



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Tesina

**DISEÑO DE 10 KMS DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL TRAMO DE CARRETERA
“MACUELIZO-OCOCONA” POR EL METODO DE LA ASOCIACION DEL CEMENTO
PORTLAND (PCA)**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Oscar Ulises Orozco Alvarenga.

Br. Sergio Javier Reyes Martínez.

TUTORA

Ing. Claudia Verónica Reyes Romero.

MANAGUA, DICIEMBRE 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE

Managua 18 de Noviembre de 2016.

Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano FTC
Su Despacho

Estimado Decano:

Por medio de la presente me dirijo a usted para comunicarle que en calidad de tutora de los bachilleres **Sergio Javier Reyes Martínez y Oscar Ulises Orozco Alvarenga**, para la elaboración del trabajo de tesina titulado **“DISEÑO DE 10 KMS DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL TRAMO DE CARRETERA “MACUELIZO – OCOCONA” POR EL MÉTODO DE LA ASOCIACION DEL CEMENTO PORTLAND (PCA)**, como requisito para optar al título de Ingeniero Civil, he cumplido con el cometido que me asignó esta decanatura. Habiendo revisado cuidadosamente el documento final considero que el trabajo cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados y reúne los méritos necesarios para su presentación y defensa de conformidad con el Reglamento del Régimen Académico Vigente.

Esperando haber cumplido satisfactoriamente con la misión encomendada, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente.

Ing. Claudia Verónica Reyes Romero
Catedrático Tutor

Cc: Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.0931
Managua, octubre 31 de 2012

Bachilleres
OSCAR ULISES OROZCO ALVARENGA
SERGIO JAVIER REYES MARTINEZ
Presente

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema de Tesis titulado "DISEÑO DE 10 KMS DE PAVIMENTO RIGIDO DEL TRAMO DE CARRETERA "MACUELIZO-OCOCONA" POR EL METODO DE LA ASOCIACION DEL CEMENTO PORTLAND (PCA)", ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, de que el MSc. Ing SERGIO NAVARRO HUDIEL, sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 30 de abril de 2013.

Esperando puntualidad en la entrega del Trabajo, me despido.

Atentamente,



Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
DICC*man:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.1080
Managua, octubre 28 del 2014.

Bachilleres
OSCAR ULISES OROZCO ALVARENGA
SERGIO JAVIER REYES MARTINEZ
Su despacho

Estimados Bachilleres:

Atendiendo solicitud con fecha 14 febrero del 2014, solicitando cambio de tutor en el tema: DISEÑO DE 10 KM DE PAVIMENTO RIGIDO DEL TRAMO DE CARRETERA "MACUELIZO - OCOCONA" POR EL METODO DE LA ASOCIACION DEL CEMENTO PORTLAND (PCA)", tutoriada por el Ing. SERGIO JUNIOR NAVARRO HUDIEL, proponiendo a la Ing. CLAUDIA REYES ROMERO, como actual tutor.

Esta Decanatura aprueba la misma considerando los problemas planteados en su comunicación.

Habiendo superado esta dificultad, les deseo éxitos en la Culminación de su Tema Monográfico.

Atentamente,

DR. ING. OSCAR GUTIERREZ SOMARRIBA
Decano



Cc: Ing. Claudia Reyes Romero-Tutor
Ing. Sergio Junior Navarro Hudiel
Archivo-Consecutivo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC.FTC.REF No. 014
Managua, enero 19 del 2016.

Bachilleres
SERGIO JAVIER REYES M.
OSCAR ULISES OROZCO A.
Presente

Estimados Bachilleres:

En atención a su carta de solicitud de PRORROGA, para finalizar su trabajo De Tesina titulado "DISEÑO DE 10 KMS DE PAVIMENTO RIGIDO, DEL TRAMO DE CARRETERA "MACUELIZO - OCOCONA" POR EL METODO DE LA ASOCIACION DEL CEMENTO PORTLAND". Esta Decanatura aprueba la misma considerando los problemas planteados en su comunicación.

Deberán presentar concluida su Tesis debidamente revisada por el tutor guía el 19 de febrero del 2016.

Esperando de ustedes puntualidad en la entrega de su trabajo final, me despido.

Atentamente,


Dr. INGENIERO LUIS GUERRA GUTIERREZ SOMARRIBA
DECANO
MANAGUA, NICARAGUA

CC: Tutor
Archivo-Consecutivo



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE COORDINACION DE FORMAS DE
CULMINACION DE ESTUDIOS**

HOJA DE CONCLUSION DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES:
1) Oscar Ulises Orozco Alvarenga. 2) Sergio Javier Reyes Martínez.
NOMBRE DEL CURSO:
Curso de Titulación de Obras Viales.
NOMBRE DE LA TESINA:
DISEÑO DE 10 KMS DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL TRAMO DE CARRETERA "MACUELIZO-OCOCONA" POR EL METODO DE LA ASOCIACION DEL CEMENTO PORTLAND (PCA).
ESPECIFIQUE AL MENOS DOS AREAS DE CONOCIMIENTO QUE ABORDARAN EN LA TESINA:
1) Estudio de Suelo. 2) Estudio de Tránsito. 3) Diseño de la estructura de pavimento rígido.
FECHA DE DEFENSA:
VALORACION DEL TUTOR SOBRE LA TESINA
Habiendo revisado cuidadosamente el documento final considero que el trabajo cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados y reúne los méritos necesarios para su presentación y defensa de conformidad con el Reglamento del Régimen Académico Vigente.
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA
1) 2) 3)
FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DEL TUTOR: _____

CC: Archivo

DEDICATORIA

Dedico primeramente mi trabajo a Dios, porque me ha dado la fortaleza para continuar cuando he estado a punto de rendirme. De igual forma dedico esta tesis a mi madre, abuela y bisabuela por formarme con buenos valores, los que me han ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mi padre por ayudarme a contar con los recursos necesarios para culminar mis estudios.

A mi familia en general porque como estudiantes universitarios sabemos que el sacrificio para concluir nuestros estudios, no solo se debe a nuestro propio esfuerzo sino también al de todas estas personas que con su apoyo nos motivaron a terminar un escaño más en nuestras vidas y es por eso que con todo mi cariño les dedico mi trabajo, ya que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por apoyarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre, mi corazón y mi agradecimiento.

Sergio Javier Reyes Martínez

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida, la fuerza, la inteligencia, el don de saber expresarme y pensar como corresponde; pues él me guía a la Sabiduría y hacia el buen camino. Por esa vida y don doy gracias a Él, que me permitió llegar a este momento tan importante de mi vida y formación profesional de mi carrera universitaria.

A mi Madre Marisol Alvarenga, que me formó con buenos sentimientos, hábitos, principios morales y valores cristianos; roca que cimentó, el Amor a Dios, al prójimo y así salir adelante en los momentos alegres y en los momentos más difíciles de mi vida; porque desde su vientre me amó e infundió el Amor más grande a Dios, por educarme en la disciplina; en el camino de la verdad, rectitud y justicia.

A mi Padre, mis tías y tíos, a mis abuelos y abuelas que fueron ellos, con su presencia, su paciencia devoción el estímulo constante para alcanzar mis objetivos profesionales, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Oscar Ulises Orozco Alvarenga

AGRADECIMIENTOS

Esta Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniendo paciencia, dando ánimo, acompañándonos en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

Agradezco a Ing. Claudia Reyes por haber confiado en nosotros, por la paciencia y por la dirección de este trabajo. Gracias también a mi compañero Oscar Ulises, que me apoyó en todos estos años dentro y fuera del salón de clase.

A mi madre y a mi abuela que me acompañaron en esta aventura que significó la universidad y que, de forma incondicional, entendieron mis ausencias y mis malos momentos. A mi padre, que a pesar de la distancia siempre estuvo atento para saber cómo iba. A mi esposa, que desde un principio hasta el día hoy sigue dándome ánimo para terminar este proceso y a mi hija que ha sido una gran bendición y mi mayor motivación, pero sobre todo a Dios por darme la vida y tantas bendiciones, como haberme permitido llegar hasta aquí.

Sergio Javier Reyes Martínez

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por mi madre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi familia, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta meta planteada en mi vida.

A nuestra tutora por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma de este proyecto. Gracias a todos y todas por lo que hemos logrado.

Oscar Ulises Orozco Alvarenga

RESUMEN EJECUTIVO

La presente tesis tiene como objeto diseñar la estructura de pavimento rígido de dos tramos de carretera Macuelizo-Ococona (tramo 1 de la estación 0+000 a la estación 6+750, segundo tramo de la estación (10kms) Municipio de Macuelizo, Departamento de Nueva Segovia, por medio del método de la Asociación del Cemento Portland (PCA), estructura que específicamente comprende la carretera que comunica al Municipio de Macuelizo con el Municipio de Santa María.

El trabajo se desarrolló en cinco capítulos, en los cuales se abordaron:

CAPITULO I: Generalidades. Se describen aspectos básicos del proyecto, tales como introducción, descripción del Municipio, antecedentes, justificación y objetivos.

CAPITULO II: Estudio de Suelos. Con el propósito de conocer las características físico-mecánicas del suelo para la determinación de su utilidad en la vía como base, sub-base y sub-rasante. En el mismo se incluyeron las muestras sobre la vía y los bancos de materiales, identificando: granulometría, índice de plasticidad, límite líquido, pesos unitarios, ensayo Proctor Estándar, ensayo Proctor Modificado y ensayo CBR.

CAPITULO III: Estudio de Tránsito. Es necesario para determinar el número de repeticiones esperadas por cada tipo de eje. Describe la recopilación de datos, clasificación de vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, procesamiento de la información, proyección del tránsito, tasa de crecimiento, período de diseño, factor de crecimiento anual, factor de sentido y factor carril.

CAPITULO IV: Diseño de Estructura de Pavimento Rígido. Se realiza por medio del método de la Asociación del Cemento Portland (PCA) y se verificó utilizando la herramienta de software para diseño de pavimentos rígidos BS-PCA 1984.

Se aplicaron los siguientes factores: resistencia a la flexión del concreto (MR) a los 28 días, terreno de apoyo o base o el valor del módulo de reacción K del terreno de apoyo, período de diseño, número de repeticiones esperadas para cada eje, factor de crecimiento anual (FCA), factor de sentido, factor carril y factor de seguridad de carga (LSF).

CAPITULO V: Conclusiones y recomendaciones. Establecidas como producto del trabajo realizado, con el objetivo de que sean de utilidad para la construcción del tramo en estudio, en este capítulo incluye la bibliografía.

ANEXOS. Complementan la información utilizada en el desarrollo del proyecto.

ABREVIATURAS

AASHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación.

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (Ing. American Society For Testing and Materials).

CBR: California Bearing Ratio.

CREC: Crecimiento.

ESAL: Ejes de Cargas Estándar Equivalentes.

FC= Factor de Crecimiento

FD= Factor de Distribución Direccional

Fc= Factor Carril

GC: Grava arcillosa. Clasificación SUCS de los suelos.

INTUR: Instituto Nacional de Turismo.

IMS: Ingeniería de Materiales y Suelos. Laboratorio de suelos.

MTI: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

MR= Módulo resiliente.

NP: No Plástico.

N°: Número.

OL: Limos y arcillas orgánicas. Clasificación SUCS de los suelos.

PIB: Producto Interno Bruto.

PSI= Libras por pulgada cuadrada.

SC: Arena arcillosa. Clasificación SUCS de los suelos.

SN= Coeficiente estructural.

SIECA: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos).

SM: Sondeo manual.

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

TAC: Tasa Anual de Crecimiento.

TPD: Tránsito Promedio Diario.

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

VPD: Volumen Promedio Diario

TPD-C: Tránsito promedio diario de vehículos pesados en ambas direcciones.

INDICE

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1- INTRODUCCION	1
1.2- ANTECEDENTES	2
1.3- UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	4
1.3.1- MACROLOCALIZACIÓN.....	4
1.3.2- MICROLOCALIZACIÓN	6
1.4- OBJETIVOS	7
1.4.1- OBJETIVOS GENERALES.....	7
1.4.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.5- JUSTIFICACIÓN	8

CAPITULO II ESTUDIO DE SUELOS

9

2.1- INTRODUCCIÓN.....	10
2.2- TRABAJO DE CAMPO	11
2.3- CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO Y METODO S.U.C.S	12
2.4- ESTUDIO DE LABORATORIO	16
2.5- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	17
2.6 - DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA	17
2.7- CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	18
2.8- SONDEOS DE LOS BANCOS DE MATERIALES.....	20
2.9- FUENTES DE MATERIALES.....	20
2.10- ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR.....	22
2.11- ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO	23
2.12- ENSAYO CBR	24
2.13- RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELO SEGÚN AASHTO	24
2.13.1- CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUB-BASE (K).....	25

CAPITULO III ESTUDIO DE TRANSITO.....	27
3.1- INTRODUCCIÓN.....	28
3.2- CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES POR CATEGORÍAS SEGÚN VECTORES.	29
3.2.1- Estaciones de mayor cobertura (EMC):.....	29
3.2.2- Estaciones de corta duración (ECD):.....	29
3.2.3- Estaciones de conteo sumaria (ECS):.....	29
3.3- RECOPIACIÓN DE DATOS.....	29
3.3.1 LISTADO HISTÓRICO DEL TPDA HASTA EL AÑO 2011	29
3.3.2- CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS	30
3.3.3- CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE VEHÍCULO POR LA DISPOSICIÓN DE SUS EJES.....	31
3.4- PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO.....	32
3.5- CALCULO DEL TPDA	35
3.6- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	37
3.7- CRECIMIENTO NORMAL DEL TRÁNSITO.....	38
3.7.1-DEFINICIÓN DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB).	38
3.7.2- TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL.	39
3.7.3 HISTORIAL DEL TRÁNSITO VEHICULAR.....	40
3.8- TRÁNSITO EN EL PERÍODO DE DISEÑO	42
3.9- FACTOR DE CRECIMIENTO ANUAL (FCA).	43
3.10- REPETICIONES ESPERADAS PARA CADA TIPO DE EJE.	44
CAPITULO IV DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO.....	47
4.1- INTRODUCCIÓN.....	48
4.2- TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	48
4.2.1- PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO SIMPLE	48
4.2.2- PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO SIMPLE CON VARILLAS DE TRANSFERENCIA DE CARGAS.....	48
4.2.3- PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO REFORZADO.....	49
4.2.4- PAVIMENTO RÍGIDO CON REFUERZO CONTINUO.	49
4.3- VENTAJAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.	49
4.4- PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL MÉTODO DE LA PCA.....	50
4.5-FACTORES DE DISEÑO.....	51
4.5.1- RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO O MODULO DE RUPTURA (MR).	51

4.5.2- TERRENO DE APOYO O RESISTENCIA DE LA SUB-BASE K.	53
4.5.3- PERIODO DE DISEÑO	54
4.5.4- NUMERO DE REPETICIONES ESPERADAS PARA CADA EJE.	55
4.5.5- FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA (FSC).	55
4.6- DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO.....	55
4.7- CRITERIOS DE DISEÑO.....	55
4.8- DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO.....	56
4.9- TRAMO DE CARRETERA MACUELIZO-OCOCONA.	58
4.9.1- ESFUERZO EQUIVALENTE	58
4.9.2- RELACIÓN DE ESFUERZO.....	60
4.9.3- ANÁLISIS POR FATIGA.	60
4.9.4- FACTOR DE EROSIÓN.....	65
4.9.5- ANÁLISIS DE EROSIÓN.	66
4.10- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS AL DISEÑO.....	78
4.10.1- MODULACIÓN DE LAS LOSAS.....	79
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
5.1- CONCLUSIONES.....	83
5.1.1.- ESTUDIO DE SUELOS	83
5.1.2. - ESTUDIO DE TRÁNSITO	84
5.1.3. - DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO.	85
5.2.- RECOMENDACIONES	86
5.3- BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	
ANEXOS CAPITULO II	
ANEXOS CAPITULO III	
ANEXOS CAPITULO IV	

CAPITULO I
GENERALIDADES

1.1- INTRODUCCION

El Municipio de Macuelizo, Departamento de Nueva Segovia, se encuentra ubicado entre las coordenadas 13°39' de latitud Norte y 86°36' de longitud Oeste, con una altitud de 700 m.s.n.m. La Cabecera Departamental del Departamento de Nueva Segovia (Ocotal) está ubicada a 226 Km. de Managua, Capital de la República de Nicaragua. El Municipio de Macuelizo está localizado en el sector oeste de la Cabecera Departamental, a una distancia de 18.5 Km. de pavimento adoquinado en excelente estado en todo tiempo.

La densidad poblacional del Municipio es de 28 habitantes por kilómetro cuadrado. Su población total es de 6958 habitantes de los cuales un 4.71% es población urbana y el 95.29% es rural, con un crecimiento poblacional del 2.62% anual por cada cien habitantes. El municipio de Macuelizo tiene una superficie de 250 km² y por su extensión territorial se ubica en el sexto lugar entre los 11 Municipios de Nueva Segovia. (Caracterización del municipio de Macuelizo, Alcaldía Municipal de Macuelizo, 2012)

La economía está basada en la producción agrícola (frijol, maíz, café), extracción de madera y arena de la Comunidad de Ococona, del banco de material Las Playas. El tramo de carretera estudiado comunica el casco urbano del Municipio de Macuelizo con Ocotal, lo que permitirá transportar los productos referidos para comercializarlos en el Departamento de Nueva Segovia.

La alcaldía del Municipio de Macuelizo cuenta con un estudio de suelo del tramo Macuelizo – Ococona, el cual nos fue brindado para la formulación de este proyecto, una vez revisado procedimos al estudio de tránsito y posteriormente al diseño de la estructura del pavimento rígido, utilizando el método de la P.C.A (Asociación del Cemento Portland).

1.2- ANTECEDENTES

Según el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), la red vial de Nicaragua tiene aproximadamente 24,033 km, de los cuales 2,375 km (9.88%) son asfaltados; 1,006 km (4.19%) son adoquinados; 66 km (0.28%) son de concreto hidráulico; 3,620 km (15.06%) revestidos; 9,722 km (40.45%) son de todo tiempo; 7,226 km (30.07%) son de estación seca. (Red Vial de Nicaragua 2013, MTI, pag. 28).

El nombre del Municipio de Macuelizo se debe a la abundancia de árboles de Macuelizo en el lugar, generalmente utilizados para la elaboración de muebles y viviendas. En el año 1801 se descubrió minerales de oro y plata, lo que originó la migración de personas a esta zona. En el año 1813 se crea el Municipio, elevando el caserío que se había formado a la categoría de pueblo en el año 1815. (Sr. Andrés de Jesús Cerna Espinoza, figura notable del municipio)

En el tramo de camino donde se pretende realizar el diseño es de suelo natural y el principal problema son las escorrentías superficiales ocasionadas por las lluvias de la zona y su irregular topografía que provocan cárcavas a lo largo de la vía. Actualmente se realizan obras de drenaje tanto longitudinales como transversales a lo largo del tramo de carretera.

Las reparaciones de calles y caminos ayudan a mantener un buen acceso a las diferentes comunidades del Municipio lo que permite que la población pueda viajar de una manera más segura y realizar actividades importantes como es el traslado de la producción para el comercio, esto también facilita la presencia de organismos no gubernamentales que pretenden llevar proyectos a las diferentes comunidades.

En ese sentido la Alcaldía Municipal ha presentado ante organismos de cooperación externa, así como ante las instancias del Gobierno Central acciones concretas para rehabilitar, mejorar, ampliar y mantener en óptimas condiciones la red vial del Municipio. (Plan de prevención, mitigación y atención de desastres., ALCALDIA MUNICIPAL MACUELIZO 2013).

Por lo anterior la pretensión es realizar un diseño de 10 kms de pavimento rígido del tramo de carretera Macuelizo-Ococona por el método de la Asociación del Cemento Portland (PCA), para mejorar las condiciones actuales del Municipio de forma tal que sirva como base para las gestiones propias de la Alcaldía Municipal.

Pese a las limitaciones existentes, Macuelizo es un municipio que tiene estrechas relaciones de intercambio comercial con los municipios vecinos, por lo que es conveniente establecer coordinación con los Gobiernos Locales de Ocotlán, Santa María y Dipilto, a fin de gestionar ante el MTI, la rehabilitación y mantenimiento de la vía que los une como Municipios Segovianos.

1.3- UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

El Municipio de Macuelizo, del Departamento de Nueva Segovia, se encuentra ubicado entre las coordenadas 13°39' de latitud norte y 86°36' de longitud oeste con una altitud de 700 m.s.n.m. a una distancia de 18.5 Km. en el sector oeste de la Cabecera Departamental de Nueva Segovia (Ocotal) misma que está ubicada a 226 Km. de Managua, Capital de la República de Nicaragua.

Según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA) 2da edición, año 2004. pág. 90, la vía en estudio se clasifica como Colectora rural lo cual dice que sus volúmenes de tránsito para diseño se ubican entre los 500 y 10,000 vehículos/día.

Se encuentra ubicada en el Departamento de Nueva Segovia, el que a su vez está situado en la Región Norte de Nicaragua, compuesto por doce Municipios: Ocotal, Dipilto, Macuelizo, Santa María, Mozonte, Ciudad Antigua, San Fernando, Jalapa, Jícaro, Murra, Quilali y Wiwilí.

1.3.1- MACROLOCALIZACIÓN



Gráfico N° 1: Macro localización.

1.3.2- MICROLOCALIZACIÓN

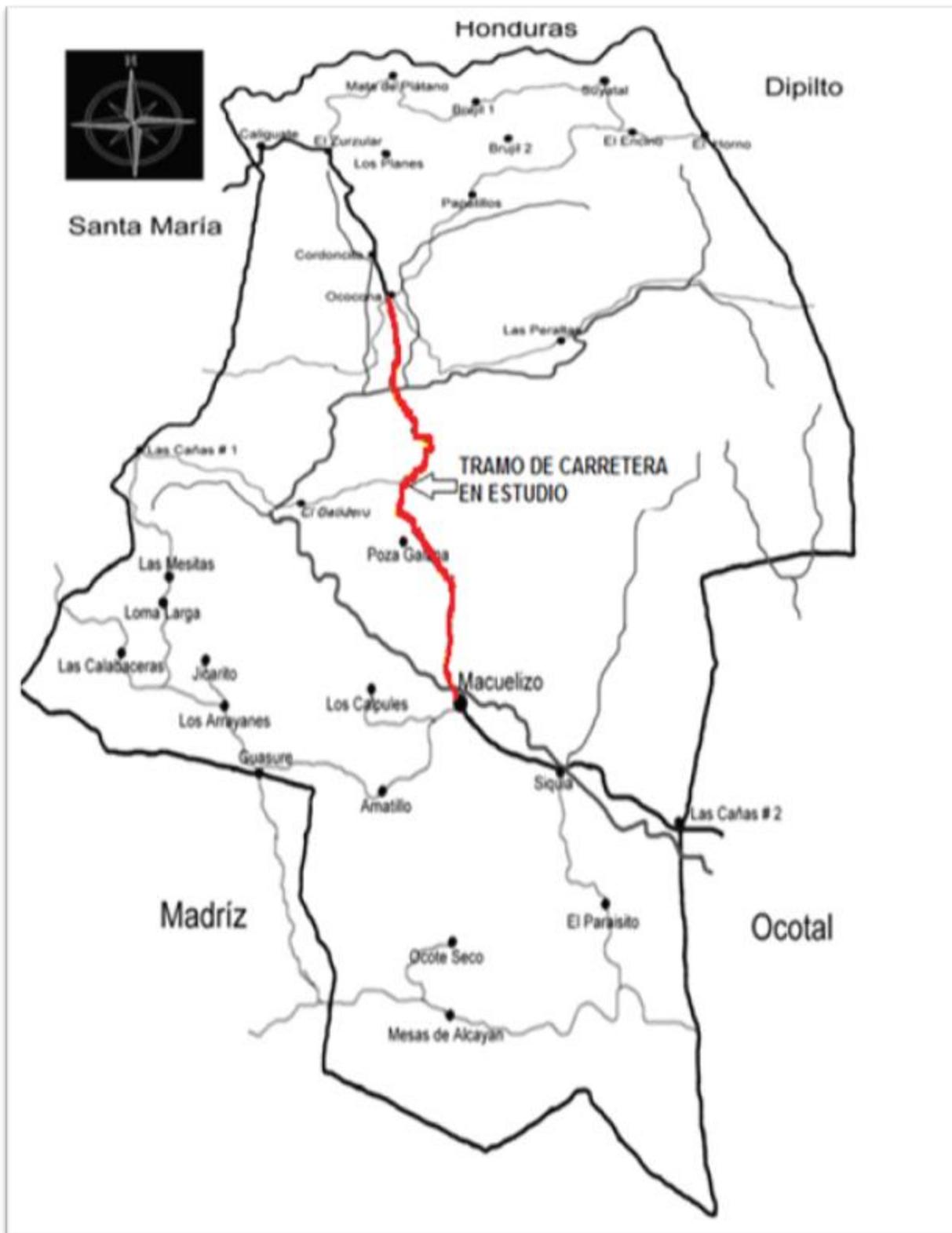


Gráfico N° 2: Microlocalización.

1.4- OBJETIVOS

1.4.1- OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar la estructura de pavimento rígido del tramo de carretera Macuelizo-Ococona por el método de la Asociación del Cemento Portland (PCA).

1.4.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efectuar un análisis del estudio de suelo a lo largo de la vía y de los bancos adyacentes para determinar sus características físicas y mecánicas para su utilización en el diseño.
- Realizar un conteo y análisis vehicular para conocer el número de repeticiones esperadas durante todo el periodo de diseño de cada tipo de eje.
- Determinar los espesores necesarios de la estructura de pavimento rígido para soportar las cargas de diseño impuestas por la acción del tránsito mediante el método de la asociación del cemento portland (PCA).

1.5- JUSTIFICACIÓN

El Municipio de Macuelizo está ubicado a 18.5 km de la Cabecera Departamental (Ocotlán). En el casco urbano sólo se cuenta con 3400 m² de calles adoquinadas, las redes secundarias a comarcas y fincas por lo general se encuentran en mal estado y únicamente son transitables en verano, lo que afecta la economía que se sustenta en el cultivo de granos básicos, café, madera y la ganadería. (Plan de prevención, mitigación y atención de desastres., ALCALDIA MUNICIPAL MACUELIZO 2013).

El tramo que comunica al Municipio de Macuelizo con la comunidad de Ococona, se encuentra en su mayoría del tiempo en mal estado, razón por la cual la Alcaldía ha venido tratando de resolver esta problemática con proyectos de infraestructura vial como son obras de drenaje y obras de protección.

A fin de evitar accidentes y hechos lamentables se hace imprescindible el mejoramiento de esta vía. En el aspecto económico, los costos productivos se ven notablemente alterados, siendo menos competitivos en el mercado a los productores de la zona.

La construcción de infraestructura de escuelas, centros de salud, casas bases, servicios básicos entre otros, generalmente se ven afectados por el uso de materiales con altos costos o bien se limita al uso de los materiales disponibles en la zona.

Por lo antes expresado, el mejoramiento del tramo de carretera Macuelizo-Ococona debe ser considerado una tarea de primer orden para el despegue socio-económico del Municipio, para lo cual se ha propuesto una carretera con estructura de pavimento rígido, que a largo plazo resultará más económico su mantenimiento debido a los años de servicio y al sencillo mejoramiento.

La tesina desarrollada tiene como finalidad brindar una propuesta de solución a la problemática planteada anteriormente en lo que respecta al tramo de carretera antes descrito, proporcionando a la Alcaldía Municipal un diseño viable que le permita la gestión de fondos ante ONG para la construcción de la estructura que se ha de utilizar y por ende contribuirá al desarrollo socio-económico de la zona.

CAPITULO II
ESTUDIO DE SUELOS

2.1- INTRODUCCIÓN

Las vías terrestres se construyen fundamentalmente de tierra y sobre tierra. Con el transcurso del tiempo, la técnica moderna ha reconocido la influencia que sobre una estructura de esta naturaleza tiene el terreno que le sirve de apoyo, entendiéndose por tal no sólo al suelo o roca que exista en el lugar sino a todo el conjunto de condiciones que comprenden desde la constitución mineralógica, la estructuración del suelo, la cantidad y el estado del agua contenida y su modo de fluir, hasta una agrupación de factores ajenos al concepto tradicional del suelo, pero que definen en el tiempo su comportamiento, tales como los factores climáticos, económicos y los que se refieren al **"USO DE LA TIERRA"** en actividades que poco o nada tienen que ver con la tecnología de vías terrestres.

Sin embargo, ha sido hasta épocas mucho más recientes cuando los ingenieros han comprendido que el uso de materiales que se ofrecen en general en amplia variedad en la naturaleza, dentro del cuerpo de la estructura, no es indiferente o arbitrario, sino selectivo y que aun utilizando los mismos materiales para producir una sección dada, pueden obtenerse secciones estructurales muy distintas según el uso que se haga de los materiales dentro de la sección; tanto en lo que se refiere a su posición en ella, como a las condiciones en que se coloquen y a los tratamientos mecánicos o químicos que se les dé la construcción de las vías terrestres implica entonces el uso de los suelos, pero un uso selectivo, juicioso y en lo posible científico.

2.2- TRABAJO DE CAMPO

Según los informes del Laboratorio de Materiales y Suelos proporcionados por la Alcaldía Municipal de Macuelizo, con el propósito de conocer las condiciones y características del sub-suelo a lo largo de la carretera en estudio, se procedió a la ejecución de 40 sondeos manuales, los que se distribuyeron de forma racional en toda la carretera, ubicándose de manera alterna a la izquierda y derecha del eje central de la vía (zigzag), a una distancia de 250 metros entre cada sondeo.

En cada sitio de sondeo, primeramente se realizó una clasificación de forma visual y al tacto, de las características del tipo de suelo encontrado de cada estrato de suelo, todas las muestras de suelos obtenidas, previamente clasificadas e identificadas, se trasladaron al Laboratorio de Materiales y Suelos “Rodríguez y Asociados”, Ingenieros Consultores de la ciudad de Managua, para ser sometidas a las pruebas y ensayos correspondientes a fin de conocer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos existentes en el tramo del proyecto.

2.3- CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO Y METODO S.U.C.S

En base de los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorio, (Ver Anexos Capitulo II, tabla N°32), se puede afirmar que en toda la carretera en estudio predominan los tipos de suelo siguientes:

1. Suelos granulares: los que están conformados por gravas limosas, de color café. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), se clasifican del tipo **GM**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifican del tipo **A-1-a**, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de nula plasticidad. Considerando la clasificación de la **AASHTO**, este material se cataloga apto para ser utilizado como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.
2. Suelos granulares: los que están conformados por gravas limosas, de color café. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), se clasifican del tipo **GM**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifican del tipo **A-1-b**, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de media plasticidad. Considerando la clasificación de la **AASHTO**, este material se cataloga de bueno para ser utilizado como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.
3. Suelos granulares: los cuales se encuentran constituidos por gravas limosas de mala graduación, de color café. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), se clasifican del tipo **GP-GM**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifican del tipo **A-1-a**, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de nula plasticidad.

Considerando la clasificación de la **AASHTO**, este material se cataloga de bueno para ser utilizado como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.

4. Suelos granulares: los cuales se encuentran constituidos por gravas limosas de buena graduación, de color gris oscuro. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), se clasifican del tipo **GW-GM**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifican del tipo **A-1-a**, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de compresibilidad baja y su plasticidad es nula. Según la clasificación de la **AASHTO**, este material se cataloga de bueno como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.
5. Suelos elásticos: los que se encuentran conformados por limos arcillosos, de color café. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), se clasifican del tipo **MH**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifican del tipo **A-7-5**, con índice de grupo de ocho. La compresibilidad de este material es alta y su plasticidad es media. Según la clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se cataloga de malo como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.
6. Suelos elásticos: los que se encuentran conformados por arcillas inorgánicas, de color gris oscuro. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), se clasifican del tipo **CH**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifican del tipo **A-7-6**, con índice de grupo de diecinueve. La compresibilidad de este material es alta y su plasticidad es alta. Según la clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se cataloga de malo como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.
7. Suelos finos: los que se encuentran conformados por limos arcillosos, de color gris oscuro. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), se clasifican del tipo **ML**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifican del tipo **A-6**, con índice de grupo de cinco. La compresibilidad de este material es baja y su plasticidad es media. Según la clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se cataloga de malo como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.

8. Suelos finos: los que se encuentran conformados por limos arcillosos, de color gris oscuro. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), se clasifican del tipo **ML**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifican del tipo **A-7-6**, con índice de grupo de doce. La compresibilidad de este material es baja y su plasticidad es alta. Según la clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se cataloga de malo como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.

Según los resultados tanto en la inspección visual e inspección de campo, como los ensayos en el laboratorio nos indica que el suelo está conformado en general y predominantemente por suelos naturales cohesivos que se clasifican como arcillas del Tipo A-7-5 en sus diferentes Índices de Grupo que van desde (3) a (8) y suelos del tipo A-7-6 con índices de grupo de (12) a (18). También se encontró en las capas superficiales suelos de material selecto por efecto de mantenimiento de tipo A-1-a (0), A-1-b (0) y A-2-7 (3), (Ver Anexos Capítulo II, tabla N°32).

El grupo A-7-5 y A-7-6 se consideran suelos elásticos, conformadas por limos arcillosos de color café y de color gris oscuro, están en las capas bajas del sub-suelo, por debajo de los 15 centímetros de espesor, esto demuestra que el camino recibió un tratamiento de balasto con anterioridad y en algunos tramos están en la superficie. La plasticidad de estas arcillas es elevada, con valores de 12.6% a 27.5%, correspondiente a una arcilla de alta plasticidad compacta.

Con respecto a la granulometría, el grupo A-7-5 y A-7-6 se consideran finos con partículas que pasa la malla 200 que varía entre 45% a 75%. Con respecto al valor relativo de soporte es bajo teniendo un CBR de 3% a 13% en un grado de compactación de 95%.

Superficialmente y sobre este estrato se encuentra una capa de material granular selecto en algunos tramos, que funciona como capa de rodamiento para la circulación vehicular clasificado como del tipo A-1-a (0), A-1-b (0) y A-2-7 (3), con plasticidad de 13% a 27.5%.

El espesor varía entre 0, 10, 20 y hasta 40 cm en algunos tramos, esta capa en algunos sectores desaparece funcionando en estos casos como superficie de rodadura. El CBR varía entre 20% y 80% en un grado de compactación de 95%. Es común que en los otros puntos se formen lodazales y pegaderos que dificulta el paso vehicular.

En resumen, la estratigrafía en la vía se compone de material natural, son suelos arcillosos muy inestables de color café y color gris oscuro, propio de la región y en algunos tramos se encuentran suelos de relleno con material selecto de tipo gravas limosas producto de un mantenimiento previo.

La tabla N° 1 contiene un resumen de las características y cualidades de los suelos predominantes en el camino:

TABLA N° 1:

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES OBTENIDOS DE LOS SONDEOS MANUALES SEGÚN CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS.

ESTACION	CAPA	CLASIFICACION AASHTO	PROFUNDIDAD DE LAS CAPAS	CLASIFICACION SUCS	GRANULOMETRIA			L.L %	L.P %
					3/4"	# 4	# 200		
0+250	RELLENO	A-1-a (0)	0.00 - 0.30	GM	84	36	13	-	NP
9+000	RELLENO	A-1-b (0)	0.00 - 0.80	GM	71	46	23	40.2	13
9+750	NATURAL	A-2-7 (3)	0.50 - 1.50	GC	88	43	33	56.9	27.5
2+000	RELLENO	A-7-5 (3)	0.00 - 1.50	GM	88	66	45	44.1	12.6
1+000	NATURAL	A-7-5 (8)	0.20 - 1.50	MH	100	65	58	57.4	12.8
6+500	NATURAL	A-7-6 (12)	0.10 - 1.50	CH	-	100	53	56.9	27.5
5+250	NATURAL	A-7-6 (18)	0.50 - 1.50	CH	-	100	74	56.9	27.5

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos "RODRIGUEZ Y ASOCIADOS" Ingenieros Consultores.

En resumen según la estratigrafía del suelo, los grupos A-7-5 , A-7-6 y A-1-a son los grupos que predominan en todos los sondeos manuales realizados en el tramo de carretera Macuelizo-Ococona, por tal motivo se realizaran dos diseños, el CBR que se tomará para obtener el módulo de reacción de la capa de soporte será del 3% para los suelos A-7-5 , A-7-6 y el CBR DE 38% para el suelo A-1-a tomado del gráfico N°3, pág. 26.

2.4- ESTUDIO DE LABORATORIO

Las diferentes muestras de suelos que se obtuvieron en la exploración, se reagruparon y fueron sometidas a ensayos de laboratorio.

A continuación se indican los 3 tipos de ensayos efectuados y la designación A.A.S.H.T.O. correspondiente:

TABLA N° 2
TIPOS DE ENSAYO Y DESIGNACIÓN AASHTO PARA SONDEOS MANUALES.

Tipo de Ensayo	Designación A.A.S.H.T.O
Análisis granulométrico de los suelos	T 27 – 88
Límite líquido de los suelos	T 89 – 90
Índice de plasticidad de los suelos	T 90 – 97

Fuente: Laboratorio de Materiales “Rodríguez y Asociados”, ingenieros consultores.

Todos los suelos en estudio se clasificaron por el sistema A.A.S.H.T.O. en su designación M 145-87 y por el sistema S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) según la A.S.T.M, en su designación D 2487.

2.5- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como **AASHTO** o **SUCS**.

La importancia del ensayo radica en que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub-bases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc., depende de este análisis. Una vez agrupadas las muestras, se realizó el análisis granulométrico para determinar su clasificación y la calidad del material de las muestras extraídas; (Ver Anexos Capítulo II, tablas N° 32 y N° 33) respectivamente.

2.6 - DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

Para la correcta caracterización del suelo, además del análisis granulométrico, se debe realizar el ensayo de Atterberg, con la finalidad de estudiar las características de los granos de menor tamaño que pasan por el tamiz N°200 no considerados en el análisis mecánico de los suelos.

TABLA N° 3

LÍMITES DE CONSISTENCIA DE SONDEOS DE LINEA.

SONDEOS	LIMITE LIQUIDO %	INDICE DE PLASTICIDAD %
Sm-1	-	NP
	57,4	12,8
Sm-2, Sm-3, Sm-4, Sm-5, Sm-6, Sm-9, Sm-10	44,1	12,6
	57,4	12,8
Sm-7, Sm-23, Sm-24, Sm-25, Sm-26	--	NP
	56,9	27,5
Sm-8	44,1	12,6
Sm-11, Sm-12, Sm-13, Sm-14, Sm-31, Sm-32, Sm-33, Sm-34, Sm-39	-	NP
Sm-15, Sm-16	-	NP
	49,5	15,9
Sm-17, Sm-20, Sm-21, Sm-22	--	NP
	56,9	27,5
Sm-18, Sm-19	49,5	15,9
Sm-27- Sm-28, Sm-30	--	NP
Sm-29	--	NP
Sm-35, Sm-36, Sm-37, Sm-38	40,2	13,0
	56,9	27,5
Sm-40	--	NP
	54	31

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos "RODRIGUEZ Y ASOCIADOS" Ingenieros Consultores.

2.7- CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

En la actualidad, los sistemas más utilizados para la clasificación de los suelos en estudios para diseño de pavimentos de carreteras y aeropistas, son la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y Unified Soil Classification System, conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

De acuerdo a los resultados obtenidos de la granulometría de los suelos estudiados (Ver Anexos Capitulo II, tabla N°32), puede establecerse la clasificación de suelos que a continuación se detallan en la siguiente tabla.

TABLA N° 4
CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN S.U.C.S Y AASHTO

MUESTRA	CLASIFICACION	
	S.U.C.S	AASHTO
Sm-1	GM	A - 1 - a (0)
	MH	A - 7 - 5 (8)
Sm-2, Sm-3, Sm-4, Sm-5, Sm-6, Sm-9, Sm-10	GM	A - 7 - 5 (3)
	MH	A - 7 - 5 (8)
Sm-7, Sm-23, Sm-24, Sm-25, Sm-26	GM	A - 1 - b (0)
	CH	A - 7 - 6 (12)
Sm-8	GM	A - 7 - 5 (3)
Sm-11, Sm-12, Sm-13, Sm-14, Sm-31, Sm-32, Sm-33, Sm-34, Sm-39	GP-GM	A - 1 - a (0)
Sm-15, Sm-16	GM	A - 1 - a (0)
	MH	A - 7 - 5 (12)
Sm-17, Sm-20, Sm-21, Sm-22	GM	A - 1 - a (0)
	CH	A - 7 - 6 (18)
Sm-18, Sm-19	MH	A - 7 - 5 (15)
Sm-27- Sm-28, Sm-30	GM	A - 1 - a (0)
Sm-29	GW-GM	A - 1 - a (0)
Sm-35, Sm-36, Sm-37, Sm-38	GM	A - 1 - b (0)
	GC	A - 2 - 7 (3)
Sm-40	SM	A - 1 - b (0)
	CH	A - 7 - 6 (19)

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos "RODRIGUEZ Y ASOCIADOS" Ingenieros Consultores.

2.8- SONDEOS DE LOS BANCOS DE MATERIALES

Para identificar los volúmenes de materiales disponibles con las características geotécnicas adecuadas, se realizaron los estudios de dos bancos de materiales y de esta manera determinar si podían suplir las necesidades del proyecto.

Se hizo un recorrido en el Municipio de Macuelizo con el propósito de localizar y muestrear 2 posibles fuentes de materiales, las que pudieran suplir del material de sub-base de adecuada calidad al proyecto.

Las muestras obtenidas en el campo, se examinaron y clasificaron in situ por el personal de campo, tomándose muestras alteradas, correspondientes a cada estrato, las que se trasladaron al Laboratorio de Materiales y Suelos “Rodríguez y Asociados”, Ingenieros Consultores de la ciudad de Managua, para realizarle los ensayos básicos necesarios.

TABLA N° 5
RESUMEN DE LOS BANCOS DE MATERIALES.

NOMBRE	UBICACION	DUEÑO	VOLUMEN (m^3)	POSIBLE USO
Fuente 1: Banco de Macuelizo	A 700 mts del Municipio del Macuelizo	Alcaldía Municipal	> 8,000	Base
Fuente 2: Banco El Batidero	A 8 Km del Municipio de Macuelizo	Marvin Cáceres	> 10,000	Base

Fuente: Laboratorio de Materiales “Rodríguez y Asociados”, Ingenieros Consultores.

2.9- FUENTES DE MATERIALES

Con el propósito de suministrar a la obra en estudio de materiales adecuados de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimentos, se tomaron muestras de dos fuentes diferentes de materiales disponibles, cuyas características se describen a continuación.

2.9.1- FUENTE DE MATERIALES 1, BANCO DE MACUELIZO.

Esta fuente está conformada por materiales granulares, correspondientes a gravas arcillosas. En el sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS, este material se clasifica del tipo GP-GC. En el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-1-a, su índice de grupo es cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de baja plasticidad, su CBR es de 92.2 %, su densidad seca máxima es de 1,694 Kg/m³ y su humedad óptima es de 8.2%.

En base al sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, este material se caracteriza de excelente a bueno para ser utilizado en terracería y/o estructuras de pavimento, ("Ingeniería de Pavimentos para Carreteras" Alfonso Montejo Fonseca, 2da edición, pág. 46), (Ver tabla N°6, pág. 22).

Esta fuente de materiales se localiza a 700 metros del Municipio de Macuelizo, carretera hacia la comunidad de Ococona.

2.9.2- FUENTE DE MATERIALES 2, BANCO EL BATIDERO.

Esta fuente está conformada por materiales granulares, correspondientes a gravas arcillosas de mala graduación. En el sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS, este material se clasifica del tipo GP-GM. En el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-2-7, su índice de grupo es cero.

La fracción fina que contiene este material es de alta compresibilidad y de media plasticidad, su CBR es de 88.9 %, su densidad seca máxima es de 1,747 Kg/m³ y su humedad óptima es de 10.3%.

En base al sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se caracteriza de excelente a bueno para ser utilizado en terracería y/o estructuras de pavimento, ("Ingeniería de Pavimentos para Carreteras" Alfonso Montejo Fonseca, 2da edición, pág. 46), (Ver Anexo del Capítulo II, tabla N° 33).

Esta fuente de materiales se localiza a 8 km del Municipio de Macuelizo, en el sitio conocido como El Batidero.

LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS



Managua, Diciembre del año 2014

PROYECTO: “ESTUDIO DE SUELOS TRAMO DE CARRETERA MACUELIZO- OCOCONA”

TABLA N° 6: FUENTE DE MATERIALES

PVSS Kg/m ³	PVSC Kg/m ³	Densidad Máxima Kg./ m ³	Humedad óptima %	C.B.R 100%	% Que Pasa por el Tamiz										L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación	
					2 "	1 ½ "	1 "	¾ "	½ "	3/ 8"	N° 4	N° 10	N° 40	N°20 0			SUCS	AAS HTO
Fuente de Materiales 1																		
1,14 6	1,358	1,69 4	8.2	92.2	8 6	6 4	4 9	3 7	32	17	14	9	7	25. 4	4.7	GP – GC	A-1-a (0)	
Fuente de Materiales 2																		
1,35 2	1,495	1,74 7	10.3	88.9	8 8	6 5	5 0	3 5	27	16	12	9	8	51. 1	15. 4	GP – GM	A-2-7 (0)	
Observaciones: L.L: Límite Líquido I.P: Índice de Plasticidad N.P: Suelo no Plástico PVSS = Peso Volumétrico Seco Suelto PVSC = Peso Volumétrico Seco Compacto																		

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos “RODRIGUEZ Y ASOCIADOS” Ingenieros Consultores.

2.10- ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR

La relación entre humedad y densidad para un suelo compactado juega un papel muy importante en las propiedades del mismo, especialmente en cuanto a su resistencia y deformabilidad. Así, el ensayo de Proctor Estándar permite determinar la humedad óptima, es decir la humedad a la que el suelo alcanza su densidad máxima y por lo tanto presenta sus mejores propiedades mecánicas.

El valor de esta humedad óptima depende de la energía de compactación brindada al suelo y en caso de incrementarse ésta, la humedad óptima será menor y la densidad seca máxima mayor.

Según el laboratorio de materiales, este ensayo se practicó únicamente a los bancos de materiales, ya que es un grupo donde hay arcillas. Este grupo representa el suelo que constituirá la sub-rasante de este trayecto. Se tomaron 2 puntos con diferentes grados de humedad detallados en la tabla N° 7.

TABLA N° 7
ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR.

Muestra	Densidad Máxima Kg/m³	Humedad Óptima (%)
Banco de Macuelizo	1,694	8.2
Banco El Batidero	1,747	10.3

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos “RODRIGUEZ Y ASOCIADOS” Ingenieros Consultores.

2.11- ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

En esta prueba de laboratorio se determina la relación entre el contenido de humedad y el peso volumétrico seco suelto de un suelo. Este ensayo se aplicó únicamente a los bancos de materiales:

TABLA N° 8
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO.

Muestra	PVSS(Kg/m³)	Humedad Óptima (%)
Banco de Macuelizo	1,146	8.2
Banco El Batidero	1,352	10.3

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos “RODRIGUEZ Y ASOCIADOS” Ingenieros Consultores.

2.12- ENSAYO CBR

El Índice de California (CBR) es una medida de resistencia al esfuerzo cortante al suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas.

Para la aplicación de este ensayo las muestras se sometieron a saturación por un período de 96 horas de anticipación. Para encontrar los valores de los CBR de los diferentes tipos de suelos, localizados en la línea que servirán como sub-rasante, se realizó el siguiente procedimiento: De acuerdo al gráfico N° 3 de la pág. 26, de relación aproximada entre la clasificación del suelo y los valores del CBR, se eligieron los siguientes valores promedios:

2.13- RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELO SEGÚN AASHTO

De los resultados obtenidos a través de las pruebas de laboratorio, se deduce en general que el valor soporte de los suelos existentes es relativamente adecuado para el diseño del pavimento rígido.

Los valores de CBR encontrados permiten la utilización de bancos de materiales y agregar una capa de sub-base como terreno de apoyo de la losa de concreto simple con apoyo lateral y sin pasa juntas a utilizar. Se utilizará el material existente de los dos bancos analizados, considerando un corte de 20 cm de altura en tramos donde predominen los suelos A-7-5 , A-7-6, de igual forma, se consideró que los suelos A-1-a se tomará como la sub-rasante terminada.

En el tramo de carretera Macuelizo-Ococona, según la estratigrafía de los sondeos realizados la mayoría de los suelos del tipo CH, MH y GM son los que predominan más a partir de los 0 a 150 centímetros de profundidad, por tal motivo los CBR que se elegirán para obtener los módulos de reacción de la sub-base (K) de la capa de soporte serán del 3% y 38% obtenida del gráfico N°3, pág. 26.

2.13.1- CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUB-RASANTE (K).

La capacidad soporte, es el valor del Módulo de Reacción (k) de la capa de apoyo de un pavimento de concreto. Este valor se puede estimar por correlación con el CBR ya que no es necesariamente indispensable tener un valor exacto de k, variaciones mayores de este valor no afectan los espesores de diseño. (Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimentos, SIECA, cap. 7, pág. 70)

En el gráfico N° 3 de la pág. 26, las relaciones que se muestran son suficientes para el diseño de pavimentos por el método de la PCA.

Procediendo a determinar el valor del módulo de reacción de la sub- rasante (K), se utilizó el gráfico N° 3 de la pág. 26 de la relación aproximada entre las clasificaciones del suelo y sus valores de resistencia; obteniendo los siguientes resultados:

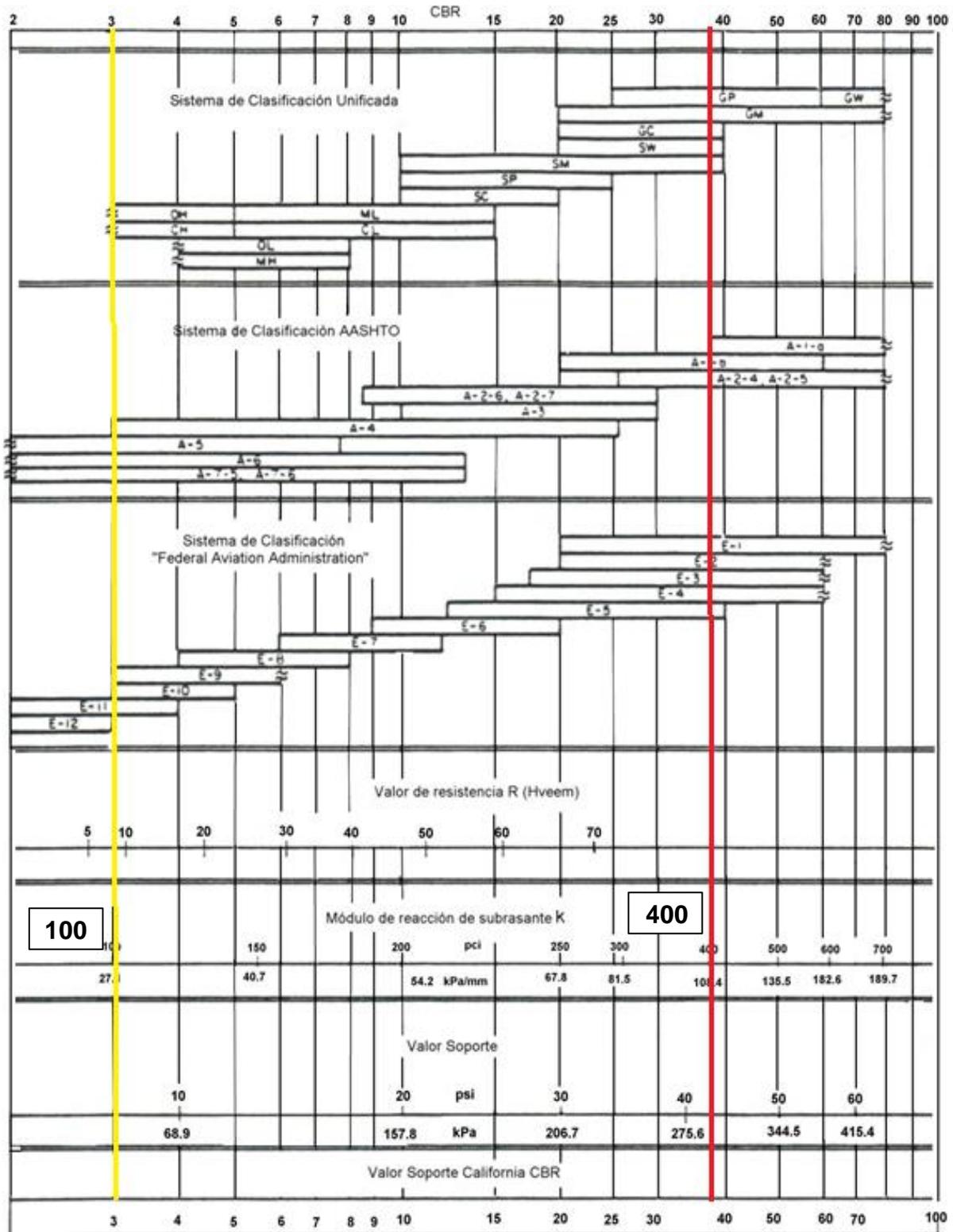
TABLA N° 9
CORRELACION DE VALORES DE CBR Y K

TRAMO	CBR DE DISEÑO (%)	MODULO DE REACCIÓN DE LA SUB-RASANTE (K), (PCI)
MACUELIZO-	3	100
OCOCONA	38	400

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta en el gráfico N° 3, pág. 26, la correlación del valor de los CBR del tramo del Proyecto y el valor de Módulo de Reacción K de sub-rasante.

GRAFICO N° 3 CORRELACIÓN APROXIMADA ENTRE LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS Y LOS DIFERENTES ENSAYOS.



Fuente: Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimentos, SIECA, cap. 7, pág. 70

CAPITULO III
ESTUDIO DE TRANSITO

3.1- INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de tránsito, se hace referencia “al flujo de vehículos” que transportan personas o bienes (o ambas cosas), que circulan en un determinado tramo de carretera, en una vía o en un camino. El término carretera es sinónimo de camino. Los componentes del tránsito, también para los efectos del estudio estarán referidos a: los vehículos, la carretera, las personas y los bienes.

Por ser el tránsito una de las variables más importante en el diseño de un pavimento, su adecuada cuantificación es indispensable si se quiere tener un buen proyecto. La información requerida para determinar el tránsito en una vía, con propósito de diseño, es su promedio diario y su descripción por tipo de vehículo.

El periodo de aforo para obtener el tránsito promedio diario en una carretera, es generalmente una semana existiendo diversos medios para obtenerlo. Debe tenerse en cuenta que el tránsito en cualquier vía tiene variaciones mensuales y estacionales y por lo tanto la elección de la semana debe ser muy cuidadosa.

Cuando se está realizando el estudio para una carretera nueva, es evidente que no pueden realizarse conteos y la estimación del volumen del tránsito, en este caso, debe hacerse de manera aproximada, bien sea a partir de los datos de otra vía existente que sea alterna a la que se va construir, bien a partir de los datos de otra vía que se considere que atraviese una zona de similares características o bien mediante un estudio de origen y destinos entre los dos sitios que van a ser unidos por la nueva vía.

El estudio de tránsito se fundamenta en:

- Datos obtenidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- Conteos volumétricos clasificados en el tramo en estudio.

3.2- CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES POR CATEGORÍAS SEGÚN VECTORES

Definidos los vectores y sus rangos se realiza una clasificación de estaciones de conteo en base a la tipología y función siendo la nueva nomenclatura.

3.2.1- Estaciones de mayor cobertura (EMC):

Son las estaciones de conteos continuos los 365 días del año con conteos clasificados de 24 horas por día.

3.2.2- Estaciones de corta duración (ECD):

Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son del TPDA mayores a 300 vpd.

3.2.3- Estaciones de conteo sumaria (ECS):

Son las estaciones con volúmenes del TPDA menores a 300 vpd.

3.3- RECOPIACIÓN DE DATOS.

En esta etapa se recopilaron los datos por medio de aforos vehiculares, en un período de una semana por doce horas diarias de 6:00 AM a 6:00 PM, con el objetivo de determinar el tráfico promedio diario semanal, el tráfico promedio diario anual, tipo de vehículos, número, tipo y peso de los ejes.

La estación se eligió del Anuario de Aforos de Tráfico año 2011, Pág. 46, estación de control sumaria (ECS) 5301, PKm- 230.0 Tramo de Carretera Ocotál- Macuelizo.

3.3.1 LISTADO HISTÓRICO DEL TPDA HASTA EL AÑO 2011

NIC: NIC-53

Nº DE ESTACION: ESTACION 5301

TIPO: ECS (ESTACION DE CONTROL SUMARIA)

POSTE KILOMETRO (Pkm): 230

NOMBRE DEL TRAMO: OCOTAL- MACUELIZO

TABLA N° 10
LISTADO HISTÓRICO DEL TPDA

TPDA 2002	TPDA 2003	TPDA 2004	TPDA 2005	TPDA 2006	TPDA 2007	TPDA 2008	TPDA 2009	TPDA 2010	TPDA 2011
152	-	68	187	-	243	-	246	-	-

Estos aforos fueron realizados por el Ministerio de Transporte e infraestructura (MTI) según el Anuario de aforos de Tráfico año 2011 pagina 104.

3.3.2- CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

La hoja de clasificación vehicular utilizada en campo está compuesta por 18 tipos de vehículos, los cuales están desglosados de la siguiente manera:

1. Motocicletas.
2. Carro y Jeep.
3. Camioneta, van y microbús.
4. Bus.
5. Camioneta van.
6. Camión rígido sencillo (dos ejes)
7. Camión rígido sencillo (tres ejes)
8. Camión más semi-remolque (2+1 ejes).
9. Camión más semi-remolque (2+2 ejes).
10. Camión más semi-remolque (3+1 ejes).
11. Camión más semi-remolque (3+2 ejes).
12. Camión más semi-remolque (3+3 ejes).
13. Camión más remolque de barra de tracción (2+2 ejes).
14. Camión más remolque de barra de tracción (2+3 ejes).
15. Camión más remolque de barra de tracción (3+2 ejes).
16. Vehículo agrícola (tractor).
17. Vehículo de construcción (niveladora).
18. Otro (remolque halado por un vehículo liviano).

Según el anuario de aforos de tráfico año 2011 página 34, del MTI, 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 y para simplificar su estudio es conveniente agruparlos en cuatro grupos. (Ver Anexo Capítulo III, Tabla N° 35).

- **Motocicletas:** Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados, con o sin transporte, esta categoría incluyen scooter, motonetas, motocarros, cuadra ciclos y otros triciclos a motor.
- **Vehículos livianos:** Son vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, automóviles, camionetas y microbuses de uso personal.
- **Vehículos pesados de pasajeros:** Son vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los microbuses pequeños (hasta de 15 pasajeros y microbuses medianos de 25 pasajeros y los buses medianos y grandes).
- **Vehículos pesados de carga:** Son los vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3, 4, 5 y más ejes, estos vehículos incluyen los camiones de dos ejes (C2) camiones C3, C2R2, y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2), (T3S3) y otros tipos de vehículos para la clasificación de vehículos especiales, tales como agrícolas y de construcción.

3.3.3- CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE VEHÍCULO POR LA DISPOSICIÓN DE SUS EJES.

Las características de los vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida de diseño, traen como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura.

De acuerdo con el estudio realizado, los volúmenes pueden referirse a uno o dos sentidos de la vía y tener como unidad básica de tiempo, un día, hora o año y se clasifican de acuerdo con el número y disposición de sus ejes, de la forma que se muestra en el Diagrama de Cargas Permisibles, en este caso vigente. (Ver Anexo Capítulo III, Tabla N° 36 Y 38)

En general, los volúmenes de tráfico están compuestos por unidades heterogéneas y esta tendencia se acentúa a medida que aumenta el número de vehículos por unidad de longitud de la vía. Por tanto es necesario conocer también la composición de estos volúmenes.

Estos conteos se realizaron desde el día lunes 08 de Diciembre al domingo 14 de Diciembre (una semana) del año 2014, en un período de tiempo de 12 horas, específicamente de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. cada día. Los resultados y el promedio diario de los volúmenes contabilizados se muestran en la Tabla N° 13, pág. 37.

3.4- PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO

Para determinar las proyecciones de tránsito del tramo en estudio se procesaron los datos recopilados del aforo vehicular, los cuales se ingresaron en hojas de Excel, obteniendo así un dato más exacto para el cálculo de espesores de pavimento de este tramo.

Las características principales de tránsito que se relacionan con el diseño de pavimentos rígidos son el número de pasadas de ejes y la importancia de las cargas. Las cargas más pesadas por eje que se esperan durante el período de diseño, son las que definen los esfuerzos a los que va a estar sometido dicho pavimento.

Los valores de tránsito a obtener se clasifican así:

- TPD tránsito promedio diario en ambas direcciones.
- TPD-C tránsito promedio diario de vehículos pesados en ambas direcciones.
- Cargas por eje de los vehículos pesados.

El dato necesario para obtener el tránsito de diseño, consiste en asumir tasas de crecimiento anual que relacionen factores de proyección; en la tabla N° 11, pág.34, se presenta la relación entre las tasas de crecimiento anual y los factores de proyección para períodos de 20 y 40 años, conforme las recomendaciones de PCA.

El TPD-C es un dato importante en el diseño de pavimentos, ya que incluye buses y camiones con 6 ruedas o más y excluye los vehículos que tienen hasta 4 ruedas. Es conveniente para propósitos de diseño calcular el número total de vehículos pesados esperados durante el período de diseño. (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, cap. 7 pág. 72.)

TABLA N° 11
TASAS ANUALES DE CRECIMIENTO CON SUS CORRESPONDIENTES
FACTORES DE PROYECCIÓN.

Tasas de crecimiento anual de tránsito, %	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1.1	1.2
1 1/2	1.2	1.3
2	1.5	1.5
2 1/2	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 1/2	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 1/2	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 1/2	1.7	2.9
6	1.8	3.2

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, cap. 7 pág. 72.

3.5- CALCULO DEL TPDA

La práctica normal de las proyecciones de tráfico indica que para un proyecto de rehabilitación y mejoramiento, éstas deben ser desarrolladas en base a estimaciones de viajes basadas en el uso futuro del suelo, así como en factores socioeconómicos tales como PIB (Producto Interno Bruto) y el crecimiento poblacional. (Ver Tabla N° 14, pág. 38).

Para estimar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos de 12 horas durante una semana, se aplicaron los factores de ajuste correspondientes de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en la estación de corta duración. Estos factores permiten expandir el volumen del tránsito de la muestra del tramo de la vía en estudio al valor del TPDA, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

El TPDA se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación N° 1

$$\text{TPDA} = \text{TPDi} * \text{factor día} * \text{factor temporada}$$

Dónde:

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

TPDi: Tránsito Promedio Diurno

Factor día: ver tabla N° 12, pág. 36.

Factor Temporada: ver tabla N° 12, pág. 36.

TABLA N° 12

FACTORES DE AJUSTES DE LA ESTACIÓN DE CONTROL SUMARIA 5301

Camino:	NIC-53	Estación:	5301	Tramo:	Ocotal - Macuelizo	Período	L	Días:	3	Horas:	12	Mes/Año	Julio 2009	Km:	229,71				
Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado	Σ Total				
		Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx		V.A.	V.C.	Otros	
					<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.					
		2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21	
TP(D)		55	8	13	54	11	0	3	6	40	9	0	0	0	0	0	0	0	200
Factor Dia		1,17	1,32	1,22	1,21	1,22	1,31	1,21	1,2	1,3	1,34	1,86	1,46	1,00	1,00	1,00	1,00	1,38	
Factor Semana		1,06	1,06	1,03	1,02	1,17	1,02	1,04	0,92	0,88	0,91	1,00	1,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,10	
Fac. Temporada		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
TPD Invierno		68	12	17	67	16	0	4	6	46	11							246	
% TPDA		27,46%	4,73%	6,84%	27,24%	6,37%	0,18%	1,54%	2,53%	18,65%	4,46%							100,00%	
% Vehiculos Livianos		72,82%						% Vehiculos Pesados						27,18%		100,00%			

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico año 2009, pág. 96.

TABLA N° 13
RESUMEN DE AFORO VEHICULAR SEMANAL TRAMO MACUELIZO-OCOCONA,
AMBOS SENTIDOS
DE LUNES 08 A DOMINGO 14 DE DICIEMBRE DEL AÑO 2014
DURACION 12 HORAS

AFORO VEHICULAR Y CALCULO DE TPDi EN AMBOS SENTIDOS DE 6:00 am a 6:00 pm															
GRUPO	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga					Veh. Pesados		TPDi veh/12 horas
DIA		Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	T3S2	T3S3	Veh. Cons.	Veh. Agric	
LUNES 08/12/2014	71	31	12	60	6	8	4	10	35	30	0	0	0	0	267
MARTES 09/12/2014	69	25	13	55	5	5	4	12	30	35	0	0	0	0	253
MIERCOLES 10/12/2014	62	23	10	53	6	5	4	10	25	31	0	0	0	0	229
JUEVES 11/12/2014	60	20	9	61	5	5	4	9	30	30	0	0	0	0	233
VIERNES 12/12/2014	65	26	11	50	6	5	4	11	32	35	0	0	0	0	245
SABADO 13/12/2014	55	15	12	55	5	5	4	10	31	36	0	0	0	0	228
DOMINGO 14/12/2014	50	19	15	39	6	5	4	3	20	25	0	0	0	0	186
TPDi	62	23	12	53	6	5	4	9	29	32	0	0	0	0	234
trafico total de la semana diurno	432	159	82	373	39	38	28	65	203	222					

Fuente: Elaboración propia.

3.6- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En vista de que los datos recolectados son una muestra representativa de un período de una semana, se hace necesario estimar el TPDA. Para este propósito se utilizaron factores de ajustes diario y de temporada según la tabla N° 12, pág. 36. El factor semanal no lo usamos porque nuestro conteo es de 7 días (una semana).

TABLA N° 14
CÁLCULO DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).

GRUPO	MOTO	AUTOS	JEEP	Cam.	Micro Bus < 15 pasajeros	Micro Bus 15-30 pasajeros	Bus	Livianos 2-5 Ton	C2 5+ Ton	C3	Σ Total
TPDi	62	23	12	53	6	5	4	9	29	32	235
Factor Diario	1,17	1,32	1,22	1,21	1,22	1,31	1,21	1,2	1,3	1,34	
Factor Temporada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
TPDA (vpd)	73	30	15	64	7	7	5	11	38	43	293
% TPDA	24,91%	10,24%	5,12%	21,84%	2,39%	2,39%	1,71 %	3,75%	12,97%	14,68%	100,00%
% VEHICULOS LIVIANOS	66,89%						% VEHICULOS PESADOS			33,11%	100,00%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 14, se aprecian en orden de importancia los vehículos predominantes de la estación de conteo tramo de carretera Macuelizo-Ococona. Estos son los tipo motos (24.91%), le siguen los camionetas con 21.84 %, luego los camiones de tres ejes con un 14.68 % principalmente los que se dedican a la extracción de arena de río y madera en rollo de los bosques de pino, seguido los camiones de dos ejes con un 12.97%. Es notorio el uso de una gran cantidad de motos que utiliza la población principalmente para transportarse a sus labores diarias.

3.7- CRECIMIENTO NORMAL DEL TRÁNSITO

El método más conocido en nuestro medio es la estimación del tránsito por medio o en base a la tasa de crecimiento anual de los indicadores económicos nacionales o de cómo el tránsito se ha comportado históricamente en una región del país.

Los indicadores comúnmente usados son: PIB (Producto Interno Bruto), tasa de crecimiento poblacional y el historial del tránsito en la zona según datos del MTI.

3.7.1-DEFINICIÓN DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB).

Esta variable da el producto interno bruto (PIB) o el valor de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de una nación en un año determinado. El PIB al tipo de cambio de paridad del poder adquisitivo (PPA) de una nación es la suma de valor de todos los bienes y servicios producidos en el país valuados a los precios que prevalecen en los Estados Unidos. Se utiliza como un indicador de la riqueza generada por una nación, durante un año, un trimestre u otra medida de tiempo.

Se realizó un análisis del comportamiento del producto interno bruto del año 2008 hasta el año 2014, el cual reflejó un estimado de la tasa de crecimiento promedio del 3.4 %, según el nuevo sistema de cuentas nacionales, este dato se obtuvo del Informe Anual año 2014 del Banco Central Nicaragua pág. 13.

El PIB promedio de los 7 años a partir del 2008 al 2014 en Nicaragua, es una tasa de crecimiento muy baja para utilizarla en las proyecciones del tránsito en nuestro proyecto. (Ver Anexo Capítulo III, Tabla N° 37).

3.7.2- TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL.

Promedio porcentual anual del cambio en el número de habitantes, como resultado de un superávit (o déficit) de nacimientos y muertes, y el balance de los migrantes que entran y salen de un país. La tasa de crecimiento es un factor que determina la magnitud de las demandas que un país debe satisfacer por la evolución de las necesidades de su pueblo en cuestión de infraestructura (por ejemplo, escuelas, hospitales, vivienda, carreteras), recursos (por ejemplo, alimentos, agua, electricidad), y empleo.

Para este estudio se tomó como referencia la población brindada en el Informe Anual año 2014 del Banco Central de Nicaragua, pág. 13, a como se muestra en la tabla N° 15, pág. 40.

El factor de crecimiento anual poblacional se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación N° 2

$$Fca = (Pf/Po)^{1/n} - 1$$

Dónde:

Fca: Factor de crecimiento anual poblacional

Pf: Población futura

Po: Población Actual

n: Diferencia de Años

TABLA N° 15
ESTIMACIONES Y PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN EN NICARAGUA

AÑO	POBLACION	TC %
2008	5,778,800	1.32
2009	5,850,500	1.24
2010	5,923,100	1.24
2011	5,996,600	1.24
2012	6,071,000	1.24
2013	6,134,300	1.05
2014	6,198,200	1.05
PROMEDIO		1.20

Fuente: Informe Anual año 2014, Banco Central de Nicaragua, pág. 13.

3.7.3 HISTORIAL DEL TRÁNSITO VEHICULAR.

Dependiendo de muchos factores, como el desarrollo económico-social, la capacidad de una vía, etc., es normal que el tráfico vehicular vaya aumentando con el paso del tiempo, hasta que llega a un punto tal de saturación, en el que se mantiene prácticamente sin crecer.

El método más común para la proyección de tráfico es la siguiente ecuación:

Ecuación N° 3

$$TC = [(TPDA_i / TPDA_0)^{1/n}] - 1$$

Dónde:

TC: Tasa de Crecimiento Vehicular.

TPDA_i: Tráfico Promedio Diario Actual

TPDA₀: Tráfico Promedio Diario Del Año Base

n: Diferencia de Años.

Para nuestro tramo en estudio se tomó como referencia el historial de tránsito del Anuario de Aforos de Trafico año 2011, Pág. 104, estación de control sumaria (ECS) 5301, PKm - 230.0 Tramo de Carretera Ocotol- Macuelizo.

TABLA N° 16
HISTORIAL DEL TRÁNSITO, ESTACIÓN DE CONTROL SUMARIA 5301.

AÑO	TPDA	TC %
2002	152	
2004	68	-33.12
2005	187	175
2007	243	13.99
2009	246	0.6164
2014 (*)	293	3.49

Fuente: Anuario de Aforos de Tránsito año 2011, pág. 104.

(*) TPDA calculado Según tabla N° 14, pág. 38.

Aplicando la ecuación N° 3 para determinar la tasa de crecimiento vehicular.

- Periodo 2002-2004 obtenemos:

$$TC1 = [68 / 152]^{1/2} - 1 ; TC1 = [0.4474]^{0.5} - 1$$

$$TC1 = -0.3311 * 100 = -33.12\%$$

- Periodo 2004-2005 obtenemos

$$TC2 = [187 / 68]^{1/1} - 1 ; TC2 = [2.75]^{1} - 1$$

$$TC2 = 1.75 * 100 = 175 \%$$

- Periodo 2005-2007 obtenemos

$$TC3 = [243 / 187]^{1/2} - 1 ; TC3 = [1.2995]^{0.5} - 1$$

$$TC3 = 0.1399 * 100 = 13.99 \%$$

- Periodo 2007-2009 obtenemos

$$TC4 = [246 / 243]^{1/2} - 1 ; TC4 = [1.0123]^{0.5} - 1$$

$$TC4 = 0.0062 * 100 = 0.6154 \%$$

- Periodo 2009-2014 obtenemos

$$TC5 = [293 / 246]^{1/5} - 1 ; TC5 = [1.187]^{0.20} - 1$$

$$TC5 = 0.0349 * 100 = 3.56 \%$$

En resumen, para el periodo TC1 la tasa de crecimiento es de -33.12%, para el periodo TC2 una tasa de 175%, para TC3 de 13.99%, TC4 de 0.6154% y para el último periodo que comprende del año 2009 hasta el año 2014 la tasa de crecimiento TC5 es de 3.56%.

Otra tasa analizada es la de estaciones permanentes del Anuario de Aforos de Tráfico año 2011, pág. 25, la cual ofrece una tasa en general de crecimiento promedio del tráfico de las 11 estaciones de mayor cobertura ubicadas en la red troncal principal del país del 4.71%.

La tasa de crecimiento que utilizaremos en nuestro diseño será de 3.56%, obtenida según el resultado 5 (TC5) de la ecuación N° 3 para el año 2014, la cual es moderada para obtener las proyecciones del tránsito esperado.

3.8- TRÁNSITO EN EL PERÍODO DE DISEÑO

El período de diseño se considera como el período de análisis del tránsito, ya que es difícil hacer la predicción del tránsito con suficiente aproximación para un largo tiempo. Para un pavimento rígido se considera adecuado tomar 20 años como período de diseño; por lo que el que se elija incide directamente en los espesores, ya que esto determina cuántos vehículos tendrán que circular sobre el pavimento en ese lapso.

Este periodo es el tiempo total para el cual se diseña el pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considera apropiado para que las condiciones del entorno comiencen alterar el funcionamiento del pavimento. El volumen de tránsito del proyecto, se estima para un período de diseño de 20 años, considerando la tasa de crecimiento anual del 3.56%.

3.9- FACTOR DE CRECIMIENTO ANUAL (FCA).

Para conocer el factor de crecimiento anual, se requiere únicamente saber el periodo de diseño, en años, y la tasa de crecimiento anual que corresponde a 20 años y 3.56% respectivamente, con esos datos se puede calcular el factor de crecimiento anual por medio de la Tabla N° 11, pág. 34, que presenta periodos de 20 y 40 años.

En nuestro diseño lo calculamos por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 4:

$$FCA = \frac{(1+g)^n - 1}{(g)(n)}$$

Dónde:

FCA: Factor de Crecimiento Anual Vehicular.

g: Tasa de Crecimiento del Tráfico.

n: Periodo de Diseño.

$$FCA = \frac{(1+0.0356)^{20} - 1}{(0.0356)(20)}$$

$$(0.0356)(20)$$

$$\underline{FCA = 1.42.}$$

Conforme las recomendaciones de PCA, el dato necesario para obtener el tránsito de diseño, consiste en asumir tasas de crecimiento anual que relacionen factores de proyección; en la tabla N° 11, pág. 34, se presenta la relación entre las tasas de crecimiento anual y los factores de proyección para períodos de 20 y 40 años.

Tomando en cuenta los criterios del cálculo de las repeticiones esperadas:

- El Factor de Sentido (FS) es igual a 0.5, debido a que el aforo vehicular se realizó para vialidad en doble sentido.
- El Factor de Carril (FC) es igual a 1, debido a que se estableció un carril por dirección del tráfico.

3.10- REPETICIONES ESPERADAS PARA CADA TIPO DE EJE.

Toda la información referente al tráfico termina siendo empleada para conocer el número de repeticiones esperadas para cada tipo de vehículo, durante todo el periodo de diseño, de cada tipo de eje.

Para poder conocer estos valores tenemos que conocer varios factores referentes al tránsito, como lo es el tránsito promedio anual (TPDA), el porcentaje (% Te) que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el periodo de diseño.

Dado que conocemos todos los factores, los tipos de vehículos y la cantidad de ellos que van a circular sobre el pavimento, lo que se hace a continuación es separar la repetición para cada tipo de eje, es decir para cada peso de eje y para cada tipo como lo son ejes sencillos, tándem ó tridem, según la siguiente ecuación.

Ecuación N° 5:

$$\mathbf{Re = TPDA \times \%Te \times FS \times FC \times Pd \times FCA \times 365}$$

Donde:

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual para el año 2014, ver tabla N°14, pág. 38.

Fs: Factor de Sentido = 0.5;

Fc: Factor de Carril = 1.

Pd: Período de Diseño = 20 años.

% Te: Porcentaje del Tránsito Cargado para cada tipo de eje. Dado que no se poseen datos de la cantidad de vehículos cargados se considera que el 100% de ellos lo están (Te = 100%).

FCA: Factor de Crecimiento Anual Vehicular= 1.42.

365: Días de un año.

Repeticiones esperadas en los 20 años del periodo de diseño para bus>30 pasajeros:

$$Re = TPDA \times \%Te \times FS \times FC \times Pd \times FCA \times 365$$

$$Re = 11 \times 1 \times 0.5 \times 1 \times 20 \times 1.42 \times 365$$

$$Re = 57,013.00$$

De igual manera de cómo se calculó las repeticiones permisibles para bus>30 pasajeros, se deberá analizar toda la composición vehicular del tránsito promedio diario anual. Los resultados de las repeticiones esperadas para todos los tipos de vehículos que intervienen en nuestro proyecto se presentan en la tabla N° 17.

Tabla N° 17
CALCULO DE REPETICIONES ESPERADAS POR TIPO DE VEHÍCULO,
TRAMO DE CARRETERA MACUELIZO-OCOCONA

TIPO DE VEHICULOS	TPDA	% Te	FS	FC	Pd (años)	FCA	DIAS DE UN AÑO	REPETICIONES ESPERADAS
MOTOS	73	100,00%	0,5	1	20	1,42	365	378359.00
AUTOS	30	100,00%	0,5	1	20	1,42	365	155490.00
JEEP	15	100,00%	0,5	1	20	1,42	365	77745.00
CAMIONETAS	64	100,00%	0,5	1	20	1,42	365	331712.00
LIV 2-5 TON	7	100,00%	0,5	1	20	1,42	365	36281.00
McBUS <15 PAS	7	100,00%	0,5	1	20	1,42	365	36281.00
MnBUS 15 a 30 PAS	5	100,00%	0,5	1	20	1,42	365	25915.00
BUS > 30 Pas	11	100,00%	0,5	1	20	1,42	365	57013.00
C2 5+ TON	38	100,00%	0,5	1	20	1,42	365	196954,00
C3	43	100,00%	0,5	1	20	1,42	365	222869,00
Re TOTALES =								1518619.00

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de las repeticiones esperadas de la tabla N° 19 se obtuvieron de la ecuación N° 5, pág. 44, para cada tipo de vehículo del TPDA según la Tabla N° 14, pág. 38.

Tomando en cuenta los resultados de la tabla N° 17, en cuanto a las repeticiones esperadas en el período de diseño de 20 años por composición vehicular, se procede a desglosar las repeticiones esperadas por cada uno de los ejes del tipo de vehículo.

TABLA N° 18

REPETICIONES ESPERADAS POR CADA UNO DE LOS EJES DEL TIPO DE VEHÍCULO.				
COMPOSICIÓN VEHICULAR POR EJES				
TIPO DE VEHÍCULO	TIPO DE EJE	PESO EN KIPS	REPETICIONES ESPERADAS POR VEHÍCULO	REPETICIONES ESPERADAS POR EJES
Mc Bus < 15 Pas	Sencillo	4,4	36281,00	36281,00
	Sencillo	8,8		36281,00
Mc Bus 15 a 30 Pas	Sencillo	8,8	25915,00	25915,00
	Sencillo	17,6		25915,00
BUS > 30 Pas	Sencillo	11	57013,00	57013,00
	Sencillo	22		57013,00
C2 5+ton	Sencillo	11	196954,00	196954,00
	Sencillo	22		196954,00
C3	Sencillo	11	222869,00	222869,00
	Doble	36,3		222869,00

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 19

TOTAL REPETICIONES ESPERADAS POR EJES

TIPO DE EJE	PESO EN KIPS	TOTAL REPETICIONES
SENCILLO	4,4	36281,00
	8,8	62196,00
	17,6	25915,00
	11	476836,00
	22	253967,00
DOBLE	36,3	222869,00

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV
DISEÑO DE ESTRUCTURA DE
PAVIMENTO RIGIDO

4.1- INTRODUCCIÓN.

El hormigón se emplea hace más de un siglo, su primera aplicación tuvo lugar en algunas arterias urbanas de ciudades europeas, pasando después a los Estados Unidos donde en 1909 se construye la primera carretera con pavimento rígido.

El diseño de pavimentos rígidos consiste en determinar cada uno de los espesores de las capas que conforman la superficie de rodadura. Este diseño está basado en los estudios del tránsito y las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como en otras variables descritas en este capítulo.

El método utilizado para efectuar el diseño, fue el de la Asociación del Cemento Portland (PCA) Portland Cement Association.

4.2- TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

El método de diseño de la Asociación del Cemento Portland es aplicable a diversos tipos de pavimentos rígidos, los cuales son:

4.2.1- PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO SIMPLE

Los pavimentos de concreto simple se construyen sin acero de refuerzo o varillas de transferencia de carga en las juntas, donde dicha transferencia se logra a través de trabazón de los agregados de las caras agrietadas de las losas contiguas, formadas por el aserrado o ranurado de la junta. Para que la transferencia de carga sea efectiva, es preciso disponer espaciamientos de corta longitud entre las juntas para controlar el agrietamiento.

4.2.2- PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO SIMPLE CON VARILLAS DE TRANSFERENCIA DE CARGAS.

Este tipo de pavimento se construye sin acero de refuerzo, sin embargo, en ellos se disponen varillas lisas en cada junta, las cuales actúan como dispositivos de transferencia de carga, requiriéndose también que la separación entre juntas sea corta para controlar el agrietamiento.

4.2.3- PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO REFORZADO.

Son los que contienen acero de refuerzo y pasadores en las juntas. Se construyen con separaciones entre juntas superiores a las utilizadas en pavimentos convencionales. Debido a ello es posible que entre las juntas se produzcan una o más fisuras transversales, las cuales se mantienen prácticamente cerradas a causa del acero de refuerzo, lográndose una excelente transferencia de carga a través de ellas.

4.2.4- PAVIMENTO RÍGIDO CON REFUERZO CONTINUO.

Los pavimentos con refuerzo continuo se construyen sin juntas. Debido a su relativamente pesado y continuo refuerzo en dirección longitudinal, estos pavimentos desarrollan fisuras transversales a intervalos muy cortos. Sin embargo, por la presencia del refuerzo, se desarrolla un alto grado de transferencia de carga en las caras de las fisuras.

4.3- VENTAJAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.

- 1) Bajo costo anual.
- 2) Alta capacidad de soporte.
- 3) Más seguridad, buena apariencia.
- 4) Fácil construcción, diseño probado.
- 5) Ahorros importantes de energía.
- 6) Poco Mantenimiento, distribuye mejor los esfuerzos.

La 4ta conferencia Internacional de Diseño de Pavimentos de Concreto, Universidad de Purdue, Abril 1989, Okamoto, P. Packard, según estudios del Comportamiento de llantas sobre pavimentos de concreto y asfalto, comparó la distancia de frenado de vehículos ligeros y vehículos pesados, a una velocidad de 97 a 0 Kmph, en diferentes condiciones del pavimento a como se describe en la siguiente tabla.

TABLA Nº 20

COMPARATIVA DE DISTANCIA DE FRENADO

TIPO DE VEHICULOS	CONDICIONES DEL PAVIMENTO	DISTANCIA DE FRENADO DE 97 A 0 Km/h	
		CONCRETO	ASFALTO
Vehículos Ligeros	Mojado/Deteriorado	59	94
	Mojado/Plano	58	59
	Seco/Plano	37	48
Vehículos Pesados	Mojado/Deteriorado	96	135
	Mojado/Plano	96	109
	Seco/Plano	50	58

Fuente: 4ta conferencia Internacional de Diseño de Pavimentos de Concreto, Universidad de Purdue, Abril 1989.

La distancia máxima entre poste y poste para el tendido eléctrico en una carretera de concreto es de 59.5 metros y para una carretera de asfalto es de 41.2 metros; hablando de ahorros de energía reduce en un 37% la cantidad de luminarias al igual que los costos en equipamiento y la potencia de las lámparas hasta en un 50%. (Estudio llevado a cabo por el Athena Institute de Ontario Canadá).

4.4- PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL MÉTODO DE LA PCA.

El propósito de este método de diseño es el mismo del de otras estructuras de ingeniería, es decir, encontrar los espesores mínimos del pavimento que se traduzcan en los menores costos anuales.

Si se toma un espesor mayor al necesario, el pavimento presentará un buen comportamiento con bajos costos de mantenimiento anual, pero el costo inicial del proyecto será elevado. Ahora, si se toma un espesor muy bajo, se requerirá de un mantenimiento importante e interrupciones de tránsito prematuras y costosas, que excederán la compensación por el menor costo inicial. Por tanto, un criterio sano de ingeniería, implica la elección de espesores de diseño que equilibren adecuadamente

los costos iniciales y los de mantenimiento anual. (Ingeniería de Pavimentos para Carretera Alfonso Montejo Fonseca 2da edición, capítulo 6, pág. 172).

4.5-FACTORES DE DISEÑO.

El procedimiento de diseño de la PCA (Portland Cement Association) se realiza teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Resistencia a la Flexión del Concreto o Modulo de Ruptura (MR).
- Terreno de Apoyo o resistencia de la sub-rasante y sub-base combinándose (K).
- Periodo de Diseño.
- Número de repeticiones esperadas para cada eje.
- Factor de Seguridad de Carga (FSC).

4.5.1- RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO O MODULO DE RUPTURA (MR).

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para diseño de pavimentos rígidos, esta resistencia se considera en el procedimiento de diseño por el criterio de fatiga, el cual controla el agrietamiento del pavimento bajo la acción repetida de cargas de los vehículos pesados.

El alabeo del pavimento de concreto bajo las cargas del tráfico provoca esfuerzos tanto de compresión como de flexión. Sin embargo la proporción de los esfuerzos a compresión contra la resistencia a la compresión del concreto es mínima como para influir en el diseño de espesor de la losa. En cambio la relación de los esfuerzos a flexión contra la resistencia a la flexión del concreto es mucho más alta y frecuentemente excede valores de 0.5. Por este motivo los esfuerzos y la resistencia a la flexión son los empleados para el diseño de espesores. La resistencia a la flexión del concreto es determinada por la prueba del módulo de ruptura, realizada en vigas de 6x6x30 pulgadas.

En este procedimiento de diseño los efectos de las variaciones en la resistencia del concreto de punto a punto del pavimento y el incremento de resistencia con el paso del tiempo están incorporados en las gráficas y tablas de diseño.

El diseñador no aplica directamente estos efectos, sino que simplemente ingresa el valor de la resistencia promedio a los 28 días, que en nuestro país se recomienda como mínimo 41 kg/cm² (583 psi) y como máximo 50 kg/cm² (711 psi).

Según Diseño de Pavimentos, AASHTO 93 pág. 108, el módulo de ruptura MR o la resistencia a la flexión del concreto se determina utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación N° 6:

$$Mr. = 7 \text{ y } 12 (F'c)^{0.5}$$

Donde:

F'c: Resistencia del concreto a los 28 días, en psi.

En la ecuación N° 6, el rango oscila entre 7 y 12 veces la resistencia del concreto, por lo tanto, en nuestro diseño utilizaremos un término medio de 10 para obtener el módulo de ruptura.

El valor de la resistencia a la compresión del concreto (f'c) a utilizarse en nuestro diseño es de 4,000 PSI, lo que permite considerar una resistencia adecuada a las características del concreto proporcionado en nuestro país, así como también, utilizar un valor considerable que entre en el rango mínimo y máximo de la resistencia a la flexión (MR) según a como recomienda la PCA.

Utilizando la ecuación N° 6, se obtiene el módulo de ruptura de la siguiente manera:

$$Mr = 10 \sqrt{F'c}$$

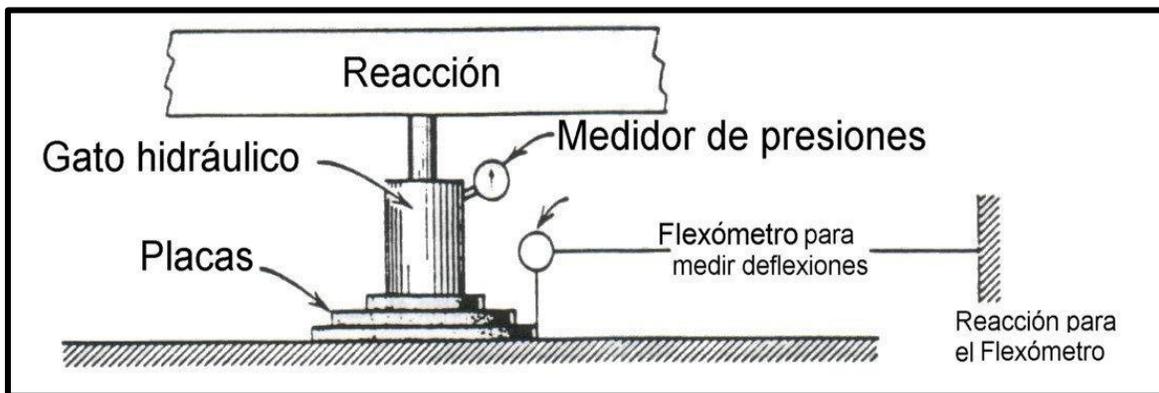
$$Mr = 10 \sqrt{4000}$$

$$\underline{\underline{Mr = 632 \text{ psi}}}$$

4.5.2- TERRENO DE APOYO O RESISTENCIA DE LA SUB-BASE K.

Este elemento se refiere a las características del terreno de apoyo o su-base sobre cual descansará la losa de concreto, este valor se determina cargando un plato o placa de carga (Gráfico N°4) y midiendo la presión necesaria para producir una deformación dada, k es el cociente de presión aplicada y deflexión del plato de carga.

Gráfico 4: PLACA DE CARGA



Dado que es un ensayo realizado in situ, no puede ser hecho a diferentes densidades y contenidos de humedad para considerar las distintas condiciones de servicio, por lo que se recomienda que el valor k de campo sea ajustado para considerar las condiciones más desfavorables de la sub rasante. Este factor de corrección se obtiene como el cociente de la deformación a 10 psi (68.9 KPa o 0.7 Kg/cm²) de presión para un suelo no saturado y saturado.

El valor de k depende del tamaño del plato de carga. Los de 92 cm (36") de diámetro se usan para pavimentos rígidos, mientras que para pavimentos flexibles se usan de 30.5 a 45.7 cm. (Diseño de Pavimentos, AASHTO 93, pág. 77).

Dado que la prueba de placa lleva tiempo y dinero, los valores de k son usualmente estimados mediante una correlación a pruebas más simples como la del VRS (valor Relativo de Soporte). El resultado es válido por que no se requiere una exacta determinación del valor k ; ya que variaciones normales del valor k no afecta significativamente los requerimientos del espesor del pavimento.

Los valores de K= 100 PCI y 400 PCI (lbs/plg3), es del terreno natural según tabla N° 9, capítulo II, pág. 25, con un CBR de 3% Y 38%. Como usaremos una sub-base granular de 8" solamente para en CBR de 3%, la k de diseño se modifica de la siguiente manera:

TABLA N° 21

Incremento en el valor de k del suelo, según el espesor de una base granular				
K-Suelo Sub-base (PCI)				
K del 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: Diseño de pavimento Rígido Asociación del Cemento Portland, PCA, pag.37.

INTERPOLANDO

X = 8" (20 centímetros de base granular)

$$K = 140 + \frac{160 - 140}{9 - 6} * (X - 6), \quad \text{entonces } K = 140 + \frac{160 - 140}{9 - 6} * (8 - 6)$$

$$K = 153.333 \text{ pci} = 150 \text{ PCI}$$

Resultando la k del conjunto suelo – sub base a un valor de 153.33 PCI, (150 pci para simplificar el diseño), de acuerdo a la interpolación de la tabla anterior.

4.5.3- PERIODO DE DISEÑO

Es el tiempo total para el cual se diseña el pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considera apropiado para que las condiciones del entorno comiencen alterar el funcionamiento del pavimento. Se usará un periodo de diseño de 20 años.

4.5.4- NUMERO DE REPETICIONES ESPERADAS PARA CADA EJE.

Las repeticiones esperadas totales para cada eje se describen en la tabla N° 19, pág. 46 del capítulo III, que corresponde al estudio del tráfico.

4.5.5- FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA (FSC).

Según Ingeniería de Pavimentos para Carretera Alfonso Montejó Fonseca tomo 2, capítulo 6, pág. 175, el método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por unos factores de seguridad de carga (FSC) recomendando lo siguiente:

- Para tránsito pesado FSC = 1.2.
- Para tránsito medio FSC = 1.1.
- Para tránsito bajo FSC = 1.0

En nuestro diseño nuestro Factor de Seguridad de Carga será de 1.0 que corresponde a caminos y calles secundarias con muy bajo tránsito.

4.6- DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO.

Los datos de entrada necesarios para elaborar el diseño son:

1. Tipo de junta y acotamiento.
2. Resistencia a la flexión del concreto (Mr.) a los 28 días.
3. El valor del módulo de reacción K del terreno de apoyo.
4. El factor de seguridad de carga (FSC).
5. Número de repeticiones esperadas durante el período de diseño, para cada tipo y peso de eje.

4.7- CRITERIOS DE DISEÑO.

- a) Fatiga.
- b) Erosión.

El Análisis por fatiga, que controla el agrietamiento, influye principalmente en el diseño de pavimentos de tráfico ligero (calles residenciales y caminos secundarios, independientemente de si las juntas tienen o no tienen pasa juntas) y pavimentos con tráfico mediano con pasa juntas en las juntas.

El análisis por erosión es el responsable de controlar la erosión del terreno de soporte, bombeo y diferencia de elevación de las juntas, influye principalmente el diseño de pavimentos con tráfico mediano a pesado con transferencia de carga por trabazón de agregados (sin pasa juntas) y pavimentos de tráfico pesado con pasa juntas.

4.8- DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO.

El diseño del espesor se calcula por tanteos con ayuda del formato de diseño de espesores por el método de la PCA. Los datos para el diseño son a como se describen a continuación:

- El valor de la resistencia a la compresión del concreto (f_c) a utilizarse es de 4,000 PSI, cuyo valor permite considerar una resistencia adecuada a las características del concreto proporcionado en nuestro país, así como también, permite utilizar un valor considerable de la resistencia a la flexión (MR) que es de 632 PSI descrito anteriormente.
- El Factor de Seguridad de Carga (LSF) considerado en el proyecto equivale al valor 1, se estimó dicho valor por poseer volúmenes moderados de tráfico pesado.
- En el diseño no se considera utilizar pasa juntas o refuerzos de acero, para efectos de no encarecer el costo de la construcción de la losa de rodamiento. Así mismo, esto permite avanzar considerablemente en la ejecución física de la futura construcción de la losa de concreto.

En el pavimento la transferencia de carga se realizará exclusivamente mediante la trabazón de los agregados del concreto.

- Entre los factores de diseño, se considera el apoyo lateral del pavimento, que es el equivalente a considerar cunetas en el tramo de carretera. Al utilizar el apoyo lateral permite controlar más efectivamente la erosión del terreno de soporte y evitar el crecimiento de plantas en las orillas del pavimento de concreto.

Entre los otros factores fundamentales del diseño, se involucran los resultados determinados en los temas anteriores, tales como los volúmenes de tránsito y el módulo de reacción k de la sub-rasante del terreno de apoyo, que equivale a 150 PCI y 400 PCI para los dos tramos en estudio.

A continuación, se procede a calcular, a través de iteraciones, el diseño de espesores por el método de la Asociación del Cemento Portland (PCA). El espesor inicial a considerar para el diseño será de 7 pulgadas para $K=150$ PCI y de 6.5 pulgadas para $K=400$ PCI, el diseño se realiza por tanteo.

El propósito del formato de diseño, es determinar los factores de relación de esfuerzo y de erosión, para proceder a calcular las repeticiones permisibles por cada uno de los criterios de diseño. El espesor de losa adecuado será el que proporcione la sumatoria de los valores totales del porcentaje de cada uno de los criterios de diseño, que sean menores del 100% y que a la vez no tengan un gran margen del porcentaje entre el valor límite y el porcentaje determinado.

En el presente documento, por efectos de resumen y fácil interpretación de los resultados, se explicará el proceso de análisis de la primera iteración de diseño y se utilizará como muestra los gráficos de análisis de fatiga y erosión. Sin embargo, en los anexos del capítulo IV correspondientes al trabajo se incluirán las tablas y gráficos representativos de los diferentes análisis para cada uno de los ejes del tránsito y las iteraciones.

A continuación, se detalla el método de diseño por iteración de los dos tramos en estudio del proyecto, con los diferentes espesores de losa considerados hasta obtener el valor adecuado de la misma.

4.9- TRAMO DE CARRETERA MACUELIZO-OCOCONA.

La primera iteración del método se realizará con un espesor inicial de losa de 7 y 6.5 pulgadas con $K=150$ PCI Y $K= 400$ PCI respectivamente para los dos tramos en estudio. En la presente iteración se desarrolla una explicación del método de diseño de la PCA. Una vez establecidas las determinaciones de las repeticiones esperadas por ejes y de haber analizado el módulo de reacción k de la sub-base modificado y la sub-rasante no modificada para el segundo tramo, se procede a realizar el análisis de fatiga y el de erosión.

4.9.1- ESFUERZO EQUIVALENTE.

Esta magnitud física relaciona la resistencia del suelo a apoyo con un espesor inicial de losa, bajo condición de apoyo y esfuerzos por transferencias de cargas.

Con los datos de un espesor inicial de 7 Y 6,5 pulgadas, una k de diseño de 150 PCI (primer tramo) y 400 PCI (segundo tramo), se entra a la tabla N° 22 página siguiente, para encontrar los esfuerzos equivalentes para los ejes sencillos y tándem, resultando de 248 y 210 con un K de 150 PCI, 233 y 195.5 para el k de 400 PCI.

El cuadro utilizado de esfuerzos equivalentes es el que corresponde al de un diseño con apoyo lateral.

Tramo de carretera 1:

✚ E eq. sencillo = 248 PCI

✚ E eq. tándem = 210 PCI.

Tramo de carretera 2 se realiza interpolación:

✚ E eq. sencillo = 233 PCI

✚ E eq. tándem = 195.5 PCI.

**Tabla N° 22. PRIMERA ITERACIÓN
PRIMER TRAMO Y SEGUNDO TRAMO**

Esfuerzo Equivalente para Pavimentos Con Apoyo Lateral.

Esfuerzo Equivalente- Con apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																				
	50			100			150			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	640	534	431	559	468	392	517	439	377	489	422	369	452	403	362	409	388	360	383	384	359
4.5	547	461	365	479	400	328	444	371	313	421	356	305	390	338	297	355	322	292	333	316	291
5.0	475	404	317	417	349	281	387	323	266	367	308	258	341	290	250	311	274	244	294	267	242
5.5	418	360	279	368	309	246	342	285	231	324	271	223	302	254	214	276	238	208	261	231	206
6.0	372	325	249	327	277	218	304	255	204	289	241	196	270	225	187	247	210	180	234	203	178
6.5	334	288	225	294	251	198	274	230	188	260	218	178	243	203	166	223	188	159	212	180	156
7.0	300	270	204	266	220	172	248	210	165	236	198	158	220	184	149	203	171	142	192	162	138
7.5	275	250	187	243	211	162	226	193	151	215	182	143	201	168	135	185	155	127	176	148	124
8.0	252	232	172	222	196	149	207	179	138	197	168	131	185	155	233	170	142	116	162	135	112
8.5	232	216	159	205	182	138	191	166	128	182	156	121	170	144	113	157	131	100	150	125	102
9.0	215	202	147	190	171	128	177	155	119	169	146	112	158	134	105	146	122	98	139	116	94
9.5	200	190	134	176	160	120	164	146	111	157	137	105	147	126	98	136	114	91	129	108	87
10.0	186	179	127	164	151	112	153	137	104	146	129	98	137	118	91	127	107	84	121	101	81
10.5	174	170	119	154	143	105	144	130	97	137	121	92	128	111	86	119	101	79	113	95	76
11.0	164	161	111	144	135	99	135	123	92	129	115	87	120	105	81	112	95	74	106	90	71
11.5	154	153	104	136	128	93	127	117	86	121	109	82	113	100	76	105	90	70	100	85	67
12.0	145	146	97	128	122	88	120	111	82	114	104	78	107	95	72	99	86	66	95	81	63
12.5	137	139	91	121	117	83	113	106	78	108	99	74	101	91	68	94	82	63	90	77	60
13.0	130	133	85	115	112	79	107	101	74	102	95	70	96	86	65	89	78	60	85	73	57
13.5	124	124	80	109	107	75	102	97	70	97	91	67	91	83	62	85	74	57	81	70	54
14.0	118	122	75	104	103	71	97	93	67	93	87	63	87	79	59	81	71	54	77	67	51

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos CEMEX.

4.9.2- RELACIÓN DE ESFUERZO.

La relación de esfuerzo se calcula dividiendo el esfuerzo equivalente entre el módulo de ruptura (632), por lo que la relación de esfuerzos para los ejes sencillos será de $248/632 = 0.39$ y para los ejes Tándem de $210/632 = 0.33$ (primer tramo), ejes sencillos $233/632 = 0.37$ y para los ejes Tándem de $195.5/632 = 0.31$ (segundo tramo).

Ecuación N° 7

$$\text{Rel. Esf.} = \frac{\text{Esf. Equivalente}}{\text{MR}}$$

MR = 632 PCI \Rightarrow Ecuación N° 6, pág. 52, capítulo IV.

PRIMER TRAMO:

✚ R. esf. sencillo = $248/632 = 0.39$

✚ R. esf. tándem = $210/632 = 0.33$

SEGUNDO TRAMO:

R. esf. sencillo = $233/632 = 0.37$

R. esf. tanden = $195.5/632 = 0.31$

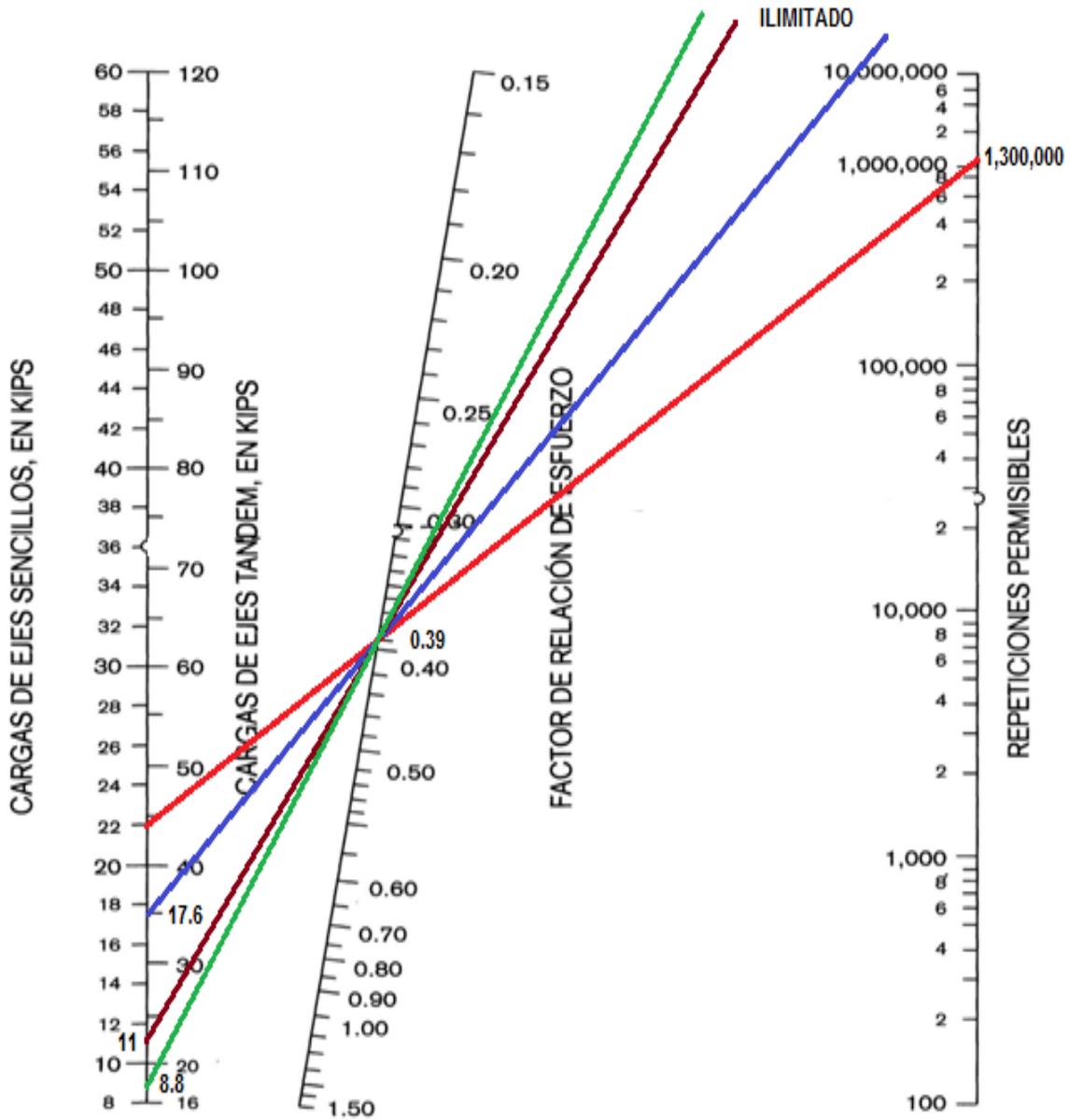
4.9.3- ANÁLISIS POR FATIGA.

Para calcular las repeticiones permisibles para cada tipo de eje por el análisis de fatiga, se emplea un nomograma, el peso y tipo del eje, así como su relación de esfuerzo.

En el caso del eje sencillo de 22 Kips, se entra al gráfico N° 5 con la carga ya multiplicada por su factor de seguridad (LSF=1). La carga en el eje será de 22 Kips, se une con el valor de relación de esfuerzo de 0.39, de manera que uniendo los dos puntos con una línea recta y extendiéndola hasta la escala de repeticiones permisibles.

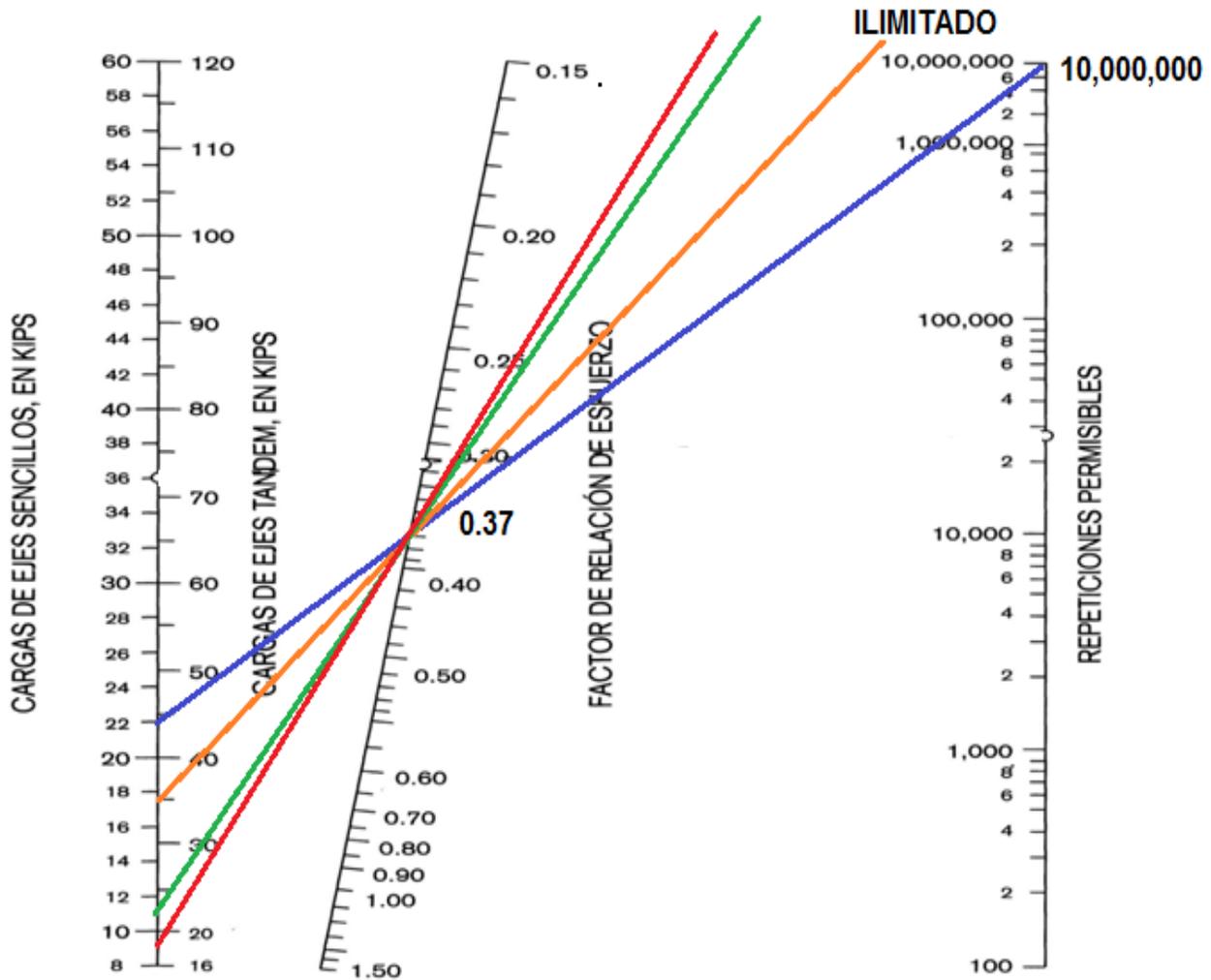
El procedimiento anterior se realiza para todos los ejes y se anotan las repeticiones permisibles encontradas por cada tipo de eje. A continuación, en la Grafico N°5 y 5', las repeticiones permisibles para todos los ejes sencillos de 22, 17.6, 11, 8.8 Kips del tramo de carretera N° 1 y N°2. Para los otros ejes los Gráficos se muestra en anexos del capítulo IV.

**GRAFICO N°5. PRIMERA ITERACIÓN PRIMER TRAMO.
 REPETICIONES ESPERADAS DEL ANALISIS DE FATIGA, EJE SENCILLO
 CARGA DE 22, 17.6, 11, 8.8, KIPS, ESPESOR INICIAL 7".**



Fuente: Elaboración propia.

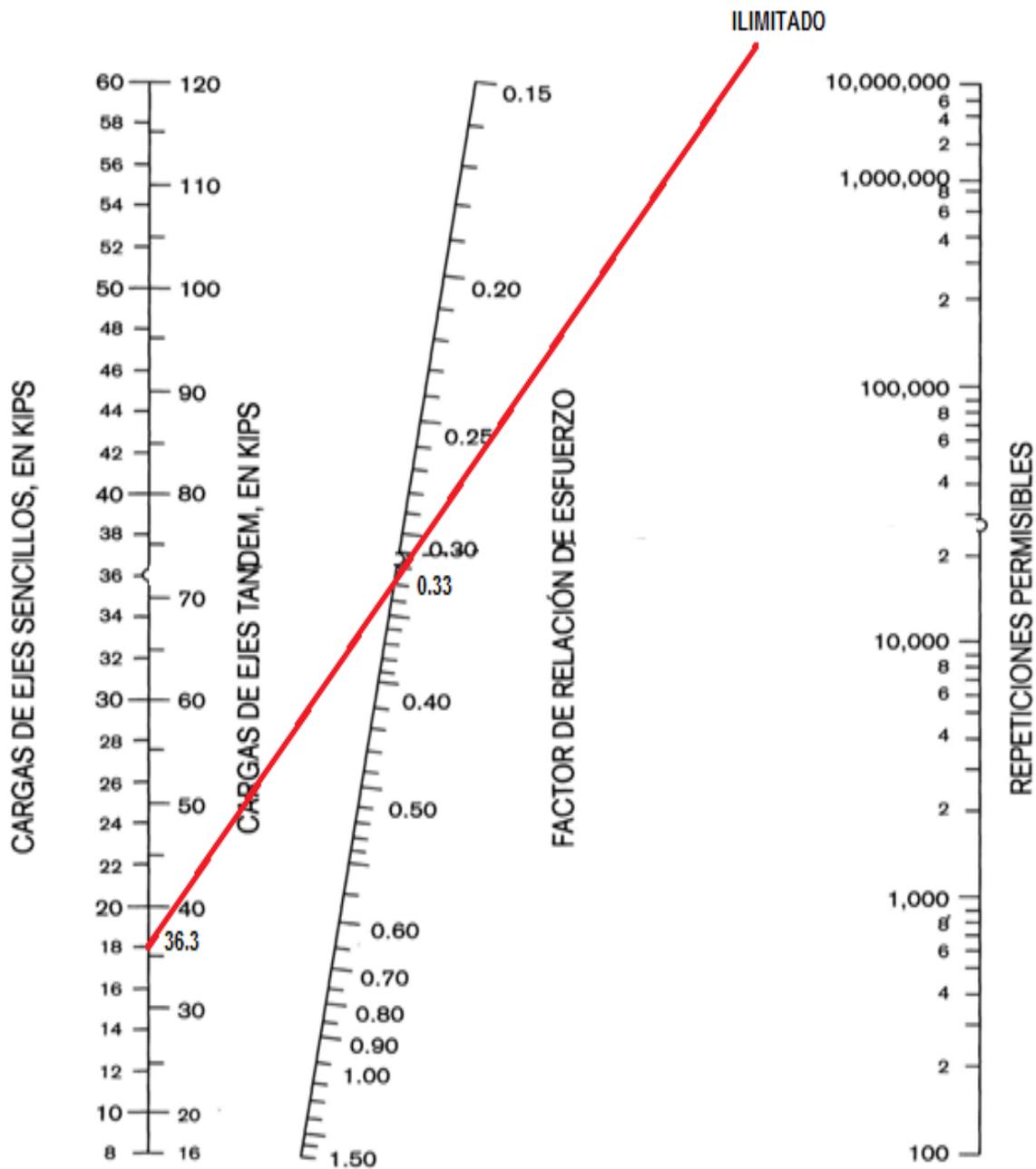
**GRAFICO N°5'. PRIMERA ITERACIÓN SEGUNDO TRAMO.
 REPETICIONES ESPERADAS DEL ANALISIS DE FATIGA, EJE SENCILLO
 CARGA DE 22, 17.6, 11, 8.8, KIPS, ESPESOR INICIAL 6.5".**



Fuente: Elaboración propia.

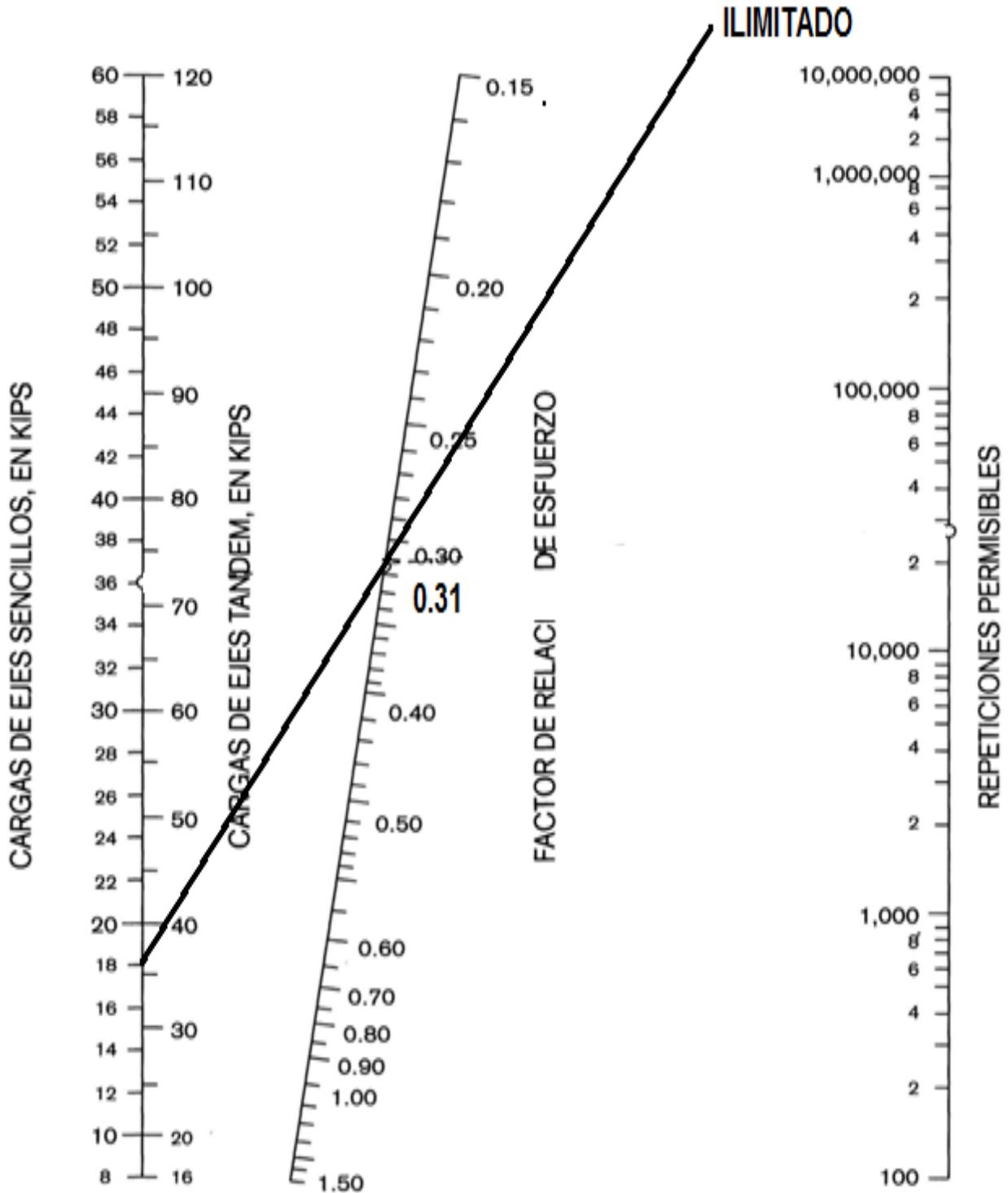
En el caso del eje tándem de 36.3 Kips, se entra en el grafico N°6 y 6' con la carga ya multiplicada por su factor de seguridad de 1. La carga en el eje será siempre de 36.3 Kips, se une con el valor de relación de esfuerzo de 0.33 para el primer tramo y con el valor de relación de esfuerzo de 0.31 para el segundo tramo, de manera que uniendo los dos puntos con una línea recta y extendiendo la escala de repeticiones permisibles como se muestra en el Gráfico N°6 y 6'.

**GRAFICO Nº 6. PRIMERA ITERACIÓN PRIMER TRAMO.
 REPETICIONES ESPERADAS DEL ANALISIS DE FATIGA, EJE TANDEM,
 CARGA DE 36.3 KIPS, ESPESOR INICIAL 7".**



Fuente: Elaboración propia.

GRAFICO N° 6'. PRIMERA ITERACIÓN SEGUNDO TRAMO.
 REPETICIONES ESPERADAS DEL ANALISIS DE FATIGA, EJE TANDEM,
 CARGA DE 36.3 KIPS, ESPESOR INICIAL 6.5".



Fuente: Elaboración propia.

4.9.4- FACTOR DE EROSIÓN.

En el análisis por erosión se determina primero el factor de erosión, empleando la tabla N° 23, pág. 66, la cual es el cuadro correspondiente al diseño sin pasa juntas y con apoyo lateral. El factor de erosión se determina para cada tipo de eje (sencillo y tándem).

Con los datos de espesor igual a 7 pulgadas y un k igual a 150 PCI, se encuentran los valores de los factores de erosión para el primer tramo, de igual manera para el segundo tramo con un espesor inicial de 6.5" y un K de 400 PCI se encuentran los mismos factores.

Los resultados de la interpolación corresponden a 2.75 para los ejes sencillos, 2.84 para los ejes tándem para el primer tramo, de 3.09 ejes sencillos y 3.03 ejes tándem para el segundo tramo:

PRIMER TRAMO			
DATOS DE ENTRADA FACTORES DE EROSION			
SIN PASA JUNTAS-CON APOYO LATERAL			
PARA 7" plg			
K SUB RASANTE	SENCILLO	TANDEN	TRIDEM
100	2.77	2.9	2.94
150	X	X	X
200	2.73	2.78	2.8

PARA EJE SENCILLO
X= 2.75

PARA EJE TANDEN
X= 2.84

SEGUNDO TRAMO			
DATOS DE ENTRADA FACTORES DE EROSION			
SIN PASA JUNTAS-CON APOYO LATERAL			
PARA 6.5			
K SUB RASANTE	SENCILLO	TANDEN	TRIDEM
300	2.79	2.79	2.79
400	X	X	X
500	2.76	2.73	2.72

PARA EJE SENCILLO
X= 2.78

PARA EJE TANDEN
X= 2.76

TABLA N°23. PRIMERA ITERACIÓN.

FACTORES DE EROSIÓN, PARA PAVIMENTOS SIN PASAJUNTAS Y CON APOYO LATERAL, PRIMER Y SEGUNDO TRAMO.

Lateral.

**Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Con Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem**

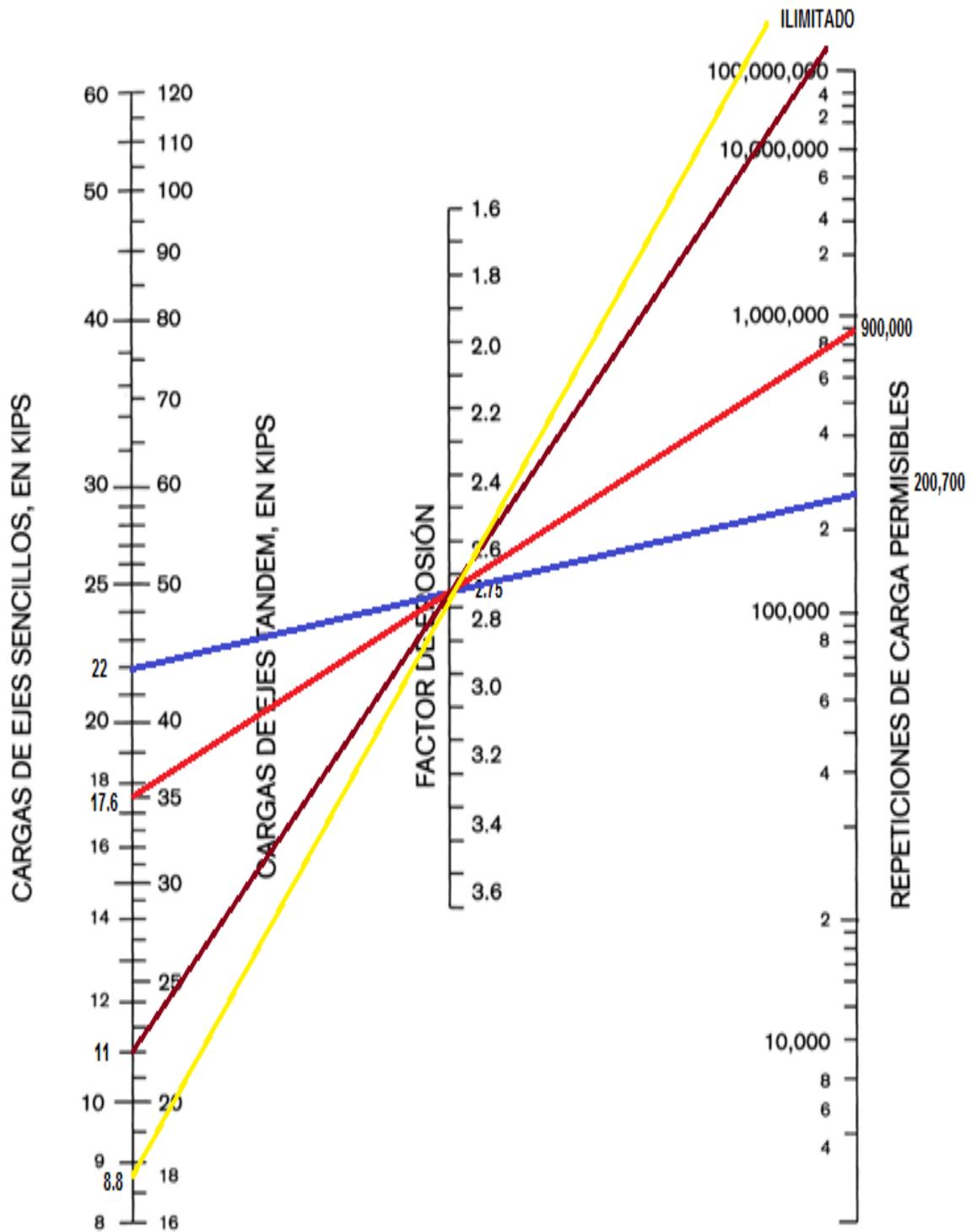
Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3.46	3.49	3.50	3.42	3.39	3.38	3.38	3.32	3.30	3.36	3.29	3.25	3.32	3.26	3.21	3.28	3.24	3.16
4.5	3.32	3.39	3.40	3.28	3.28	3.28	3.24	3.19	3.18	3.22	3.16	3.13	3.19	3.12	3.08	3.15	3.09	3.04
5.0	3.20	3.30	3.32	3.16	3.18	3.19	3.12	3.09	3.08	3.10	3.05	3.03	3.07	3.00	2.97	3.04	2.97	2.93
5.5	3.10	3.22	3.26	3.05	3.10	3.11	3.01	3.00	3.00	2.99	2.95	2.94	2.96	2.90	2.87	2.93	2.86	2.83
6.0	3.00	3.15	3.20	2.95	3.02	3.05	2.90	2.92	2.92	2.88	2.87	2.86	2.86	2.81	2.79	2.83	2.77	2.74
6.5	2.91	3.08	3.11	2.88	2.98	2.99	2.81	2.88	2.88	2.79	2.79	2.79	2.76	2.73	2.72	2.74	2.68	2.67
7.0	2.83	3.02	3.05	2.77	2.90	2.94	2.73	2.78	2.80	2.70	2.72	2.73	2.68	2.65	2.65	2.65	2.61	2.0
7.5	2.76	2.97	3.05	2.70	2.84	2.89	2.65	2.72	2.75	2.62	2.66	2.67	2.60	2.59	2.59	2.57	2.54	2.54
8.0	2.69	2.92	3.01	2.60	2.79	2.84	2.57	2.67	2.70	2.55	2.61	2.62	2.52	2.53	2.54	2.50	2.48	2.48
8.5	2.63	2.88	2.97	2.56	2.74	2.80	2.51	2.62	2.65	2.48	2.55	2.58	2.45	2.47	2.49	2.43	2.43	2.43
9.0	2.57	2.83	2.94	2.50	2.70	2.75	2.44	2.54	2.57	2.42	2.51	2.51	2.39	2.43	2.44	2.36	2.38	2.38
9.5	2.51	2.79	2.91	2.44	2.65	2.73	2.38	2.53	2.58	2.36	2.46	2.49	2.33	2.38	2.40	2.30	2.33	2.34
10.0	2.46	2.75	2.88	2.39	2.61	2.70	2.33	2.49	2.54	2.30	2.51	2.46	2.27	2.34	2.36	2.24	2.28	2.29
10.5	2.41	2.72	2.85	2.33	2.58	2.67	2.27	2.45	2.51	2.24	2.38	2.42	2.21	2.30	2.32	2.19	2.24	2.26
11.0	2.36	2.68	2.83	2.28	2.54	2.65	2.22	2.41	2.48	2.19	2.34	2.39	2.16	2.26	2.29	2.14	2.20	2.22
11.5	2.32	2.65	2.80	2.24	2.51	2.62	2.17	2.37	2.45	2.14	2.31	2.36	2.11	2.22	2.26	2.09	2.16	2.19
12.0	2.28	2.62	2.78	2.19	2.48	2.59	2.13	2.34	2.54	2.10	2.27	2.33	2.06	2.19	2.23	2.01	2.13	2.16
12.5	2.24	2.59	2.76	2.15	2.45	2.57	2.09	2.31	2.40	2.05	2.24	2.31	2.02	2.15	2.20	1.99	2.10	2.13
13.0	2.20	2.56	2.74	2.11	2.42	2.55	2.04	2.28	2.38	2.01	2.21	2.28	1.98	2.15	2.17	1.95	2.06	2.10
13.5	2.16	2.53	2.72	2.08	2.39	2.53	2.00	2.25	2.35	1.97	2.18	2.26	1.93	2.09	2.15	1.91	2.03	2.07
14.0	2.13	2.51	2.70	2.04	2.36	2.51	1.97	2.23	2.33	1.93	2.15	2.24	1.89	2.06	2.12	1.87	2.00	2.05

Fuente: Elaboración propia.

4.9.5- ANÁLISIS DE EROSIÓN.

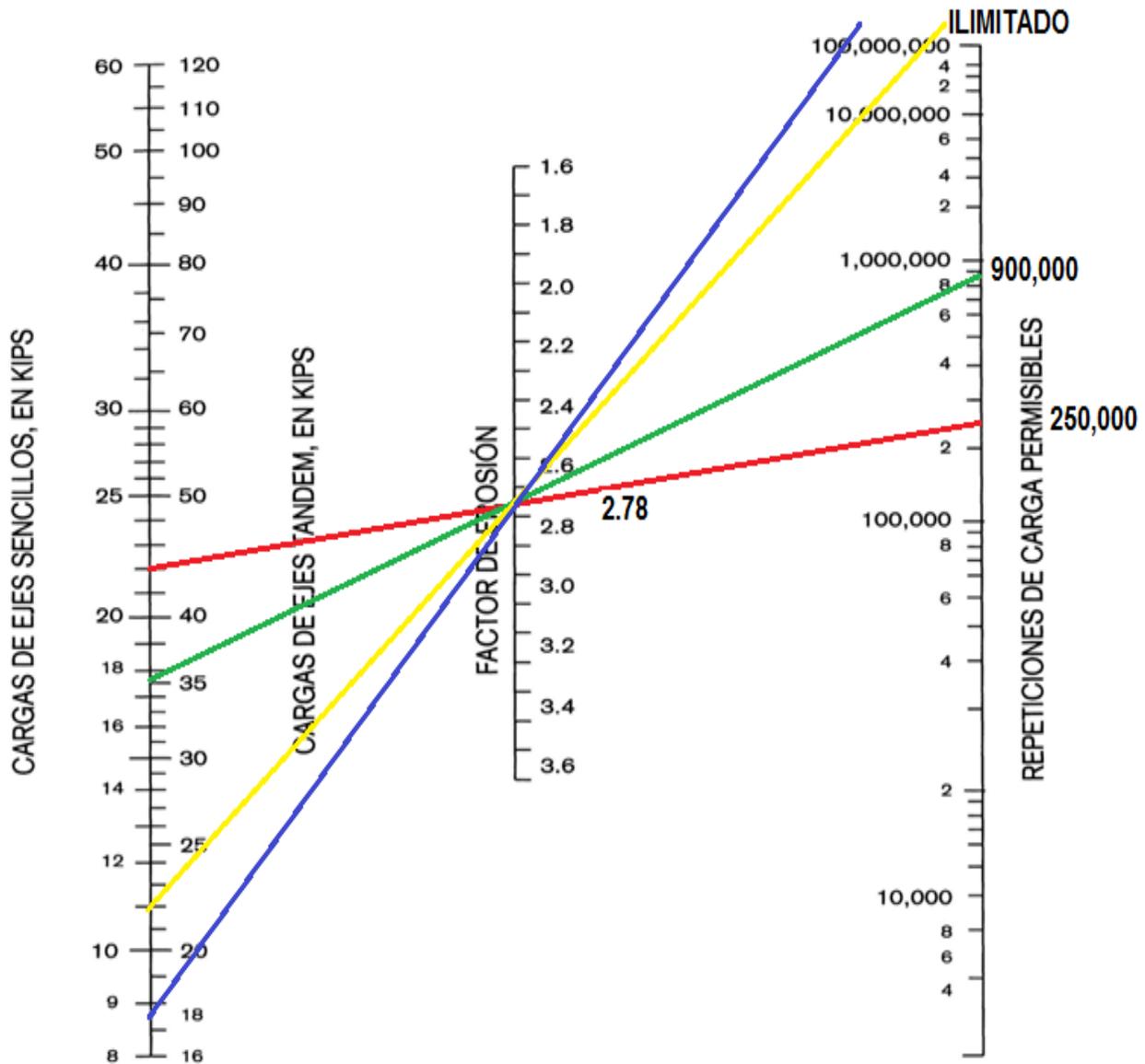
Para efectos de resumen y fácil interpretación de los resultados de la figura, se explica el eje sencillo de 22, 17.6, 11, 8.8 Kips con su correspondiente factor de erosión de 2.75 para el primer tramo y de 3.09 para el segundo tramo como se puede apreciar en la Gráfico N° 7 y 7'.

**GRAFICO N° 7. PRIMERA ITERACIÓN PRIMER TRAMO
REPETICIONES ESPERADAS DEL ANÁLISIS DE EROSION, EJE SENCILLO
CARGA DE 22, 17.6, 11, 8.8 KIPS, ESPESOR INICIAL 7”.**



Fuente: Elaboración propia.

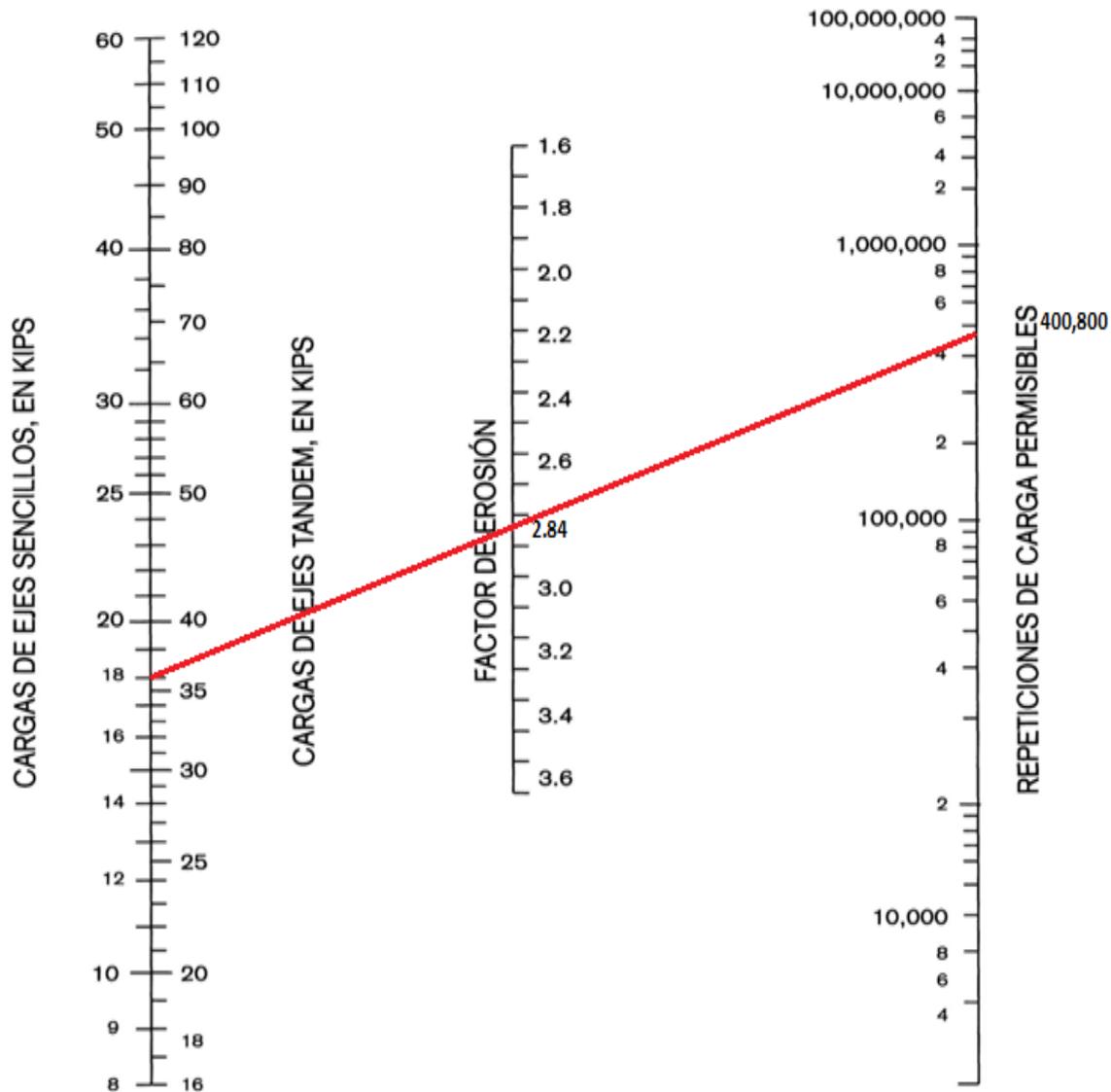
**GRAFICO N° 7'. PRIMERA ITERACIÓN SEGUNDO TRAMO
REPETICIONES ESPERADAS DEL ANÁLISIS DE EROSION, EJE SENCILLO
CARGA DE 22, 17.6, 11, 8.8 KIPS, ESPESOR INICIAL 6.5".**



Fuente: Elaboración propia.

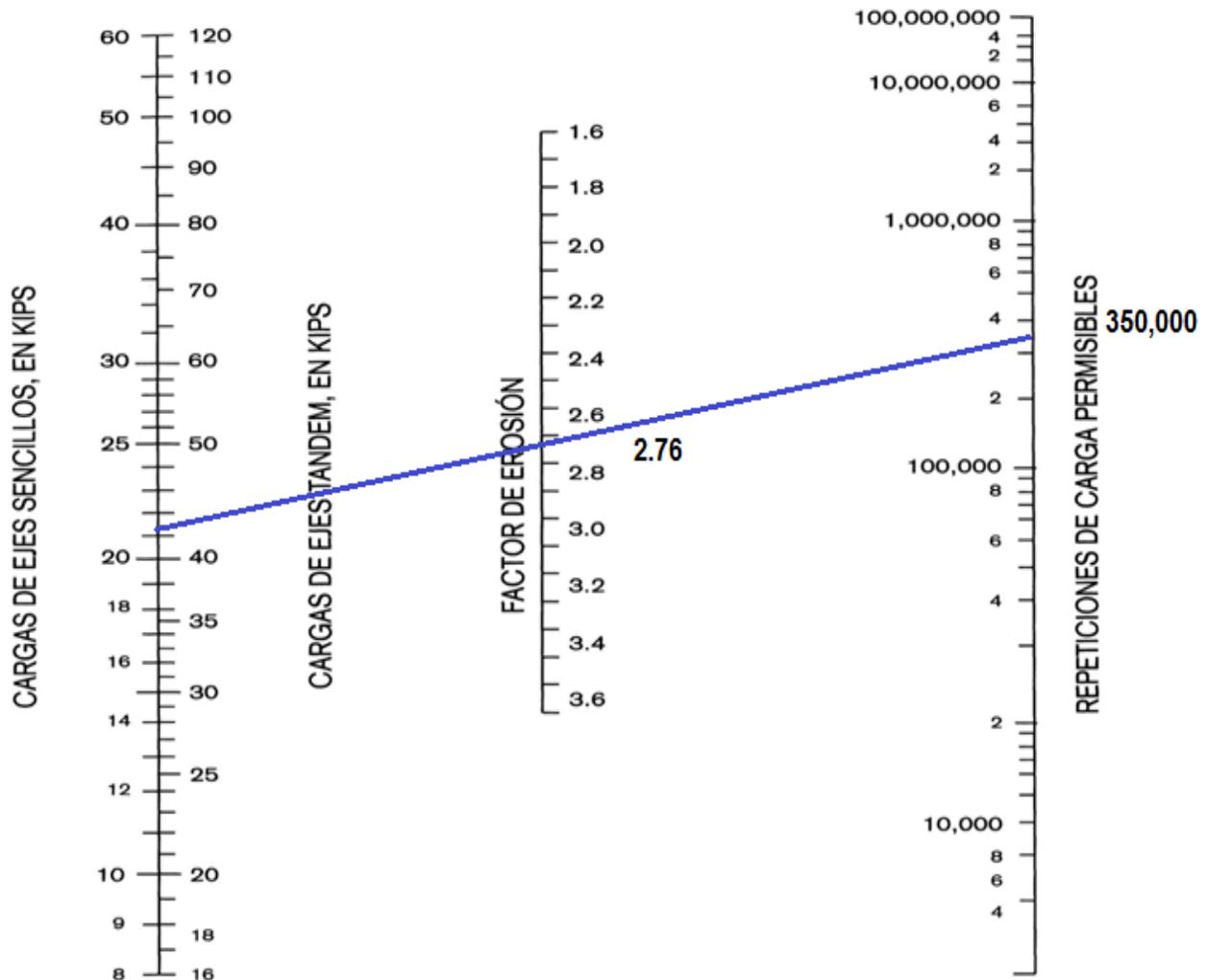
En el caso del eje tándem de 36.3 Kips, se entra en el gráfico N° 8 y 8' con la carga ya multiplicada por su factor de seguridad de 1. La carga en el eje será siempre de 36.3 Kips, se une con el valor de relación de esfuerzo de 2.84 y 3.03 para el primer y segundo tramo respectivamente, de manera que uniendo los dos puntos con una línea recta y extendiendo la escala de repeticiones permisibles, se encuentra el valor a como se muestra en la Gráfico N° 8 y 8'.

**GRAFICO N°8. PRIMERA ITERACIÓN, PRIMER TRAMO.
 REPETICIONES ESPERADAS DEL ANÁLISIS DE EROSION, EJE TANDEM
 CARGA DE 36.3 KIPS, ESPESOR INICIAL 7”.**



Fuente: Elaboración propia.

**GRAFICO N° 8'. PRIMERA ITERACIÓN, SEGUNDO TRAMO.
 REPETICIONES ESPERADAS DEL ANÁLISIS DE EROSION, EJE TANDEM
 CARGA DE 36.3 KIPS, ESPESOR INICIAL 6.5".**



Fuente: Elaboración propia.

Posterior al cálculo de cada una de las repeticiones permisibles para los análisis de fatiga y erosión, se procede a calcular el porcentaje de daño. Esto se hace expresando como porcentaje la relación entre las repeticiones esperadas y las repeticiones permisibles.

A continuación, se muestra en la tabla N° 24 pág. 71 los resultados de la primera iteración con un espesor inicial de 7" para el primer tramo.

TABLA N° 24.
CALCULO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RIGIDO "PRIMERA ITERACION, PRIMER TRAMO DE 7"

PROYECTO: DISEÑO DE 10 KMS DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL TRAMO DE CARRETERA MACUELIZO-OCOCONA						
				PASAJUNTAS:		SI__NO__X__
ESPESOR INICIAL =				7 plg	APOYO LATERAL:	
MODULO DE REACCION K DE LA SUB-BASE =				150 PCI	SI__X__NO__	
MODULO DE RUCTURA DEL CONCRETO MR=				632 PCI	PERIODO DE DISEÑO(AÑOS)=	
FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA, LSF =				1	20 años	
				RESISTENCIA DEL CONCRETO Fc=		4000 PSI
				COMENTARIO :SUB-BASE GRANULAR DE 8 PULGADAS		
Carga del eje en Kips	Multiplicada por LSF	Repeticiones Esperadas	Analisis de fatiga		Analisis de Erosion	
			Repeticiones Permisibles (ANEXOS)	% de Fatiga	Repeticiones Permisibles (ANEXOS)	% de Daño
1	2	3	4	5	6	7
8. Esfuerzo Equivalente =			248	10. Factor de Erosion =		
9. Factor de Relacion de esfuerzo =			0,39	2,75		
Ejes Sencillos						
22	22	253.967,00	1300000	19,54	200700	126,54
17,6	17,6	25.915,00	ILIMITADO	0,00	900000	2,88
11	11	476.836,00	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
8,8	8,8	62.196,00	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
4,4	4,4	36.281,00	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
8. Esfuerzo Equivalente =			210	10. Factor de Erosion =		
9. Factor de relacion de esfuerzo =			0,33	2,84		
Ejes Tandem						
36,3	36,3	222869,00	ILIMITADO	0,00	400800	55,61
				Total	19,54	185,03

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la primera iteración de la tabla N° 24 con un espesor inicial de 7 pulgadas, cumple el análisis por fatiga al tener una sumatoria del porcentaje total de daño por debajo del valor límite ($\sum\%$ de daños < 100%), sin embargo, el análisis por erosión sobre pasa el valor límite ($\sum\%$ de daños >100%). Por lo tanto, se descarta utilizar un espesor de 7 pulgadas por no cumplir en uno de sus valores límites. (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, capítulo 7, pág. 223).

Se debe realizar la segunda iteración de prueba con un mayor espesor de losa de 7.5 pulgadas a como se muestra en la siguiente tabla. Los resultados de los factores de fatiga y erosión (Ver Anexo Capítulo IV, tabla N° 39, 40 y los gráficos N° 13, 14, 15 y 16).

Tabla N° 25: SEGUNDA ITERACIÓN PRIMER TRAMO

CALCULO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RIGIDO "SEGUNDA ITERACION"

PROYECTO: DISEÑO DE 10 KMS DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL TRAMO DE CARRETERA MACUELIZO-OCOCONA						
			PASAJUNTAS:		SI__ NO_X_	
ESPESOR INICIAL =			7,5 plg		APOYO LATERAL: SI_X_ NO__	
MODULO DE REACCION K DE LA SUB-BASE =			150 PCI		PERIODO DE DISEÑO(AÑOS)= 20 años	
MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO MR=			632 PCI		RESISTENCIA DEL CONCRETO Fc= 4000 PSI	
FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA, LSF =			1		COMENTARIO :SUB-BASE GRANULAR DE 8 PULGADAS	
Carga del eje en Kíps	Multiplicada por LSF	Repeticiones Esperadas	Analisis de fatiga		Analisis de Erosion	
			Repeticiones Permisibles	% de Fatiga	Repeticiones Permisibles (ANEXOS)	% de Daño
1	2	3	4	5	6	7
8. Esfuerzo Equivalente =			226		10. Factor de Erosion = 2,68	
9. Factor de Relacion de esfuerzo =			0,36			
Ejes Sencillos						
22	22	253.967,00	ILIMITADO	0,00	500000	50,79
17,6	17,6	25.915,00	ILIMITADO	0,00	2000000	1,30
11	11	476.836,00	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
8,8	8,8	62.196,00	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
4,4	4,4	36.281,00	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
8. Esfuerzo Equivalente =			193		10. Factor de Erosion = 2,78	
9. Factor de relacion de esfuerzo =			0,31			
Ejes Tandem						
36,3	36,3	222869,00	ILIMITADO	0,00	700000	31,84
				Total	0,00	83,93

Fuente: Elaboración propia.

La segunda iteración de la tabla N° 25 con un espesor de losa de 7.5 pulgadas, cumple el análisis de fatiga y de erosión al tener un porcentaje total por debajo del valor límite ($\sum\%$ de daños < 100%). Se puede observar que al aumentar el espesor de losa de 7" a 7.5" disminuye el esfuerzo de fatiga a cero y el de erosión a 83.93%.

Se descarta utilizar un espesor de losa de 8 pulgadas porque este espesor de losa vendría a encarecer más el monto del proyecto a la hora de su ejecución. En la siguiente tabla se resumen los resultados de las 3 iteraciones realizadas con un espesor de losa de concreto sin pasa juntas y con apoyo lateral de 7", 7.5" y 8" respectivamente para el primer tramo:

TABLA N° 27

RESUMEN RESULTADOS DE ITERACIONES REALIZADAS, PRIMER TRAMO.

N° ITERACION	TIPO DE ANALISIS		ESPESOR PULGADAS
	FATIGA %	EROSION %	
PRIMERA	19,54	185,03	7
SEGUNDA	0,00	83,93	7,5
TERCERA	0,00	64,64	8

Fuente: Elaboración propia.

Se determina que el espesor apropiado para el primer tramo de carretera Macuelizo-Ococona, es el equivalente a una losa de concreto simple de 7.5 pulgadas a como se detalla en el resumen de la tabla N° 27, por cumplir con los diferentes análisis de los factores de diseño tanto de fatiga como de erosión y por tener porcentajes totales lo más próximos posibles al valor límite ($\sum\%$ de daños < 100%).

Las iteraciones de los diferentes espesores, no se continúan debido a que al reducir o aumentar aún más el espesor de diseño, se nos aumentaría los porcentajes totales y alcanzan valores mayores o menores del 100% (valor límite), lo cual equivale a que dichos espesores no cumplirían con los análisis del diseño tanto de fatiga como de erosión.

De igual manera se realizarán 3 iteraciones para el segundo tramo de carretera a como se detalla en la siguiente tabla N° 28 con un espesor de losa inicial de 6.5".

TABLA N° 28
CALCULO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RIGIDO "PRIMERA ITERACION,
SEGUNDO TRAMO"

PROYECTO: DISEÑO DE 10 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL TRAMO DE CARRETERA MACUELIZO-OCOCONA						
			PASAJUNTAS:		SI__ NO_X_	
ESPELOR INICIAL =			6.5 plg		APOYO LATERAL:	
MODULO DE REACCION K DE LA SUB RAZANTE =			400 PCI		SI_X_ NO__	
MODULO DE RUCTURA DEL CONCRETO MR=			632 PCI		PERIODO DE DISEÑO(AÑOS)=	
FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA, LSF =			1		RESISTENCIA DEL CONCRETO Fc=	
					4000 PSI	
			COMENTARIO : _____			
Carga del eje en Kips	Multiplicada por LSF	Repeticiones Esperadas	Analisis de fatiga		Analisis de Erosion	
			Repeticiones Permisibles (ANEXOS)	% de Fatiga	Repeticiones Permisibles (ANEXOS)	% de Daño
1	2	3	4	5	6	7
	8. Esfuerzo Equivalente =		233		10. Factor de Erosion =	2.78
	9. Factor de Relacion de esfuerzo =		0.37			
Ejes Sencillos						
22	22	253,967.00	10000000	2.54	250000	101.59
17.6	17.6	25,915.00	ILIMITADO	0.00	900000	2.88
11	11	476,836.00	ILIMITADO	0.00	ILIMITADO	0.00
8.8	8.8	62,196.00	ILIMITADO	0.00	ILIMITADO	0.00
4.4	4.4	36,281.00	ILIMITADO	0.00	ILIMITADO	0.00
	8. Esfuerzo Equivalente =		195.5		10. Factor de Erosion =	2.76
	9. Factor de relacion de esfuerzo =		0.31			
Ejes Tandem						
36.3	36.3	222869.00	ILIMITADO	0.00	350000	63.68
				Total	2.54	168.14

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la primera iteración del segundo tramo de la tabla N° 28 con un espesor inicial de losa de 6.5 pulgadas, cumple el análisis por fatiga al tener una sumatoria del porcentaje total de daño menor al valor límite ($\sum\%$ de daños < 100%), sin embargo, el análisis por erosión sobre pasa el valor límite ($\sum\%$ de daños >100%). Por lo tanto, se descarta utilizar un espesor de 6.5 pulgadas por no cumplir en uno de sus valores límites.

Se debe realizar la segunda iteración de prueba con un mayor espesor de losa de 7 pulgadas a como se muestra en la siguiente tabla. Los resultados de los factores de fatiga y erosión (Ver Anexo Capítulo IV, tabla N° 43, 44 y los gráficos N° 21, 22, 23 y 24).

TABLA N° 29
CALCULO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RIGIDO ‘SEGUNDA ITERACION,
SEGUNDO TRAMO’

PROYECTO: DISEÑO DE 10 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL TRAMO DE CARRETERA MACUELIZO-OCOCONA						
					PASAJUNTAS:	SI__ NO_X__
ESPEJOR INICIAL =			7 plg		APOYO LATERAL:	SI_X_ NO__
MODULO DE REACCION K DE LA SUB RAZANTE =			400 PCI		PERIODO DE DISEÑO(AÑOS)=	20 años
MODULO DE RUCTURA DEL CONCRETO MR=			632 PCI		RESISTENCIA DEL CONCRETO Fc=	4000 PSI
FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA, LSF =			1		COMENTARIO :	_____
Carga del eje en Kips	Multiplicada por LSF	Repeticiones Esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de Erosion	
			Repeticiones Permisibles (ANEXOS)	% de Fatiga	Repeticiones Permisibles (ANEXOS)	% de Daño
1	2	3	4	5	6	7
8. Esfuerzo Equivalente =			211.5		10. Factor de Erosion = 2.69	
9. Factor de Relacion de esfuerzo =			0.33			
Ejes Sencillos						
22	22	253,967.00	ILIMITADO	0.00	400000	63.49
17.6	17.6	25,915.00	ILIMITADO	0.00	1700000	1.52
11	11	476,836.00	ILIMITADO	0.00	ILIMITADO	0.00
8.8	8.8	62,196.00	ILIMITADO	0.00	ILIMITADO	0.00
4.4	4.4	36,281.00	ILIMITADO	0.00	ILIMITADO	0.00
8. Esfuerzo Equivalente =			177		10. Factor de Erosion = 2.69	
9. Factor de relacion de esfuerzo =			0.28			
Ejes Tandem						
36.3	36.3	222869.00	ILIMITADO	0.00	1400000	15.92
				Total	0.00	80.94

Fuente: Elaboración propia.

La segunda iteración de la tabla N° 29 con un espesor de losa de 7 pulgadas, cumple con el análisis de fatiga y de erosión al tener un porcentaje total debajo del valor límite ($\sum\%$ de daños < 100%). Se puede observar que al aumentar el espesor de losa de 6.5” a 7” disminuye el esfuerzo de fatiga a cero y el de erosión 80.94.

Sin embargo, se debe de realizar una tercera iteración con un espesor de losa de 7.5” a como se muestra en la siguiente tabla. Los resultados de los factores de fatiga y erosión (Ver Anexo Capítulo IV, tabla N° 45, 46 y los gráficos N° 25, 26, 27 y 28).

TABLA N° 30 TERCERA ITERACION, SEGUNDO TRAMO”

PROYECTO: DISEÑO DE 10 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL TRAMO DE CARRETERA MACUELIZO-OCOCONA						
			PASAJUNTAS:		SI__ NO_X_	
ESPESOR INICIAL =			7.5 plg		APOYO LATERAL:	
MODULO DE REACCION K DE LA SUB RAZANTE =			400 PCI		SI_X_ NO__	
MODULO DE RUCTURA DEL CONCRETO MR=			632 PCI		PERIODO DE DISEÑO(AÑOS)= 20 años	
FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA, LSF =			1		RESISTENCIA DEL CONCRETO Fc= 4000 PSI	
			COMENTARIO : _____			
Carga del eje en Kips	Multiplicada por LSF	Repeticiones Esperadas	Analisis de fatiga		Analisis de Erosion	
			Repeticiones Permisibles (ANEXOS)	% de Fatiga	Repeticiones Permisibles (ANEXOS)	% de Daño
1	2	3	4	5	6	7
8. Esfuerzo Equivalente =			193	10. Factor de Erosion = 2.61		
9. Factor de Relacion de esfuerzo =			0.31			
Ejes Sencillos						
22	22	253,967.00	ILIMITADO	0.00	500000	50.79
17.6	17.6	25,915.00	ILIMITADO	0.00	3000000	0.86
11	11	476,836.00	ILIMITADO	0.00	ILIMITADO	0.00
8.8	8.8	62,196.00	ILIMITADO	0.00	ILIMITADO	0.00
4.4	4.4	36,281.00	ILIMITADO	0.00	ILIMITADO	0.00
8. Esfuerzo Equivalente =			161.5	10. Factor de Erosion = 2.63		
9. Factor de relacion de esfuerzo =			0.26			
Ejes Tandem						
36.3	36.3	222869.00	ILIMITADO	0.00	1900000	11.73
				Total	0.00	63.39

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la tercera iteración para el tramo 2, de la tabla N° 30 con un espesor de 7.5 pulgadas, el análisis por fatiga siendo cero y el de erosión 63.39%. Cumple el análisis por fatiga y el de erosión al tener una sumatoria del porcentaje total de daños por debajo del valor límite ($\sum\%$ de daños < 100%). Sin embargo, si se

continúa realizando pruebas con losas de mayor espesor se llegará a porcentajes de daños de fatiga y de erosión más altos.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de las 3 iteraciones realizadas con un espesor de losa de concreto sin pasa juntas y con apoyo lateral de 6.5", 7" y 7.5" respectivamente:

TABLA N° 31: RESUMEN RESULTADOS DE ITERACIONES REALIZADAS, SEGUNDO TRAMO.

RESUMEN RESULTADOS DE ITERACIONES			
N° ITERACION	TIPO DE ANALISIS		ESPESOR
	FATIGA %	EROSION %	
PRIMERA	2.54	168.14	6.5"
SEGUNDA	0.00	80.94	7"
TERCERA	0.00	63.39	7.5"

Fuente: Elaboración propia.

Se determina que el espesor apropiado para el segundo tramo de carretera Macuelizo-Ococona, es el equivalente a una losa de concreto simple de 7 pulgadas a como se detalla en el resumen de la tabla N° 30, por cumplir con los diferentes análisis de los factores de diseño tanto de fatiga como de erosión y por tener porcentajes totales lo más próximos posibles al valor límite ($\Sigma\%$ de daños < 100%).

Las iteraciones de los diferentes espesores, no se continúan debido a que al reducir o aumentar aún más el espesor de diseño, se nos aumentaría los porcentajes totales y alcanzan valores mayores o menores del 100% (valor límite), lo cual equivale a que dichos espesores no cumplirían con los análisis del diseño tanto de fatiga como de erosión.

4.10- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS AL DISEÑO.

En esta sección detallamos aspectos complementarios al diseño, por no estar directamente en el rubro del diseño de espesores.

4.10.1- MODULACIÓN DE LAS LOSAS.

La modulación de la losa se refiere a definir la forma que tendrán los tableros de losas del pavimento. Esta forma se da en base a la separación entre juntas tanto transversales como longitudinales. La modulación de losas va estar regida por la separación de las juntas transversales que a su vez depende del espesor del pavimento. La siguiente ecuación nos permite dimensionar los tableros de losas para inducir el agrietamiento controlado bajo sus cortes, sin necesidad de colocar acero de refuerzo continuo:

Ecuación N° 8:

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

Dónde:

S_{JT} = Separación de Juntas Transversales (≤ 5.0 m)

D = Espesor del Pavimento en Metros (según diseño)

En nuestra modulación de losas utilizaremos el valor de 21, debido a tener mayor fricción entre la sub-base y el pavimento de concreto. Aplicando la ecuación N° 8, obtenemos el siguiente resultado para el tramo de carretera Macuelizo-Ococona:

$$S_{JT} = (21) \times (0.1875 \text{ metros})$$

$$\underline{S_{JT} = 3.94 \text{ metros}}, \text{ Ok}$$

La otra dimensión que tiene que ver con la modulación de losas es la separación de juntas longitudinales. En nuestro diseño consideramos un tablero cuadrado que es la ideal para una losa y que cumple con la condición de diseño.

La relación entre largo y ancho de un tablero de losa no deberá estar fuera de los límites de 0.71 a 1.4. En nuestra modulación de losa la relación del tablero, nos da como resultado:

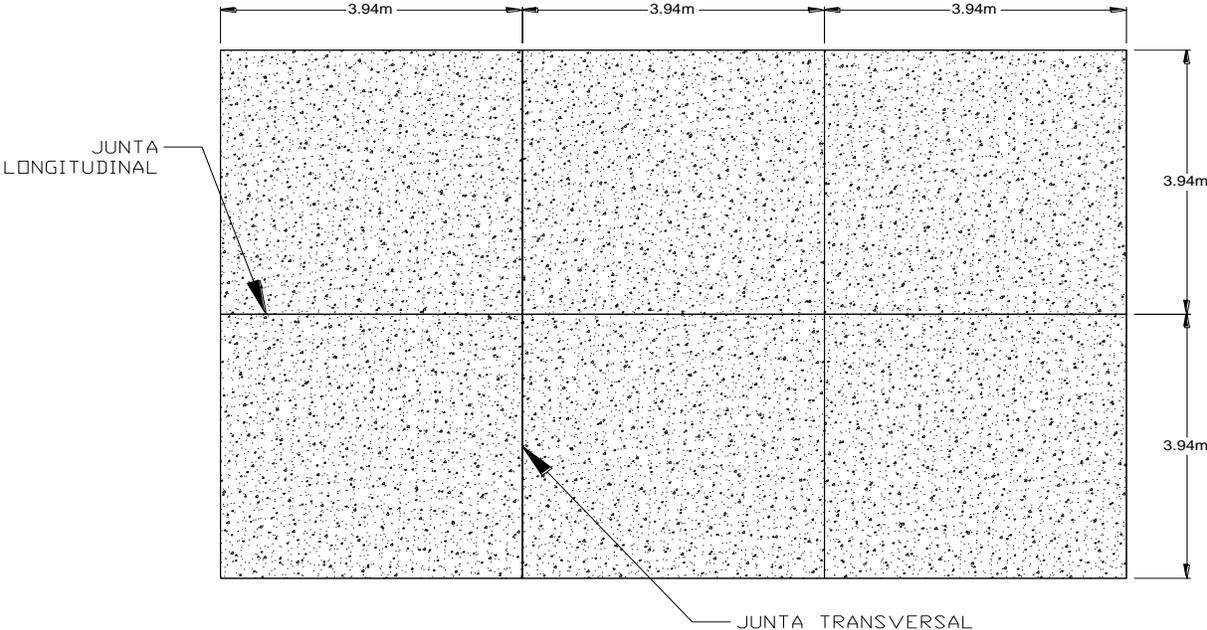
Ecuación N° 9:

$$0.71 < x/y < 1.40$$

$$X/Y = 3.94 \text{ mts} / 3.94 \text{ mts} = 1, \text{ OK}$$

El siguiente Gráfico N° 9 representa una vista de planta de la modulación correspondiente a los dos tramos de carretera diseñados, tramo Macuelizo-Ococona:

GRAFICO N°9
VISTA EN PLANTA MODULACION DE LOSAS



Fuente: Elaboración propia.

Las secciones típicas para los dos tramos de carretera del proyecto, se describe a continuación:

GRAFICO Nº10

SECCIÓN TRANSVERSAL DE CARRETERA SEGÚN DISEÑO PRIMER TRAMO

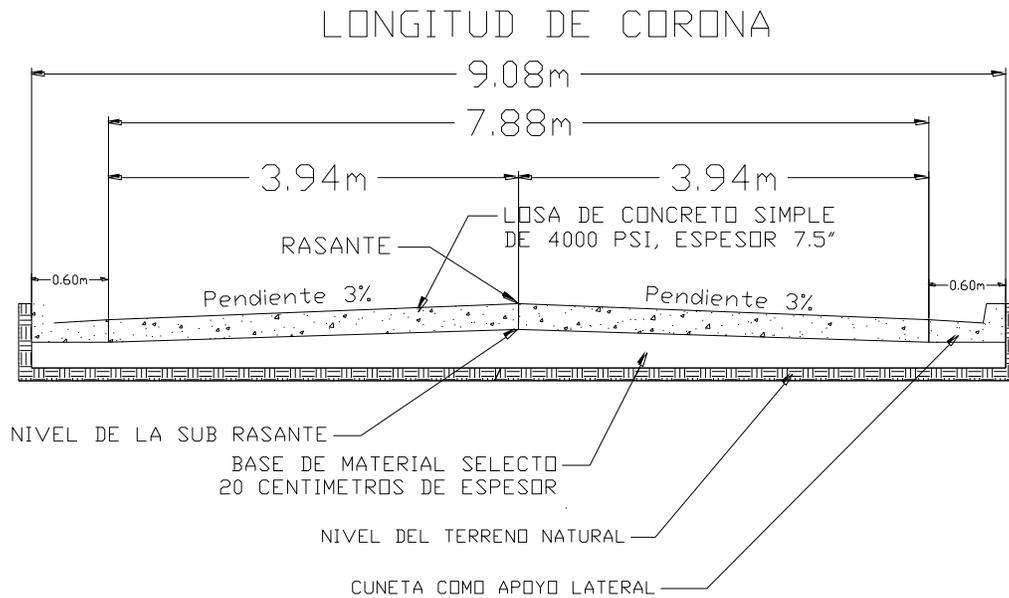
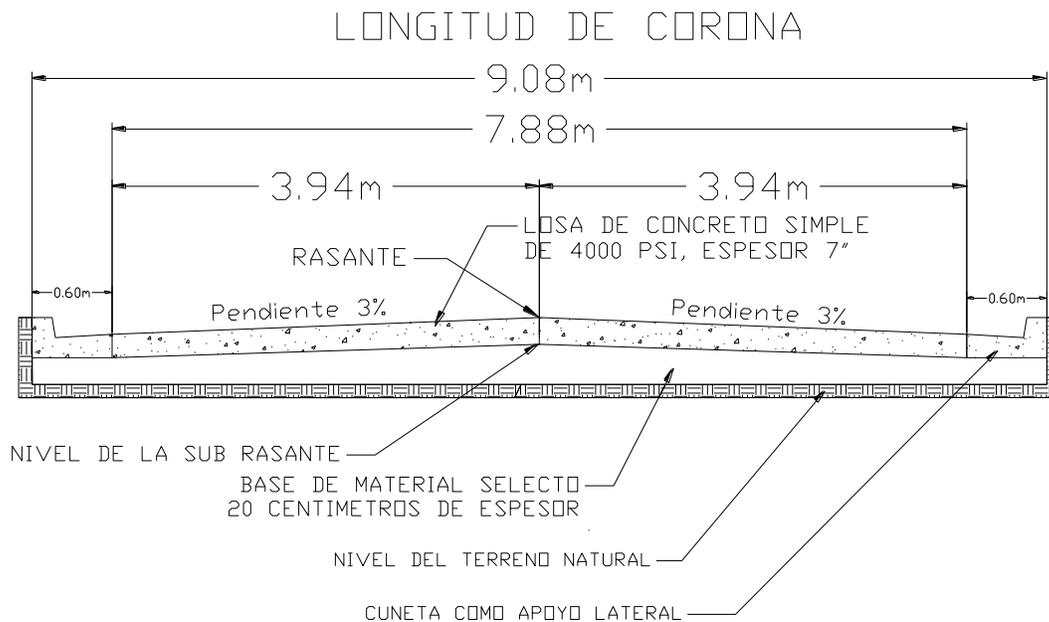


GRAFICO Nº11

SECCIÓN TRANSVERSAL DE CARRETERA SEGÚN DISEÑO SEGUNDO TRAMO



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1- CONCLUSIONES

5.1.1.- ESTUDIO DE SUELOS

Como resultado de los 40 sondeos a lo largo del tramo en estudio los materiales corresponden a suelos limo arcillosos de color café y de color gris oscuro del tipo A-7-5 y A-7-6 considerados elásticos, en sus diferentes índices de grupo que van desde (3) a (18), por lo cual resulto un CBR de diseño de 3% compactado al 95% Proctor Estándar, según gráfico N° 3, pág. 26 del capítulo II. También se encontró en las capas superficiales suelos de material selecto por efecto de mantenimiento de tipo A-1-a (0), A-1-b (0) y A-2-7 (3),

Después de analizar todas las muestras y estudiar los resultados se determinó que no es posible utilizar la capa de rodadura actual como soporte de la losa de concreto, por lo que es necesario la colocación de una sub-base granular que cumpla con las especificaciones técnicas contenidas según NIC-2000, la cual nos permitirá aumentar la resistencia del suelo cuando se les transfieran las cargas impuestas por el tráfico

De los dos bancos de préstamo estudiados, se determinó que cumplen con las especificaciones técnicas que permitan utilizarla como sub-base granular de la estructura de pavimento de concreto. La dependencia de su utilización, está en función de la distancia de acarreo establecida. De igual forma se puede incurrir a sobre acarreo en dependencia de la distancia de acarreo libre según la NIC-2000, sección 206.

5.1.2. - ESTUDIO DE TRÁNSITO

La tasa de crecimiento vehicular utilizada para la proyección del tránsito fue de 3.56%, según la ecuación N° 3 (ver pág. 40, capítulo III).

El TPDA que se empleará para el diseño de pavimento será el calculado para esta investigación, el cual corresponde a 293 vehículos por día para el año base 2014, según tabla N° 14, pág. 38.

Las repeticiones totales esperadas en el carril de diseño son de 1,518,619.00. (1.52E+0.6) según tabla N° 17 pág. 45 del capítulo III.

El porcentaje de vehículos livianos es de 69.89 % y vehículos pesados de 33.11%. El estudio de tránsito refleja que la afluencia vehicular es mayoritariamente de vehículos livianos. Dentro de los factores de diseño se encuentra la tasa de crecimiento vehicular, de crecimiento poblacional y del producto interno bruto.

5.1.3. - DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO.

El espesor de losa de concreto a emplear para el primer tramo es de 7.5 pulgadas y para el segundo de 7 pulgadas según los diseños realizados, el cual resulto ser el espesor más óptimo después de realizar las 3 iteraciones para cada tramo, para el primer tramo, en la segunda iteración los porcentajes de daño por fatiga y erosión resultaron ser de 0% y 83.93% respectivamente, para el segundo tramo de 0% y 80.94% respectivamente igual en la segunda iteración, siendo estos los que más se acercaron al 100% de los porcentajes de daños que es el valor límite.

El espesor propuesto de la sub-base granular para el primer y segundo tramo es de 8 pulgadas, valor con el cual la Resistencia Portante del suelo y módulo de reacción de la sub-rasante se incrementan lo suficiente como para resistir las cargas dinámicas transferidas desde la plataforma de concreto.

No se consideran barras con pasa juntas en el diseño de la estructura de pavimento para no encarecer la obra a la hora de su ejecución. El uso de cunetas como apoyo lateral si lo utilizamos debido a que el porcentaje de camiones que circula en la vía supera el 25% del tráfico total estimado del proyecto.

Se formarán tableros de losa de concreto de 3.94 metros de separación entre juntas longitudinales y 3.94 metros de separación entre juntas transversales (ver gráfico 9, 10 y 11 para los tramos).

5.2.- RECOMENDACIONES

Con el objetivo de garantizar que el Diseño de Estructura de Pavimento Rígido propuesta, cumpla con la vida útil, se recomiendan las siguientes especificaciones técnicas:

1. La proyección del TPDA total debe estar compuesto por la sumatoria del tráfico normal que circula por la vía y el tráfico que se desarrollara durante todo el periodo de diseño.
2. Se recomienda el uso de los dos bancos de material para la sub-base granular de 8 pulgadas de la losa de concreto simple para los dos tramos de carretera.
3. Al momento de realizar el mejoramiento del terreno se deberá llevar un estricto control del suministro de material seleccionado, como la compactación y el espesor recomendado que cumpla las especificaciones recomendadas por la norma NIC-2000, sec-1003.09. (Ver Anexo Capítulo IV, Tabla N° 47).
4. 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.
5. Para garantizar el buen funcionamiento y duración de vida útil de la carpeta y estructura de pavimento, se debe construir un buen sistema de drenaje pluvial, además de realizar mantenimientos periódicos de manera preventiva, que también evita los altos costos del mantenimiento correctivo y/o rehabilitación.
6. Garantizar que los materiales a utilizar en la losa de concreto sean adquiridos en fábricas certificadas, como una forma de asegurarse de que cumplan con la calidad requerida.
7. Asegurar que se cumpla el tiempo de fraguado del concreto para evitar daños que implique alteración al costo del proyecto.

5.3- BIBLIOGRAFÍA

- “Anuarios de Tráfico Año 2009-2011”, Ministerio de Transporte e Infraestructura, MTI.
- “Caracterización del municipio de Macuelizo,” 2012, Alcaldía del Municipio de Macuelizo.
- “Diseño de Pavimentos de Hormigón”, método PCA.
- “Diseño de Pavimentos”, AASHTO-93.
- “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes, NIC-2000”, Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI.
- “Ingeniería de Pavimentos para Carreteras”, Alfonso Montejo Fonseca 2^{da} Edición.
- “Informe Anual año 2014”, INIDE.
- “Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento”, SIECA.
- “Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos”, CEMEX.
- “Plan de Prevención, Mitigación y Atención de desastres”, Alcaldía del Municipio de Macuelizo.
- “Red Vial de Nicaragua. 2013”, Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI.