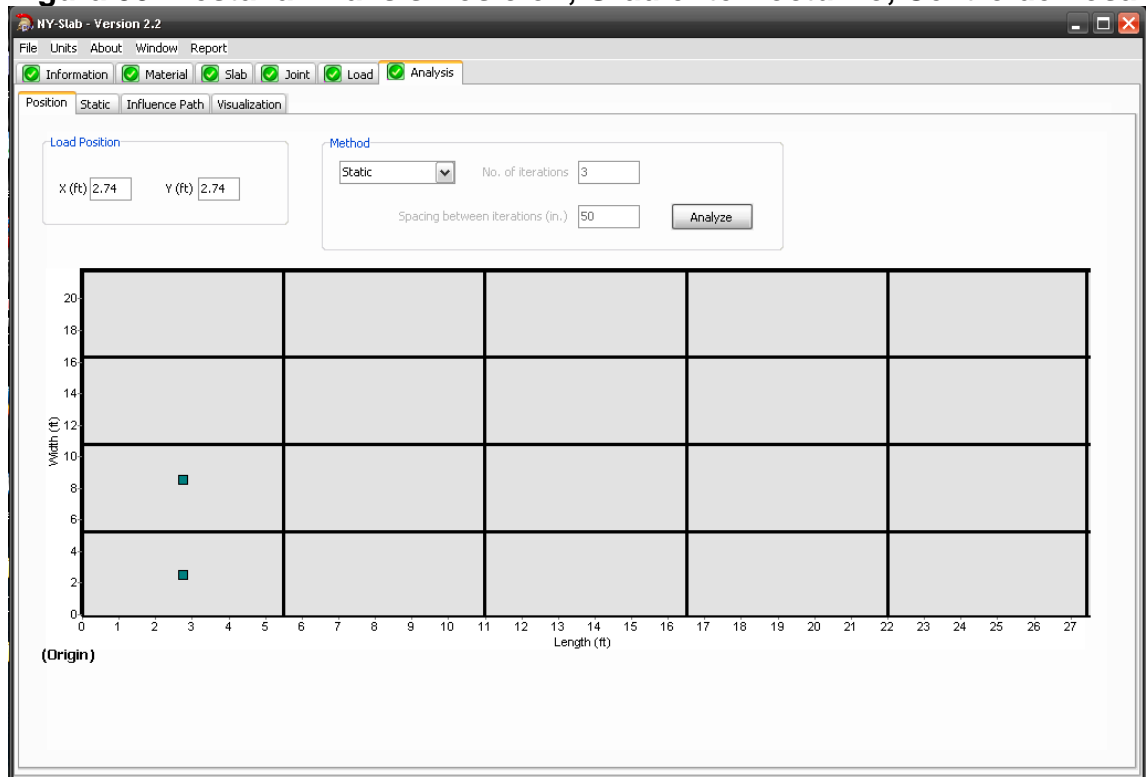
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 54: Pestaña Material Gradiente Térmico Nocturno, Centro de Losa



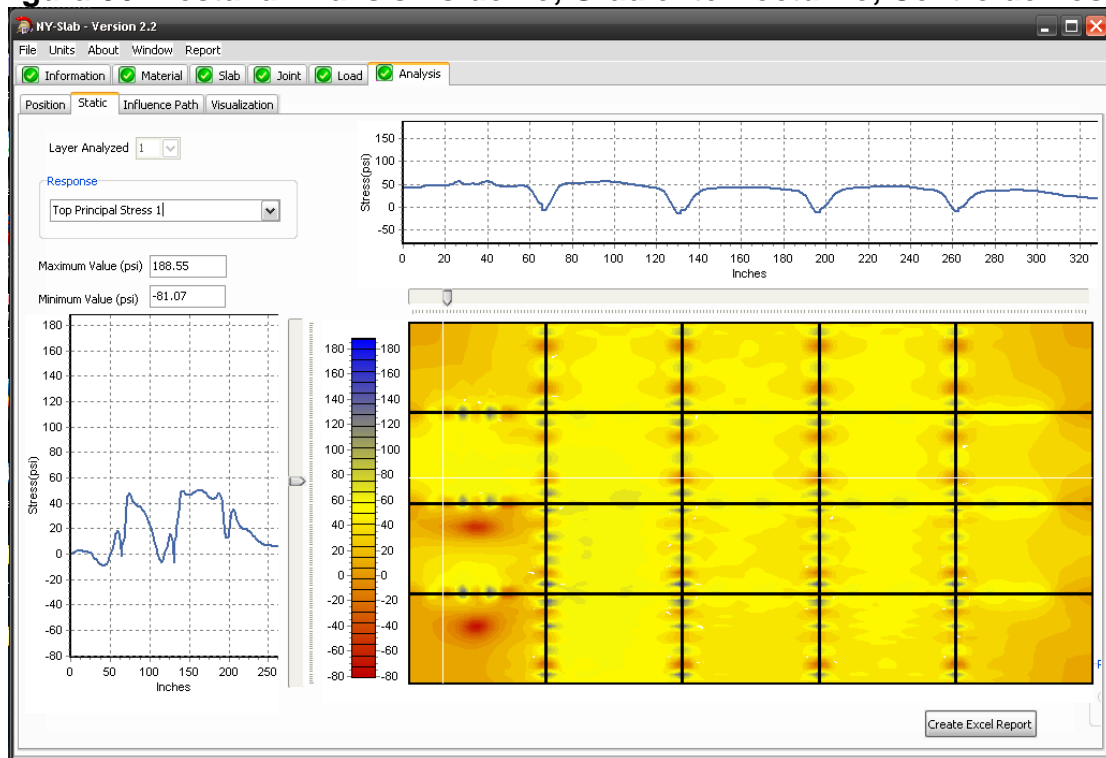
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 55: Pestaña Análisis Posición, Gradiente Nocturno, Centro de Losa.



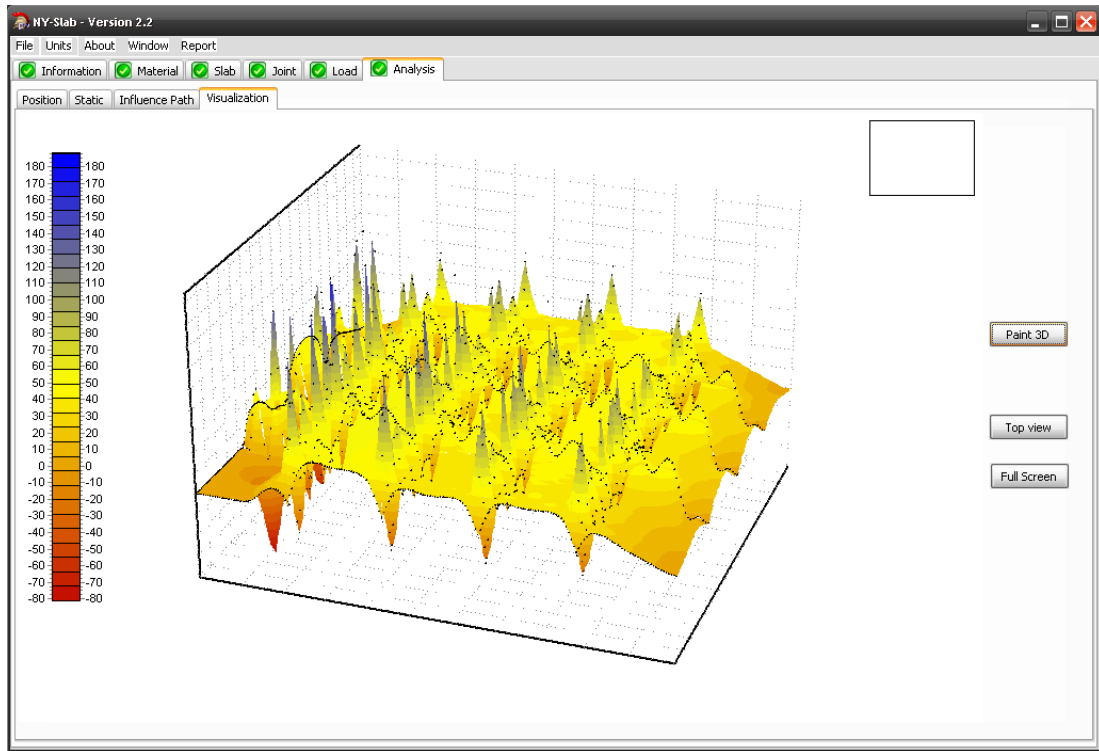
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 56: Pestaña Análisis Esfuerzo, Gradiente Nocturno, Centro de Losa.



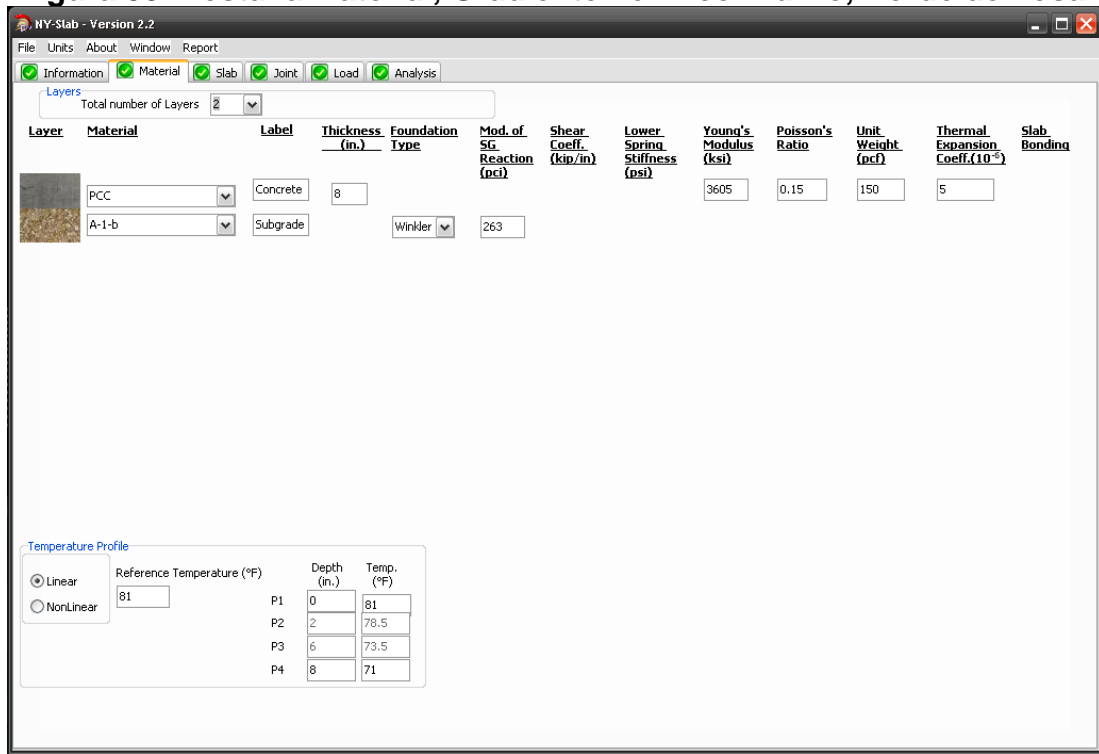
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 57: Pestaña Análisis visualización, Gradiente Nocturno, Centro de Losa.



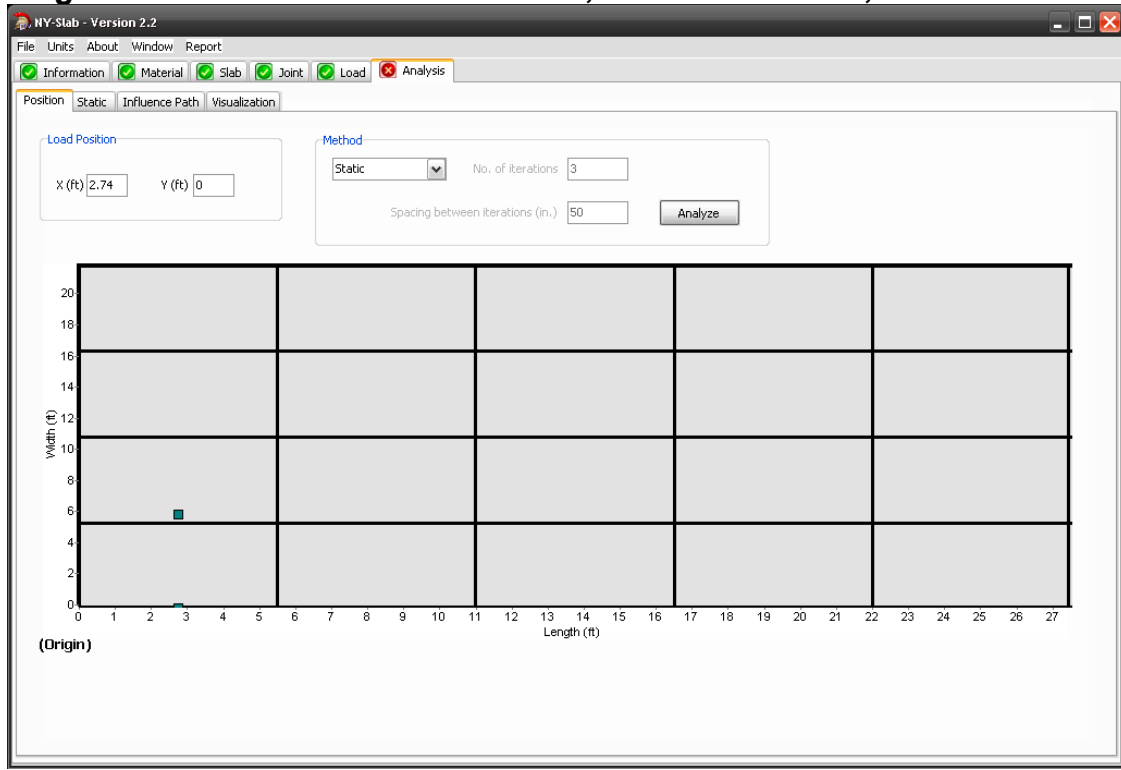
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 58: Pestaña Material, Gradiente Térmico Diurno, Borde de Losa.



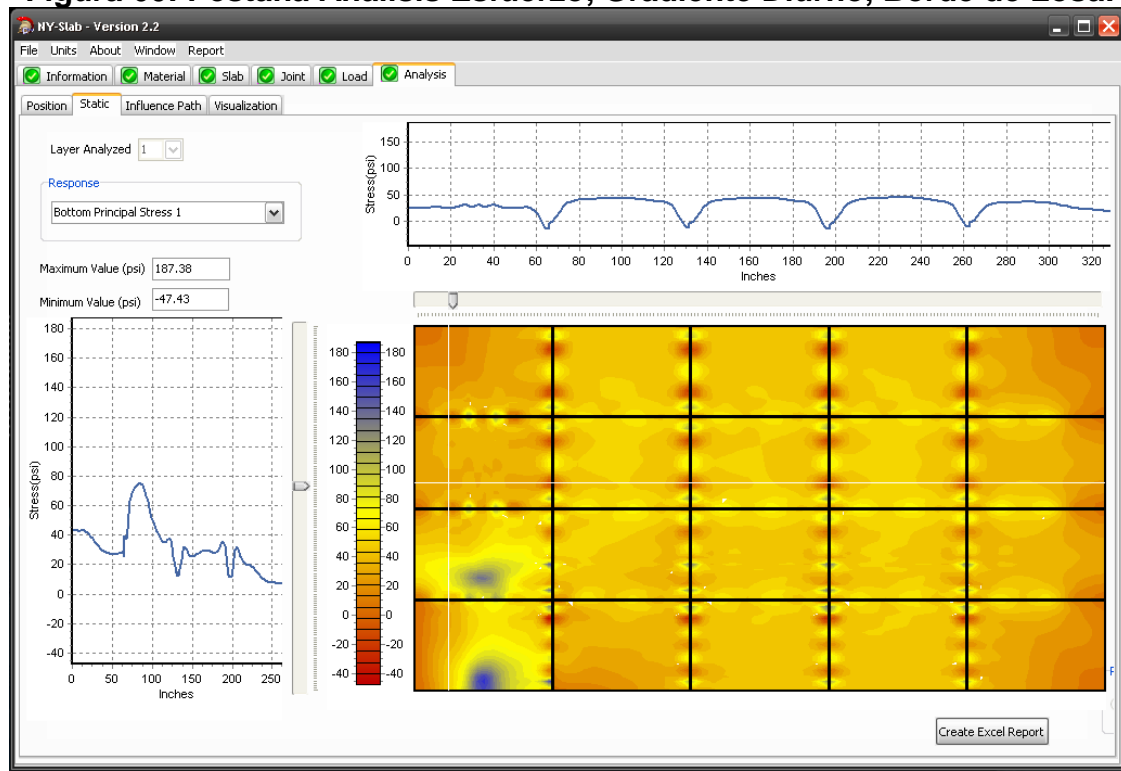
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 59: Pestaña Análisis Posición, Gradiente Diurno, Borde de Losa.



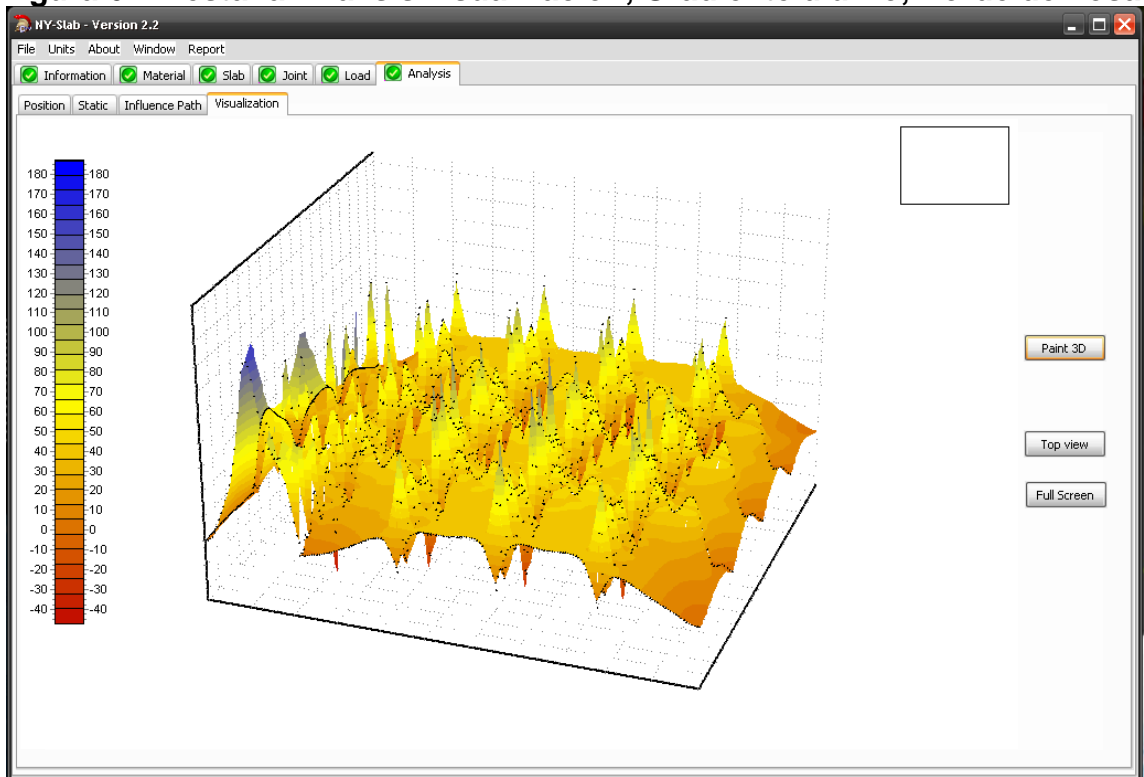
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 60: Pestaña Análisis Esfuerzo, Gradiente Diurno, Borde de Losa.



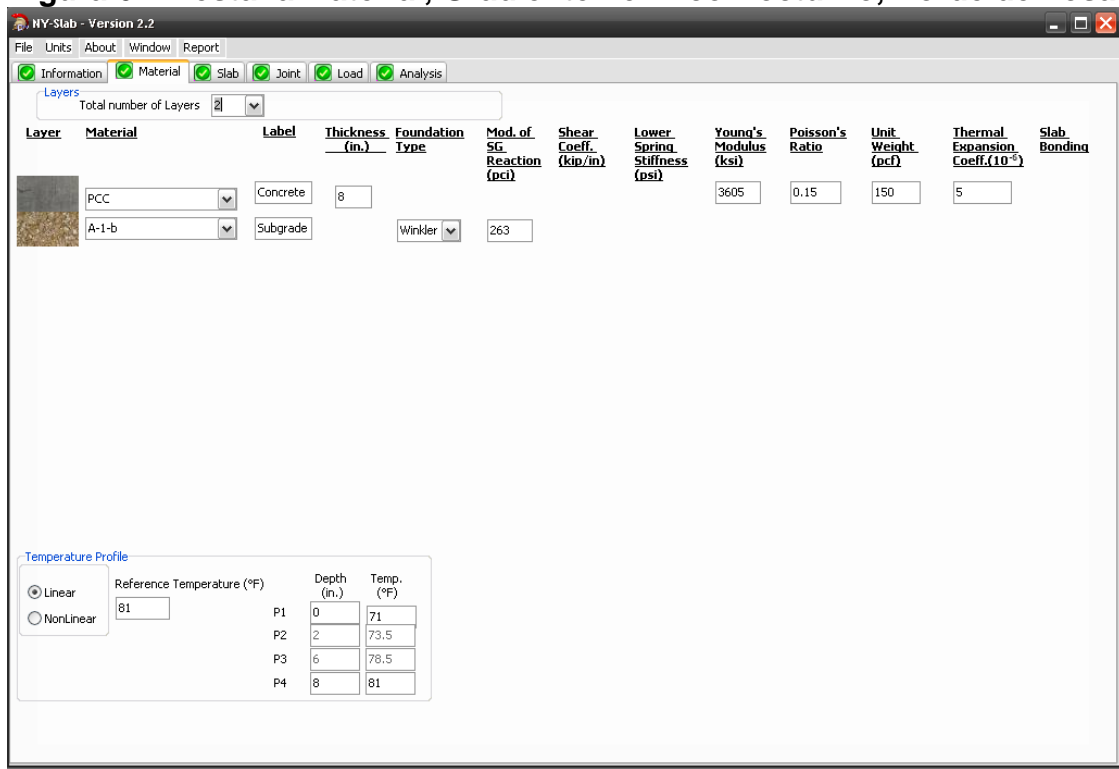
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 61: Pestaña Análisis visualización, Gradiente diurno, Borde de Losa.



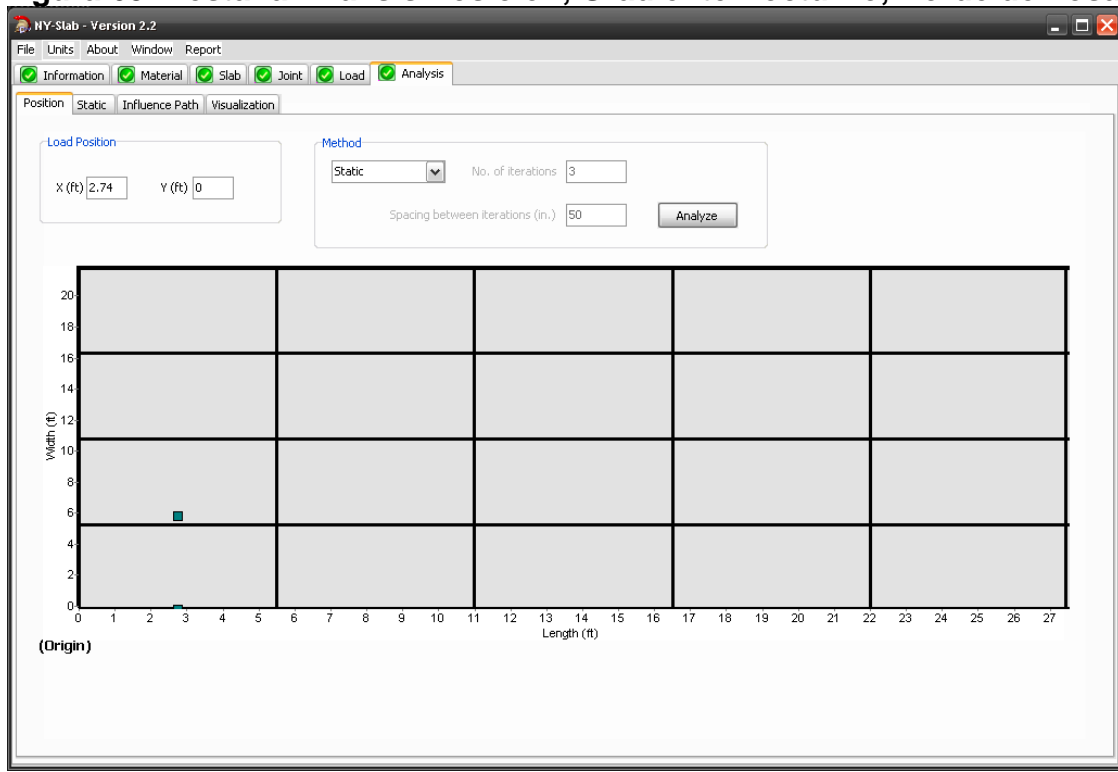
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 62: Pestaña Material, Gradiente Térmico Nocturno, Borde de Losa.



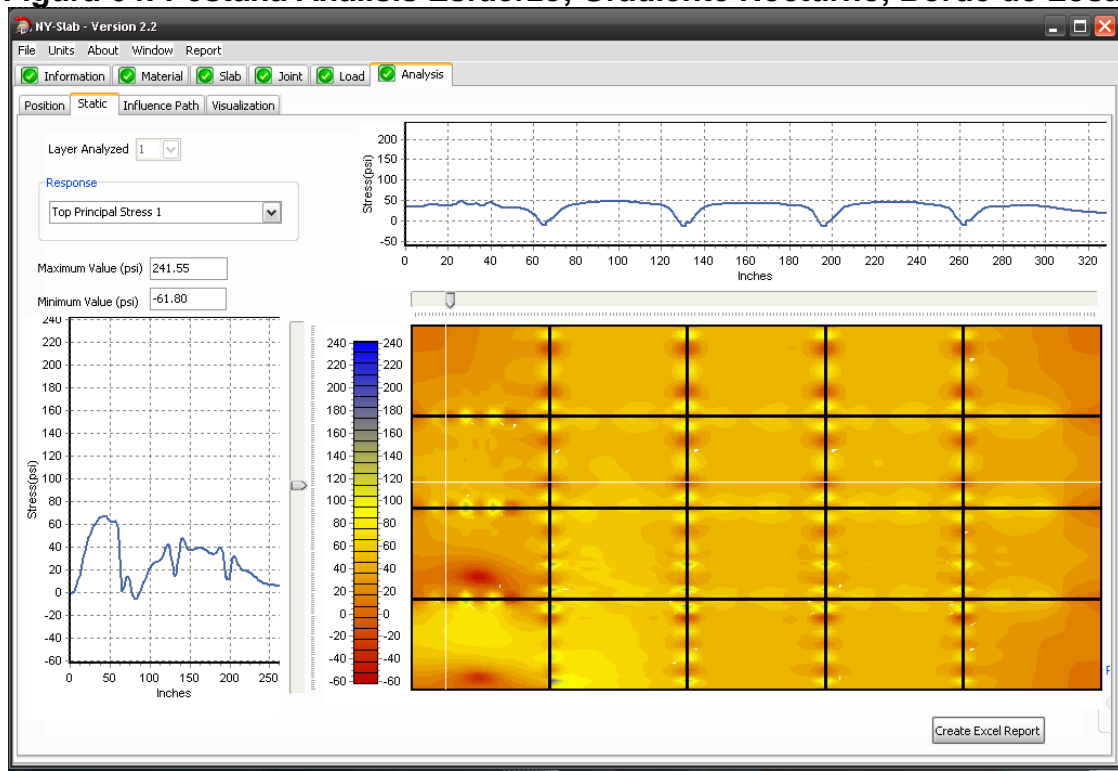
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 63: Pestaña Análisis Posición, Gradiente Nocturno, Borde de Losa.



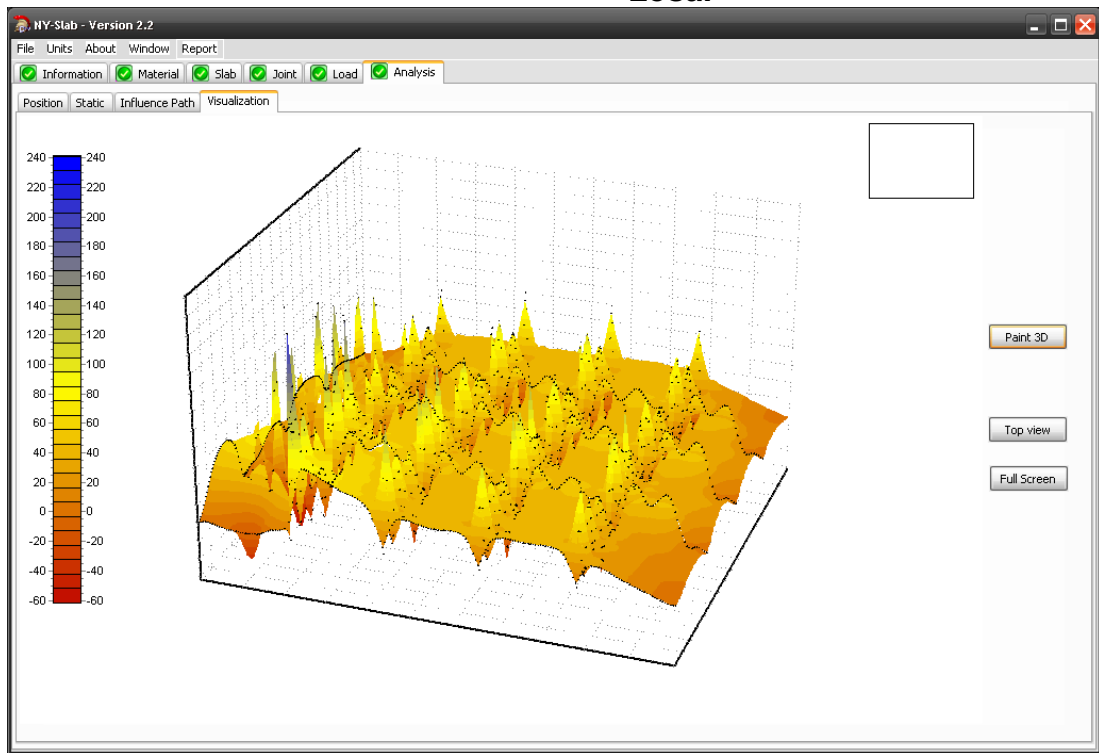
Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 64: Pestaña Análisis Esfuerzo, Gradiente Nocturno, Borde de Losa.



Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)

Figura 65: Pestaña Análisis visualización, Gradiente Nocturno, Borde de Losa.



Fuente: Software Nyslab (versión 2.2)