



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LOS ACCESOS VEHICULARES
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE MACHALA

ALVAREZ AYALA DIEGO PAUL
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2023



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LOS ACCESOS
VEHICULARES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD
EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

ALVAREZ AYALA DIEGO PAUL
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2023



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LOS ACCESOS VEHICULARES PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
MACHALA

ALVAREZ AYALA DIEGO PAUL
INGENIERO CIVIL

SANCHEZ MENDIETA CARLOS EUGENIO

MACHALA, 27 DE FEBRERO DE 2023

MACHALA
27 de febrero de 2023

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LOS ACCESOS VEHICULARES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA.

por Diego Paul Alvarez Ayala

Fecha de entrega: 22-feb-2023 09:09p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2020889832

Nombre del archivo: Trabajo_Practico_-_Diego_Alvarez_Ayala_-_Copia.pdf (1.26M)

Total de palabras: 9431

Total de caracteres: 43825

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, ALVAREZ AYALA DIEGO PAUL, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Diseño de pavimento flexible de los accesos vehiculares para el mejoramiento de la movilidad en la Universidad Técnica de Machala, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.


El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 27 de febrero de 2023



ALVAREZ AYALA DIEGO PAUL
0706369436

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LOS ACCESOS VEHICULARES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA.

INFORME DE ORIGINALIDAD

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida estudiantil y a todas esas personas que de una u otra manera hicieron sinergia para alentarme a seguir a paso firme. Gracias

RESUMEN

El presente informe técnico se refiere al diseño de la estructura del pavimento flexible basado en la metodología AASHTO 93, para la vía de acceso vehicular posterior de la facultad de Ingeniería Civil en la Universidad Técnica de Machala, donde se pretende mejorar las condiciones de movilidad y conectividad de la comunidad universitaria.

Para el análisis de tránsito se asumió un tráfico promedio diario anual (TPDA) de 300 vehículos. De donde se obtiene un ESALs de 2'014,011.118 EE de 8.2 Toneladas, del estudio geotécnico a una profundidad de 1.50 m se obtuvo un suelo arenoso con partículas de arcilla de baja plasticidad, con una densidad máxima seca de 1.905 gr/cm³ al 11.85% de humedad y un CBR de diseño de 8.5%. Los espesores del paquete estructural del pavimento calculados fueron de 5 cm para la capa de rodadura, 15 cm para la capa de base granular y 20 cm para la capa de subbase.

Palabras clave: Pavimento Flexible, movilidad, acceso vehicular, AASHT 93, estructura.

ABSTRACT

This technical report refers to the design of the flexible pavement structure based on the AASHTO 93 methodology, for the rear vehicular access road of the Civil Engineering faculty at the Technical University of Machala, where the aim is to improve the mobility and connectivity conditions of the university community.

For the traffic analysis, an annual average daily traffic (TPDA) of 300 vehicles was assumed. The geotechnical study at a depth of 1.50 m showed a sandy soil with clay particles of low plasticity, with a maximum dry density of 1,905 gr/cm³ at 11.85% humidity and a design CBR of 8.5%. The calculated pavement structural package thicknesses were 5cm for the wearing course, 15cm for the granular base course and 20cm for the subbase course.

Key words: Flexible pavement, mobility, vehicular access, AASHT 93, structure.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Importancia del tema.	2
1.2 Actualidad de la problemática.	2
1.3.1 Contextualización	2
1.3.2 Análisis crítico	3
1.3.3 Pregunta científica	3
1.4 Delimitación del objeto de estudio.	3
Alcance.	3
Espacial.	3
1.5 Justificación.	3
1.6 Objetivos.	4
1.6.1 Objetivo General	4
1.6.2 Objetivos Específicos	4
2. DESARROLLO	4
2.1 Marco teórico	4
2.1.1 Antecedentes conceptuales y referenciales	4
2.1.2 Variables de diseño en pavimentos	5
2.1.3 Factores a considerar en el diseño pavimento	6
2.1.4 Materiales y métodos	7
2.1.5 Diseño de pavimento flexible por la metodología AASHTO 93.	9
2.2 Análisis e interpretación de resultados	13
3. CONCLUSIONES	13
4. RECOMENDACIONES	13
5. BIBLIOGRAFIA	14
ANEXOS	16
ANEXO 1 Calculo del ESALs.	16
ANEXO 2 Parámetro de confiabilidad.	17
ANEXO 3 Desviación estándar.	18
ANEXO 4 Índice de servicio.	18
ANEXO 5 Modulo resiliente.	18
ANEXO 6 Coeficientes estructurales.	18
ANEXO 7 Coeficientes de drenaje.	20
ANEXO 8 Numero estructural para la subrasante.	22
ANEXO 9 Numero estructural para la subrasante.	23
ANEXO 10 Numero estructural para la subrasante.	24

ANEXO 11 Contenido de humedad.	25
ANEXO 12 Análisis Granulométrico.	26
ANEXO 13 Límites de Atterberg.	27
ANEXO 14 Clasificación de suelos.	28
ANEXO 15 Proctor modificado.	30
ANEXO 16 Cálculo del CBR.	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de la vía en función del TPDA.	6
Tabla 2 Principales propiedades del suelo en estudio	7
Tabla 3 Clasificación de la vía en función del TPDA	8
Tabla 4 Coeficientes estructurales obtenidos	10
Tabla 5 Coeficientes de drenaje obtenidos.	10
Tabla 6 Espesores mínimos (pulgadas)	11

1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es parte fundamental del desarrollo urbano debido a la alta actividad comercial reciente, por lo que los comerciantes deben movilizar sus productos de manera eficiente. Para el diseño de la infraestructura del pavimento se debe contar con la información necesaria como es tipo de suelo, volumen de tráfico, materiales utilizados en la construcción de la estructura y sistema de drenaje. Estos parámetros deben determinarse con precisión, de lo contrario se obtendrán espesores de capa inadecuados, lo que provocara que el pavimento flexible no alcance l vida útil proyectada. (Barreto Cedeño et al., 2018)

Para alcanzar o mejorar el nivel de vida de una ciudad o comunidad, es necesario mejorar la movilidad de las personas mediante la implementación de una adecuada infraestructura vial capaz de lograr el máximo desempeño estructural. Por ello, el desarrollo de la tecnología del asfalto ha llevado a la búsqueda de materiales alternativos que en la actualidad ayuden a mejorar su rendimiento a la vez que ayuden a reducir la contaminación ambiental. (Bobadilla Peña et al., 2022)

La vida útil de una estructura de pavimento puede verse afectada por varios factores, que incluyen: (a) las condiciones ambientales en las que se encuentra, (b) las propiedades de los materiales que la componen, (c) la cantidad de materiales. vehículos que transitan por él y d) defectos en el proceso de construcción. Sin embargo, uno de los factores más importantes es el tránsito de vehículos pesados que exceden su carga máxima permisible, pues si bien son las cargas verticales las que más daños ocasionan a las estructuras de pavimento. (Allen et al., 2020)

El paquete estructural de pavimento consta de diferentes tipos de capas y espesores que deben cumplir con una serie de parámetros definidos por las normas AASHTO en función de los espectros de carga. Estas estructuras también están diseñadas para soportar diversos factores ambientales que también afectan su degradación, tales como; materiales pétreos que se encuentran en las laderas, factores climáticos, variaciones de temperatura y precipitaciones bien drenadas y controladas. Con estos parámetros claros, la carretera se adaptará al ciclo de diseño. (Barreto Cedeño et al., 2018)

1.1 Importancia del tema.

Para el diseño de pavimentos es necesario tener conocimiento de la resistencia de diseño de la subrasante para dimensionar la estructura y predecir su comportamiento estructural y funcional bajo cargas de tráfico. También es importante considerar factores geológicos, geotécnicos, topográficos, de drenaje y ambientales. (Barreto Cedeño et al., 2018)

De los anterior los estudios de suelos son la base de diseño que constituye el tipo de material de la subrasante existente. Además, todo este análisis es necesario en función de mejorar la movilidad de los usuarios de la vía, de ahí la importancia de realizar un buen diseño. (Barreto Cedeño et al., 2018)

1.2 Actualidad de la problemática.

Una de las problemáticas que requieren de atención urgente dentro del contexto social es la movilidad urbana que constituye la cotidianidad de la población. Si bien la necesidad de movilizarse entre las distintas áreas funcionales dentro de las grandes urbes se viene incrementando en la actualidad, es importante mencionar desde la perspectiva del desarrollo socioeconómico que una de las manifestaciones más relevantes de dicha problemática se genera por la deficiencia de movilidad urbana produciendo la desarticulación de las actividades productivas en las grandes ciudades. Por lo tanto, es necesario implementar infraestructura para mejorar la movilidad dentro de las principales áreas metropolitanas. (Lange Valdés, 2011)

De lo anterior se genera la importancia de desarrollar proyectos que consoliden la movilidad masiva como carreteras urbanas y vías especiales exclusivas para peatones. Mas allá de las implicancias que genera la movilidad urbana el objetivo principal es crear el dinamismo social en función de alcanzar su máximo punto de concreción. (Lange Valdés, 2011)

Sin embargo, y como puede desprenderse del párrafo anterior se puede decir que la movilidad es parte de un nuevo “modo de vida”, por lo que es necesario implementar y equipar de infraestructura adecuada el acceso vehicular posterior de la Facultad de Ingeniería Civil en la Universidad Técnica de Machala con el fin de mejorar los estándares de calidad y servicios requeridos por los usuarios y la comunidad estudiantil.

1.3 Formulación del problema científico.

1.3.1 Contextualización

La implementación del pavimento asfáltico en la vía de acceso vehicular posterior de la facultad de ingeniería civil surge con la necesidad de mejorar la calidad de vida y consigo la movilidad de los usuarios y de toda la población estudiantil dentro del campus universitario.

La construcción de subbases y bases de carreteras requiere de un estudio geotécnico minucioso de los materiales involucrados. En general, se utilizan principalmente materiales disponibles en el sector de emplazamiento de la obra, sobre los que se aplican técnicas y métodos normados con el firme objetivo de mejorar el suelo y su comportamiento, además de disminuir los espesores de diseño de cada una de las capas que forman la estructura del pavimento.(Aiassa & Arrúa, n.d.)

1.3.2 Análisis crítico

La necesidad de mejorar la movilidad dentro del campus universitario mediante la implementación del diseño y cálculo del paquete estructural del pavimento flexible causara algunos inconvenientes de logística durante su ejecución; pero garantiza además de evitar los problemas producidos por el invierno la apertura de un nuevo acceso vehicular y peatonal hacia el área de comedores y consigo mejorar el ornato del campus universitario.

1.3.3 Pregunta científica

¿Cuál sería el diseño óptimo del espesor de las capas de subbase, base y capa de rodadura tal que este garantice la viabilidad y sostenibilidad del proyecto?

1.4 Delimitación del objeto de estudio.

Alcance.

Para el diseño de la estructura del pavimento flexible se desarrolló el estudio de suelos el cual consiste en determinar Límites de Atterberg, granulometría, contenido de humedad óptimo y ensayo CBR, con el fin de definir los parámetros de diseño de pavimento definidos por la metodología AASHTO 93. En la sección de anexos se indican el paso a paso de los cálculos que con ayuda de ilustraciones y tablas se aprecia de mejor manera el proceso.

Espacial.

El proyecto de estudio diseño de la estructura del pavimento flexible para el acceso vehicular se encuentra ubicado en la parte posterior de la facultad de Ingeniería Civil en los predios de la Universidad Técnica de Machala.

1.5 Justificación.

La mayoría de proyectos viales surgen con la necesidad de satisfacer las necesidades comerciales que impulsen el desarrollo de los pueblos y comunidades. A lo largo de la historia se han desarrollado tres tipos de pavimentos como son: Pavimento flexible, Pavimento rígido y Pavimento articulado.

La falta de vías de acceso vehicular que conecten a la facultad de Ingeniería civil con los patios de comida y garanticen el confort de la comunidad estudiantil y docente, sugiere la

implementación de un acceso vehicular equipado con pavimento flexible, razón por la cual el presente trabajo técnico se justifica.

A nivel técnico la ejecución del presente proyecto contribuye a mejorar la movilidad de la comunidad estudiantil y docente dentro del campus universitario, además de mejorar el ornato y depurar toda la problemática que producen las lluvias en temporada invernal. A nivel académico proporciona una guía para el cálculo y diseño de pavimentos flexibles a futuros tesistas.

1.6 Objetivos.

1.6.1 Objetivo General

Diseñar la estructura del pavimento flexible mediante la metodología AASHTO 93, para el mejoramiento de la movilidad de los usuarios del acceso vehicular posterior de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad técnica de Machala.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Determinar las variables requeridas para el diseño de la estructura del pavimento flexible del acceso vehicular posterior de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala.
- Aplicar la metodología y recomendaciones de la Guía de diseño AASHTO 93 para el cálculo y diseño de la estructura del pavimento flexible.

2. DESARROLLO

2.1 Marco teórico

2.1.1 Antecedentes conceptuales y referenciales

2.1.1.1 Generalidades de los Pavimentos

Los pavimentos son una parte importante de los proyectos viales. Deben ser capaces de soportar las demandas ambientales y del tráfico y proporcionar una estructura duradera que permita que el vehículo se mueva de manera cómoda y segura. (Bahamondes et al., 2013). Según Gutiérrez et al. (2017) Los pavimentos consisten en un conjunto de capas relativamente horizontales de diferentes materiales; generalmente existen dos tipos principales: rígidos, flexibles y articulados (Guzmán-Ortiz et al., 2021)

2.1.1.2 Pavimento flexible

Los pavimentos flexibles constan de varias capas (capa de rodadura, capa de base granular y capa de subbase) las cuales realizan funciones fundamentales e importantes como la distribución adecuada de las cargas provocadas por el tráfico vehicular y garantiza la resistencia a la intemperie. (Oblitas-Gastelo et al., 2021)

El pavimento flexible consiste en capas superpuestas, relativamente horizontales, de resistencia superficial decreciente, llamadas capa superior, subbase y subbase, que descansan sobre la capa base. A la hora de determinar su espesor se tienen en cuenta los siguientes factores: las propiedades de los materiales que lo componen, las exigencias del tráfico, las características de la capa base y las condiciones ambientales a las que estará expuesto el pavimento durante su vida útil. (Sánchez et al., 2020)

2.1.2 Variables de diseño en pavimentos

2.1.2.1 Serviciabilidad

“El Índice de Serviciabilidad de Pavimento (PSI) tiene como propósito dar un valor de nivel de confort y seguridad con la que cuenta un pavimento con respecto al desplazamiento natural y normal de los vehículos”. (de La Cruz Vega et al., 2022)

2.1.2.2 Confiabilidad

Las confiabilidades utilizadas en el diseño de pavimentos se asignan de acuerdo con las recomendaciones de la guía de diseño o de acuerdo con los criterios del diseñador. Es decir, no existen herramientas racionales para su estimación. Además, los valores elegidos son deterministas y no tienen en cuenta la naturaleza aleatoria del proceso ni las cargas reales, el clima, los materiales y las condiciones de impacto del proceso de construcción que afectan el desempeño de la estructura en servicio. (Rodríguez Moreno et al., 2017)

2.1.2.3 Modulo resiliente (MR)

El módulo resiliente es una medida de la capacidad de los materiales para absorber energía sin deformación permanente, es decir, es una propiedad dentro del límite proporcional del material. Se determina mediante un ensayo de respuesta dinámica basado en la deformación recuperable bajo cargas repetidas. (Munera Miranda et al., 2019)

El módulo resiliente se utiliza en el análisis elástico multicapa, y junto con el módulo de Poisson, es una variable importante para determinar la respuesta mecánica de los materiales como los esfuerzos, deformaciones y deflexiones en los pavimentos flexibles. Su valor es un parámetro para el diseño empírico y mecánico-empírico de pavimentos. (Munera Miranda et al., 2019)

Muchos diseñadores de pavimentos optan por el uso de correlaciones o nomogramas para determinar el valor aproximado del módulo resiliente. Con los nomogramas se estima el módulo resiliente según los resultados de otros ensayos básicos de caracterización (AASHTO, 1993). Otra forma, es mediante ecuaciones empíricas como la que propusieron Heukelom y Klomp (1962) (Ecuación 1). (Munera Miranda et al., 2019)

$$MR = 3000 \times CBR^{0.65}$$

Donde:

MR= Modulo resiliente

CBR= Índice de soporte de california.

2.1.3 Factores a considerar en el diseño pavimento

2.1.3.1 Transito

El tráfico es probablemente la variable más importante en el diseño de carreteras. El volumen y las dimensiones del vehículo influyen en el diseño geométrico, mientras que el número y el peso de los ejes son factores decisivos en el diseño de las estructuras viales. A partir del volumen de tráfico vehicular, se calculan los ejes equivalentes, las cargas aplicadas por los neumáticos, los tipos de tráfico y las iteraciones de las tasas de crecimiento y pronóstico hasta que se expresan en números ESAL. (Equivalent Single Axle Load), Eje de Carga Simple Equivalente. (Pedro & Cesar, 2020)

2.1.3.2 Clasificación de carreteras

En función del volumen de tráfico y el servicio que prestan las vías son organizadas dentro de un sistema que las clasifica de acuerdo a su funcionalidad según la tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de la vía en función del TPDA.

FUNCION	CATEGORIA	TPDA ESPERADO
CORREDOR ARTERIAL	R I o R II	mayor 8000
	I	3000 - 8000
	II	1000 - 3000
COLECTORAS	III	300 - 1000
	IV	100 - 300
VECIANAL	V	menor 100

Fuente: MTOP

Elaborado por: Diego Alvarez

2.1.3.3 Clima

Uno de los factores más importante que afectan el desempeño del pavimento son las lluvias y los inesperados cambios de temperatura. La acción directa de las lluvias en el incremento del nivel freático, provocan el deterioro de la resistencia a la compresibilidad de las capas del suelo que conforman la estructura del pavimento.

2.1.3.4 Subrasante

En función de la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo cargas de volumen de tránsito dependerá la calidad de la subrasante. Además, influye

directamente en la determinación del espesor del pavimento, así como los parámetros de clima y clasificación de las carreteras.

2.1.4 Materiales y métodos

2.1.4.1 Características del suelo de estudio

El trabajo de campo ejecutado en la zona de estudio derivó en la ejecución de una calicata en función de la longitud del tramo de vía en estudio, realizándose los siguientes estudios:

- Contenido de húmeda, ASTM D-2216
- Análisis granulométrico, ASTM D-422
- Limite líquido, ASTM D-4318
- Limite plástico, ASTM D-4318
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- California Bearing Ratio, ASTM D-1883
- Proctor modificado ASTM D- 1557

Tabla 2

Principales propiedades del suelo en estudio

Profundidad:	0.50 - 1.00 m	Profundidad:	1.00 - 1.50 m
Contenido de humedad	8.04 %	Contenido de humedad	14.89%
Limite liquido	23.60%	Limite liquido	20.30%
Limite plástico	17.95%	Limite plástico	8.38%
Índice de plasticidad	5.65%	Índice de plasticidad	11.92%
Clasificación SUCS	Arena con partículas de arcilla de baja plasticidad	Clasificación SUCS	Arena con partículas de arcilla de baja plasticidad
Contenido De húmeda óptimo		Contenido De húmeda óptimo	11.85%
Densidad máxima seca		Densidad máxima seca	1.905 gr/cm ³

Elaborado por: Diego Alvarez

2.1.4.2 Métodos empíricos con los materiales utilizados

Para el diseño del pavimento flexible se implementó la metodología AASHTO 93, que para el diseño de este tipo de pavimento (flexible) plantea una ecuación para determinar el número estructural (SN), el mismo que sirve para definir los espesores de las capas de rodadura, base y subbase; las cuales componen la estructura del pavimento flexible.

Ecuación 1. (AASHTO, 1993)

$$\text{Log}(W) = ZR \cdot So + 9,36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \text{Log}(MR) - 8,07$$

Dónde:

W: Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el período de diseño.

ZR: Desviación estándar normal.

So: Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural.

ΔPSI: Diferencia entre índice de servicio inicial y final.

MR: Módulo resiliente (en libras/pulgada²)

SN: Número estructural.

Para el cálculo del **ESALS** se asumió TPDA de 300, además se adoptó un periodo de diseño de 20 años, se determinó el factor carril Fc=1, la tasa de crecimiento de acuerdo a las recomendaciones de la AASHTO de estimo al 6% y para el factor de distribución direccional se consideró el flujo de tránsito de 50% para cada dirección, por lo tanto, Fd=0. 5. Como resultado se obtuvo el ESALs de 2'014,011.118 EE 8.2 Ton. (Anexo 1)

La zona de estudio de acuerdo con las recomendaciones del MTOP y en consecuencia del valor del TPDA esperado de 300, se clasifica como vía colectoras de orden IV. (Tabla 3)

Tabla 3

Clasificación de la vía en función del TPDA

FUNCION	CATEGORIA	TPDA ESPERADO
CORREDOR ARTERIAL	R I o R II	mayor 8000
	I	3000 - 8000
	II	1000 - 3000
COLECTORAS	III	300 - 1000
	IV	100 - 300
VECIANAL	V	menor 100

Fuente: MTOP

Elaborado por: Diego Alvarez

2.1.5 Diseño de pavimento flexible por la metodología AASHTO 93.

2.1.5.1 Confiabilidad (R%)

En función que la zona de estudio se encuentra ubicada en una zona rural y en consecuencia con la clasificación de la vía (colectora), se adopta el nivel de confiabilidad R=85% y la desviación estándar ZR= -0.253. (Anexo 2)

2.1.5.2 Desviación estándar combinada (S0)

La desviación estándar combinada So, de acuerdo a la Guía AASHTO 93 depende del tipo de pavimento y recomienda para pavimentos flexibles valores que oscilan entre 0.45 a 0.50, otros textos indican valores de 0.45 para obras nuevas y 0.50 para sobrecarga. Para nuestro proyecto de investigación adoptamos el valor So= 0.45. (Anexo 3)

2.1.5.4 Índice de serviciabilidad (PSI)

La Guía AASHTO 93 en la selección del índice de serviciabilidad terminal (Pt) sugiere un índice de 2.5 o mayor para carreteras principales y 2.0 para carreteras con menor volumen de tráfico y un índice de serviciabilidad inicial de 4.2 para pavimentos flexibles. Para nuestro proyecto adoptamos valores de Pt= 2.0 y Po= 4.2 respectivamente, por lo tanto, el Índice de serviciabilidad es de 2.2 PSI. (Anexo 4)

2.1.5.5 Modulo resiliente (Mr)

Aplicando las recomendaciones establecidas por la guía de diseño AASHTO 93 se determinó para el presente proyecto un CBR de diseño de 8.5 % el cual corresponde a la subrasante, por lo tanto, aplicando la ecuación de correlación de la AASHTO 93 para rangos de CBR de 7.2% a 20% de determino el valor del Módulo resiliente MR= 12057 PSI. (Anexo 5)

2.1.5.6 Numero estructural (SN)

La guía de diseño AASHTO 93 propone la siguiente ecuación para determinar el número estructural. **Ecuación 2.** (AASHTO, 1993)

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

Donde:

a1, a2 y a3 representan los coeficientes estructurales por capa, en este caso de la capa de rodadura, Base granular y subbase granular respectivamente, y m2, m3 se denominan coeficientes de drenaje así mismo d1, de2 y d3 se denominan como los espesores mínimos por requeridos por cada capa para que el diseño sea adecuado. Obteniendo los siguientes resultados. (Anexo 6)

Tabla 4
Coefficientes estructurales obtenidos

Descripción	Coefficiente	Valor del coeficiente estructural
Carpeta de rodadura	a1	0.44 plg
Base granular	a2	0.135 plg
Subbase granular	a3	0.11 plg

Fuente: AASHTO 93.

Elaborado por: Diego Alvarez

Para determinar los **coeficientes de drenaje m1 y m2** se estableció en función a los parámetros recomendados por la AASHTO 93 la calidad de drenaje como buena con un tiempo de escurrimiento de 1 día, además el porcentaje de tiempo expuesto a contenidos de humedad cercanos a la saturación de T= 9%. (Anexo 7)

Tabla 5
Coefficientes de drenaje obtenidos.

Descripción	Coefficiente de drenaje	Valor
Capeta de rodadura	m1	1.00
Base Granular	m2	1.00
Subbase granular	m3	1.00

Fuente: AASHTO 93.

Elaborado por: Diego Alvarez

2.1.5.7 Determinación de los espesores por capa.

De acuerdo con la metodología AASHTO 93, para determinar el número estructural requerido ($SN_{req.}$) Plantea el uso de monogramas. Obteniéndose los siguientes resultados. (Anexo 8)

$SN1_{obt.} = 2.4$ requerido para la capa de rodadura

$SN2_{obt.} = 2.7$ requerido para la base granular

$SN3_{obt.} = 3.01$ requerido para la subrasante

Para determinar el número estructural ($SN_{cal.}$) calculado la metodología AASHTO 93 recomienda el uso de las siguientes ecuaciones:

$$D1_{cal} = \frac{SN1_{obt.}}{a1}$$

$$SN1_{cal.} = a1 * D1_{cal} \geq SN1_{obt.}$$

$$D2_{cal} = \frac{SN2_{obt.} - SN1_{cal}}{a2 * m2}$$

$$SN1_{cal.} + SN2_{cal.} \geq SN2_{obt.}$$

$$D3_{cal} = \frac{SN3_{obt.} - (SN1_{cal} + SN2_{cal})}{a3 * m3}$$



Fuente: Diego Alvarez

Para determinar D1:

$$D1_{cal} = \frac{SN1_{obt.}}{a1} \rightarrow \frac{2.4}{0.44} \rightarrow 5.45" \approx 5,5"$$

$$SN1_{cal.} = a1 * D1_{cal} \rightarrow 0.44 * 5.5" \rightarrow 2.42$$

Donde se cumple

$$SN1_{cal.} \geq SN1_{obt.} \rightarrow 2.42 \geq 2.4 \text{ ok}$$

Sin embargo, además de cumplir con los requerimientos las AASHTO recomienda que una adecuada selección de espesores también debe cumplir con el análisis de costos para que el diseño sea viable.

Tabla 6

Espesores mínimos (pulgadas)

Trafico, ESALs	Concreto asfáltico	Base de agregados
Menos de 50.000	1.0 (o tratamiento superficial)	4
50.001-150.000	2.0	4
150.001-500.000	2.5	4
500.001-2,000.000	3.0	6
2,000.001-7,000.000	3.5	6
Mayor que 7,000.000	4.0	6

Fuente: AASHTO 93

Elaborado por: Diego Alvarez

De la tabla 6, en función de nuestro ESALs la norma recomienda el espesor mínimo de 3.0 "para la capa de rodadura, por lo cual se obtiene:

$$SN1_{cal.} = 0.44 * 3.0'' = 1.32$$

En consecuencia, el espesor optimo adoptado para la capa de rodadura es **D1 = 3.0''**

Para determinar D2:

$$SN2_{cal} = SN_{obt.} - SN1_{cal} \rightarrow 2.7 - 1.32 \rightarrow 1.38$$

$$D2_{cal} = \frac{SN2_{cal.}}{a2 * m2} \rightarrow \frac{1.38}{0.135 * 1} \rightarrow 10.22'' \approx 10.5''$$

$$SN2_{cal} = a2 * D2_{cal} * m2 \rightarrow 0.135 * 10.5 * 1 \rightarrow 1.42$$

Donde se cumple

$$SN2_{cal.} \geq SN2_{obt.} \rightarrow 1.42 \geq 1.38 \text{ ok}$$

De la misma forma que el cálculo anterior el espesor de nuestra capa de base granular es muy robusta por los priorizamos en viabilidad del proyecto en función del aspecto económico, por lo tanto, adoptamos el espesor recomendado por la AASHTO en la tabla 6. El cual será de **D2= 6''**.

$$\text{Recalculado el } SN2_{cal.} = 0.135 * 6 * 1 = 0.81$$

Para determinar D3:

$$SN3_{cal} = SN3_{obt.} - (SN1_{cal} + SN2_{cal})$$

$$SN3_{cal} = 3.01 - (1.32 + 0.81)$$

$$SN3_{cal} = 0.88$$

$$D3_{cal} = \frac{SN3_{cal.}}{a3 * m3} \rightarrow \frac{0.88}{0.11 * 1} \rightarrow 8'' \approx 8.00''$$

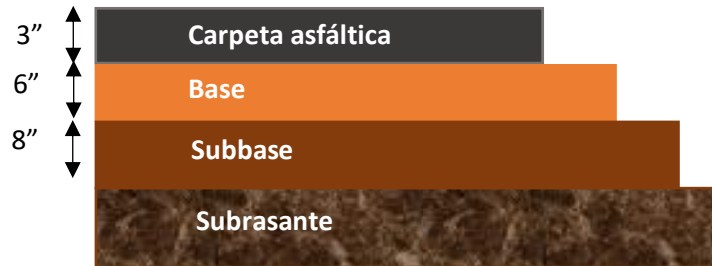
$$SN3_{cal.} = 0.11 * 8 * 1 = 0.88$$

$$SN3_{cal.} \geq SN3_{obt.} \rightarrow 1.32 + 0.81 + 0.88 \geq 3.01 \rightarrow 3.01 \geq 3.01 \text{ ok}$$

Por lo tanto, el espesor de la capa de subbase **D3= 8''**

2.2 Análisis e interpretación de resultados

Del cálculo anterior se obtuvo los siguientes valores para espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento.



Es importante llevar a contexto que se priorizó la viabilidad de proyecto en función de los costos de ejecución y mantenimiento; por lo que se adoptó los espesores ya mencionados. Además, la norma AASTHO 93 indica que existen una gran variedad de combinaciones de espesores por lo que no existe una solución única.

3. CONCLUSIONES

- Se determinó los parámetros requeridos por la metodología AASTHO 93 para el diseño de pavimento flexible mediante el análisis geotécnico; donde el suelo correspondiente a la subrasante es un material conformado por arena y partículas de arcilla de baja plasticidad, además alcanza una densidad máxima seca de 1.905 gr/cm³ al 11.85 % de humedad con un CBR de diseño de 8.5 %.
- Aplicando la metodología AASTHO 93 se diseñó la estructura óptima que conforma el pavimento flexible; con una capa de rodadura de 3", capa de base granular de 6" y capa de subrasante de 8", tomando como prioridad el costo de ejecución y mantenimiento del proyecto en función de la viabilidad del mismo.

4. RECOMENDACIONES

- Es importante realizar el aforo de tráfico con personal técnico capacitado ya que el diseño de un pavimento flexible está sujeto a un adecuado análisis de tránsito vehicular.
- Se puede corroborar los datos calculados manualmente de los espesores de las capas que conforman el pavimento flexible, mediante la implementación de herramientas informáticas, ya que al diseñar mediante el uso de los monogramas se está sujeto a la pericia del diseñador.

5. BIBLIOGRAFIA

AASHTO 1993. (n.d.). AASHTO GUIDE FOR Design of Pavement Structures.

Aiassa, G. M., & Arrúa, P. A. (n.d.). Diseño De mezclas De suelo compactado para la construcción De terraplenes.

Allen, J., Arias Barrantes, E., Vargas Sobrado, C., Ureña Bermúdez, A., Allen, J., Arias Barrantes, E., Vargas Sobrado, C., & Ureña Bermúdez, A. (2020). Truck factors for flexible pavement design in Costa Rica: Historical analysis for the 2007-2017 period. *Infraestructura Vial*, 22(40), 11–19. <https://doi.org/10.15517/IV.V22I40.42859>

Barreto Cedeño, S. L., Banguera Garces, J., Córdova Rizo, J., Barreto Cedeño, S. L., Banguera Garces, J., & Córdova Rizo, J. (2018). Análisis comparativo de ejes equivalentes obtenidos mediante método aashto 93 y los proporcionados por pesaje en balanza fija de vehículos. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(1), 59–68. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000100059&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Bobadilla Peña, J., Tesen Muñoz, F. L., Tigre Acosta, J. J., & Muñoz Pérez, S. P. (2022). Uso de polímeros en asfalto: una revisión. *Gaceta Técnica*, 23(1), 94–109. <https://doi.org/10.51372/GACETATECNICA231.7>

Cu, O.-T. C. (2020). Propuesta de espesores mínimos de superficie y coeficientes de equivalencia de espesores para el diseño de pavimentos flexibles. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193962633005>

de La Cruz Vega, S. A., Ibañez Ccoapaza, C. E., Coaquira Cueva, D. Y., de La Cruz Vega, S. A., Ibañez Ccoapaza, C. E., & Coaquira Cueva, D. Y. (2022). Determinación de índice de serviciabilidad y capacidad resistente. Caso práctico: pavimentos en Azángaro, Puno, Perú. *Infraestructura Vial*, 24(43), 94–102. <https://doi.org/10.15517/IV.V24I43.48563>

Guzmán-Ortiz, D. V., Hernández-Zaragoza, J. B., López-Lara, T., Horta-Rangel, J. M., Giraldo-Posada, D. A., Guzmán-Ortiz, D. V., Hernández-Zaragoza, J. B., López-Lara, T., Horta-Rangel, J. M., & Giraldo-Posada, D. A. (2021). Uso de agregado de pavimento asfáltico reciclado para un pavimento rígido. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 22(1), 0–0. <https://doi.org/10.22201/FI.25940732E.2021.22.1.005>

Lange Valdés, C. (2011). Dimensiones culturales de la movilidad urbana. *Revista INVI*, 26(71), 87–106. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582011000100004>

- Munera Miranda, J. C., Aguiar Moya PhD., J. P., Munera Miranda, J. C., & Aguiar Moya PhD., J. P. (2019). Estimación del módulo resiliente para materiales granulares de Costa Rica. *Infraestructura Vial*, 21(37), 12–20. <https://doi.org/10.15517/IV.V21I37.42614>
- Oblitas-Gastelo, B. E., Medina-Cardozo, I. I., Paredes-Asalde, C. R., Oblitas-Gastelo, B. E., Medina-Cardozo, I. I., & Paredes-Asalde, C. R. (2021). Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos. *Iteckne*, 18(2), 170–175. <https://doi.org/10.15332/ITECKNE.V18I2.2616>
- Pedro, G., & Cesar, G. (2020). Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2071-081X2020000200008&script=sci_arttext
- Rodríguez Moreno, M. A., Echaveguren Navarro, T., Thenoux Zeballos, G., Rodríguez Moreno, M. A., Echaveguren Navarro, T., & Thenoux Zeballos, G. (2017). Inclusión de confiabilidad en el método de diseño de pavimentos flexibles AASHTO-93 integrando modelos de deterioro de pavimentos. *Revista de La Construcción*, 16(2), 284–294. <https://doi.org/10.7764/RDLC.16.2.284>

ANEXOS

ANEXO 1 Calculo del ESALs.

Para determinar el ESALs la AASHTO 93 establece la ecuación:

$$ESAL's = TPDA * 365 * Fc * Fd * \frac{(1 + r)^n - 1}{Ln(1 + r)}$$

Donde:

TPDA= Transito promedio diario anual en relación a la carga equivalente de 8.2 Ton.

Fc= Factor carril

Fd= Factor de distribución direccional

r= Tasa de crecimiento del transito

n= Periodo de diseño

Nota: El TPDA para nuestro proyecto de asumió de 300 vehículos.

Calculo del factor carril (Fc):

La AASHTO recomienda los valores de la siguiente tabla.

No. Carriles en cada dirección	Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño (Fc)
1	1
2	0.9
3	0.75
4 o mas	0.50-0.75

Para nuestro caso el proyecto en estudio cuenta con un carril por lado de donde se determina **Fc=1**.

Calculo del factor de distribución direccional (Fd).

La AASHTO recomienda periodos de diseño de 10 a 20 años o más en nuestro caso adoptamos un **periodo de diseño de 20 años** en función de la magnitud del proyecto.

Tasa de crecimiento (r).

Para este tipo de proyecto la AASHTO recomienda una tasa de crecimiento de 6%.

Por lo tanto, obtenemos:

$$ESAL`s = 300 * 365 * 1.0 * 0.5 * \frac{(1 + \%6)^{20} - 1}{\text{Ln}(1 + \%6)}$$

$$ESAL`s = 2`014,011.118$$

ANEXO 2 Parámetro de confiabilidad.

Condición de diseño	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO 93

Elaborado por: Diego Alvarez

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar Zr
50	0.000
60	-0.253
70	-0.253
75	-0.253
80	-0.253
85	-0.253
90	-0.253
91	-0.253
92	-0.253
93	-0.253
94	-0.253
95	-0.253
96	-0.253
97	-0.253
98	-0.253
99	-0.253
99.9	-0.253
99.99	-0.253

Fuente: AASHTO 93
Elaborado por: Diego Alvarez

R (%):	85
Zr:	-0.253

ANEXO 3 Desviación estándar.

La AASHTO recomienda los valores de la siguiente tabla.

0.30 - 0.40	PAVIMENTOS RIGIDOS
0.40 - 0.50	PAVIMENTOS FLEXIBLES

Fuente: AASHTO 93
Elaborado por: Diego Alvarez

Adoptamos:

So:	0.45
------------	------

ANEXO 4 Índice de servicio.

La AASHTO recomienda:

Po:	4.20
Pf:	2.00
ΔPSI:	2.20

Fuente: AASHTO 93
Elaborado por: Diego Alvarez

ANEXO 5 Modulo resiliente.

Del estudio de suelos se obtuvo:

CBR DE DISEÑO:	8.5
-----------------------	-----

Por lo tanto:

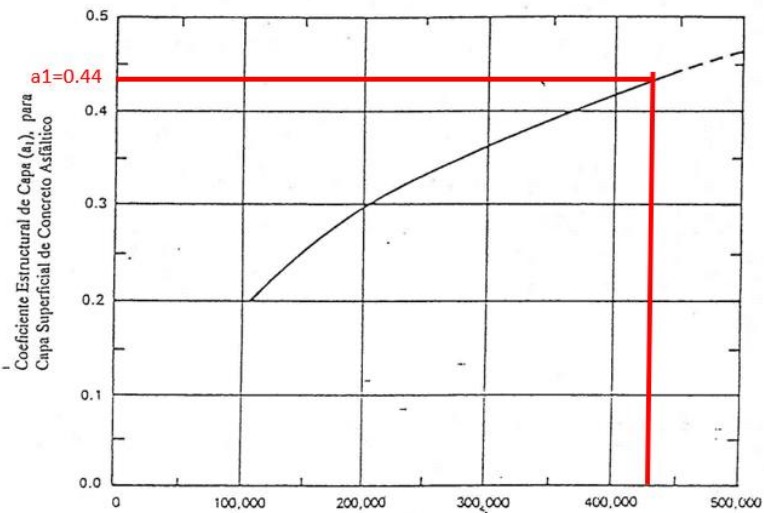
Mr: 3000 x CBR^{0.65}	
Mr:	12057 PSI

ANEXO 6 Coeficientes estructurales.

De la AASHTO se tiene la siguiente ecuación:

$$SN = a_1d_1 + a_2d_2m_2 + a_3d_3m_3$$

Coeficiente estructural (a1) capa de rodadura.



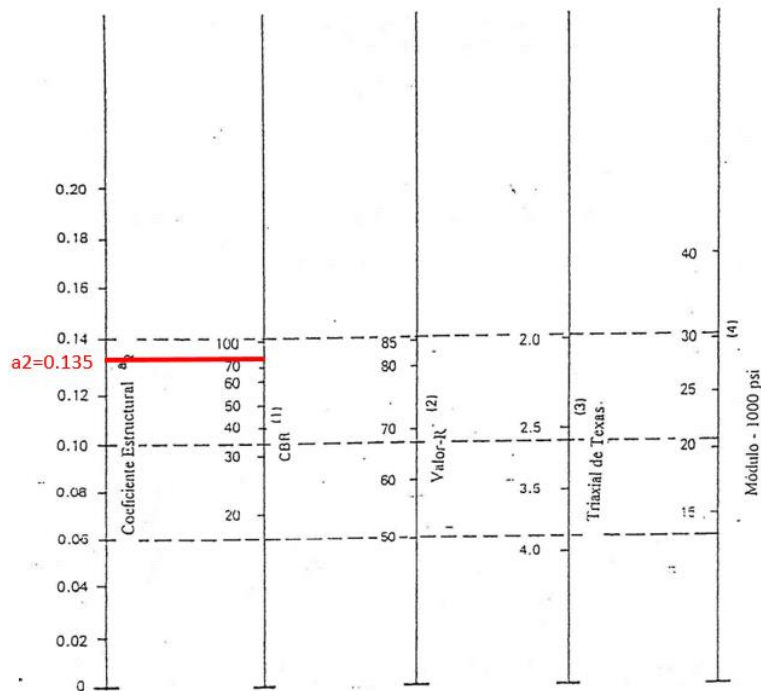
Fuente: AASHTO 93

Del monograma se obtiene:

a1=	0.44
-----	------

Coeficiente estructural de base granular (a2)

Para la base granular la guía AASHTO 93 recomienda un CBR mínimo del 80%

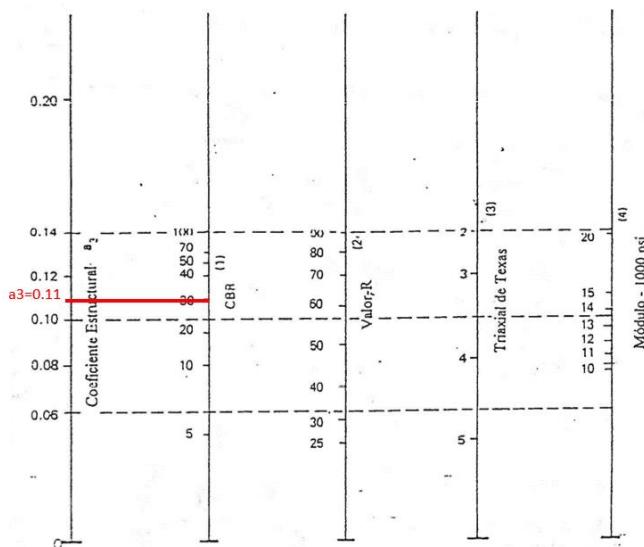


Fuente: AASHTO 93

a2=	0.135
-----	-------

Coeficiente estructural de la subbase granular (a3).

para la subbase granular la guía AASHTO 93 recomienda un CBR mínimo del 30%.



Fuente: AASHTO 93

a3=	0.11
-----	------

ANEXO 7 Coeficientes de drenaje.

Calidad de Drenaje	Tiempo de Remoción del Agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	No Drena

Fuente: AASHTO 93
Elaborado por: Diego Alvarez

Para determinar el porcentaje de tiempo que la estructura va a estar expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación, se determino que para la ciudad de Machala el promedio de días de lluvia es de 31.

$$\% T = \frac{31}{365} * 100 = 8$$

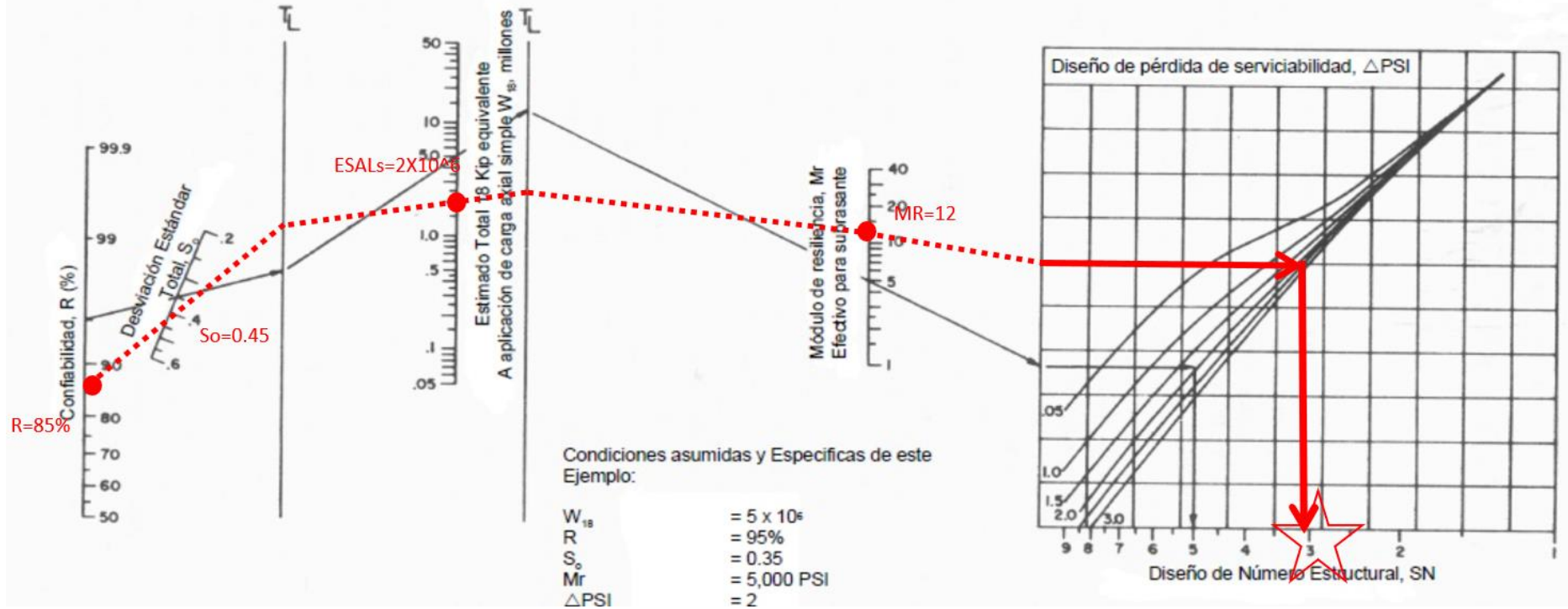
Valores de m recomendados para los Coeficientes de Capa Modificados de Materiales de Base y Subbase no Tratada en Pavimentos Flexibles				
Calidad del Drenaje	% del Tiempo que la Estructura del Pavimento esta Expuesta a Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación			
	Menor a 1	1 - 5	5 - 25	Mayor a 25
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: AASHTO 93

Elaborado por: Diego Alvarez

m1, m2 =	1.00
----------	------

ANEXO 8 Numero estructural para la subrasante.

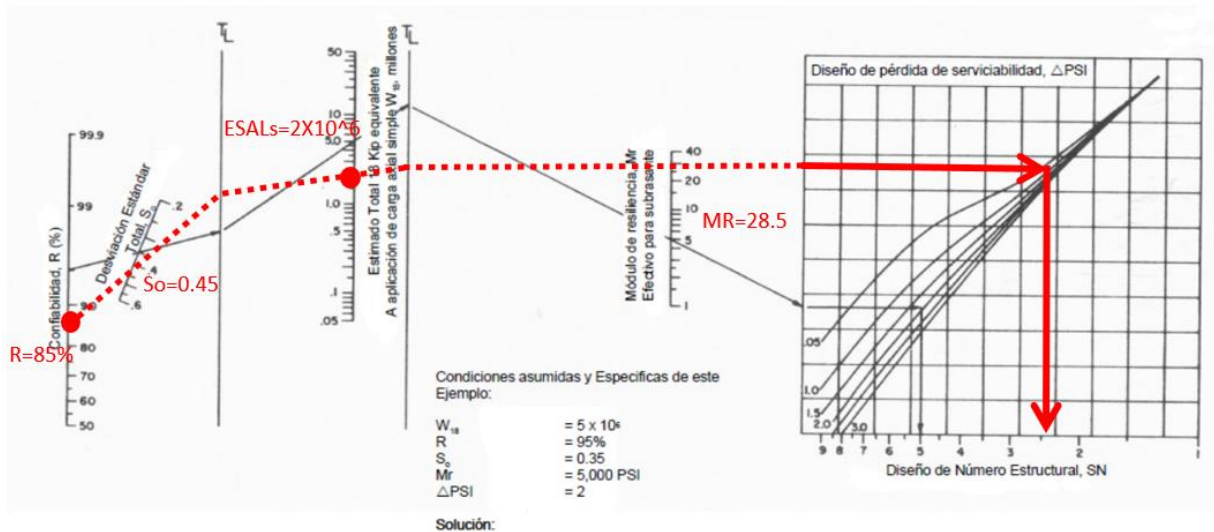


Fuente: AASHTO 93

SN3=	3.01
------	------

ANEXO 9 Numero estructural para la subrasante.

Para la base granular la AASHTO recomienda un CBR de 80%

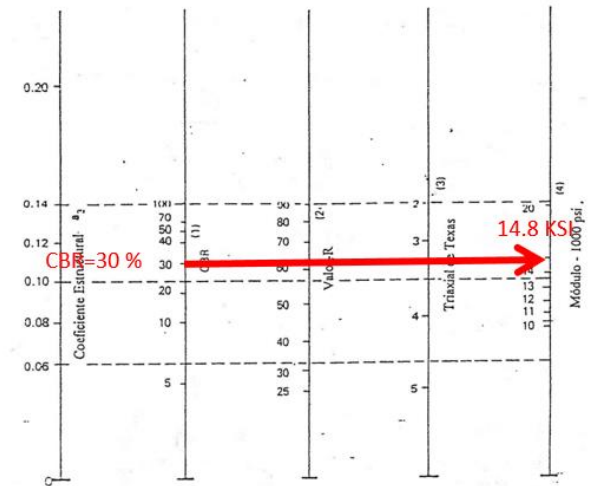
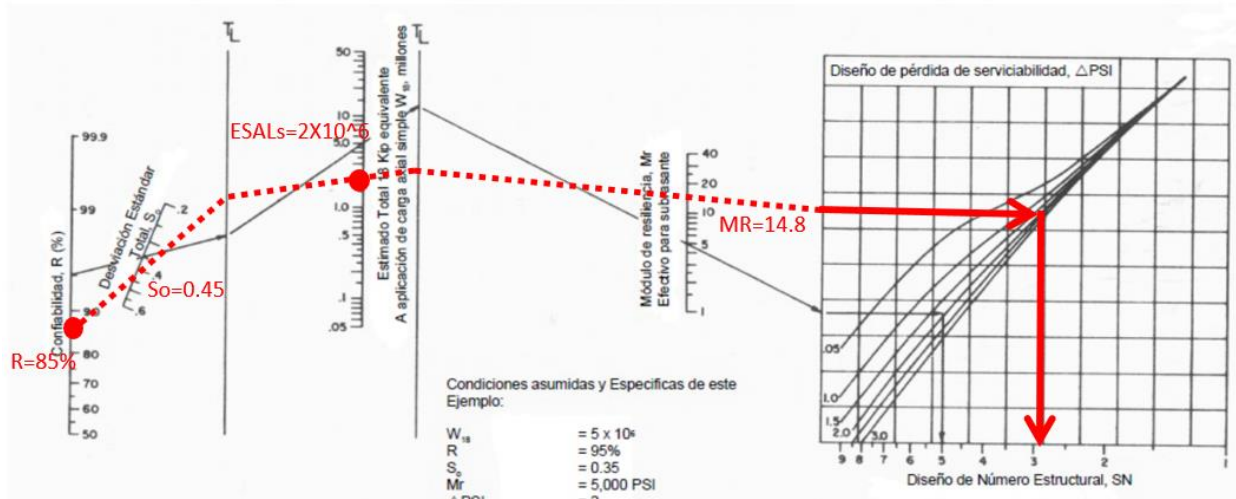


Fuente: AASHTO 93

SN1=	2.4
------	-----

ANEXO 10 Numero estructural para la subrasante.

Para la subbase granular la AASHTO recomienda un CBR de 30%



Fuente: AASHTO 93

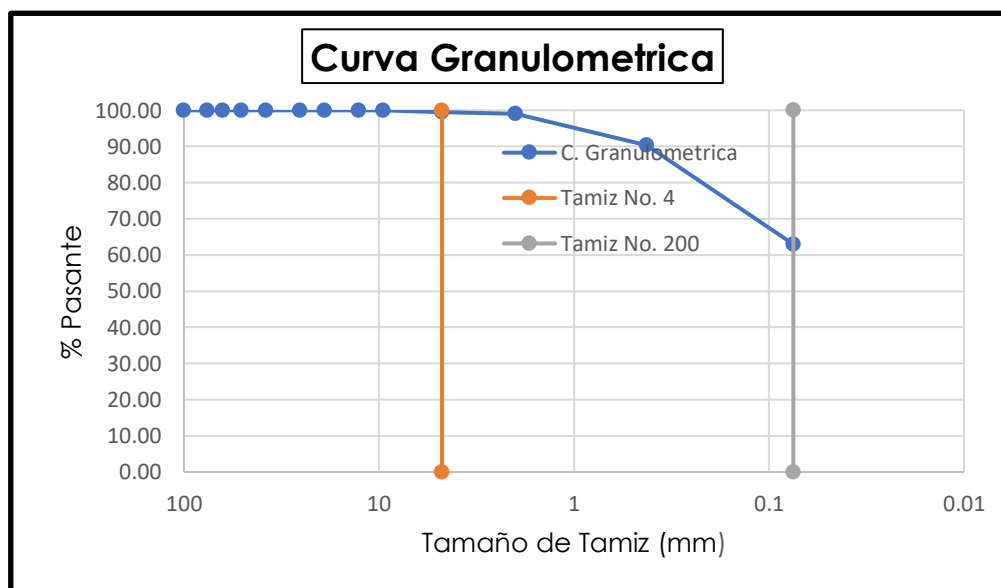
SN2=	2.7
------	-----

ANEXO 11 Contenido de humedad.

PROFUNDIDA:	1.00 - 1.50 m	FECHA:	feb-23		
CONTENIDO DE HUMEDAD					
MUESTRA No.	W	1	2	3	4
RECIPIENTE No.		R45	X50	R73	R59X
Peso del Seco Humedo + Recipiente	gr	84	83.9	84	83
Peso del Suelo Seco + Recipiente	gr	75.1	73.9	74.3	73.2
Peso del Recipiente	gr	9.6	9.6	9.7	9.5
Peso del Agua	gr	8.9	10	9.7	9.8
Peso del Suelo Seco	gr	65.5	64.3	64.6	63.7
Contenido de Humedad	%	13.59	15.55	15.02	15.38
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	14.89				

ANEXO 12 Análisis Granulométrico.

ANALISIS GRANULOMETRICO					
Tamaño Máximo: 4"		Peso Húmedo (gr):		Peso Seco (gr):	
Abertura del Tamiz		Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido %	Porcentaje Retenido Acumulado %	Porcentaje Pasante %
(Pulg)	(mm)				
4"	100	0.0	0.00	0.00	100.00
3"	76.2	0.0	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.5	0.0	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.0	0.00	0.00	100.00
No. 4	4.75	2.7	0.55	0.55	99.45
No. 10	2.00	2.2	0.43	0.98	99.02
No. 40	0.425	43.7	8.74	9.72	90.28
No. 200	0.075	136.6	27.32	37.03	62.97
Fondo		314.8	62.97	100.00	0.00
Total		500.0	100.00		

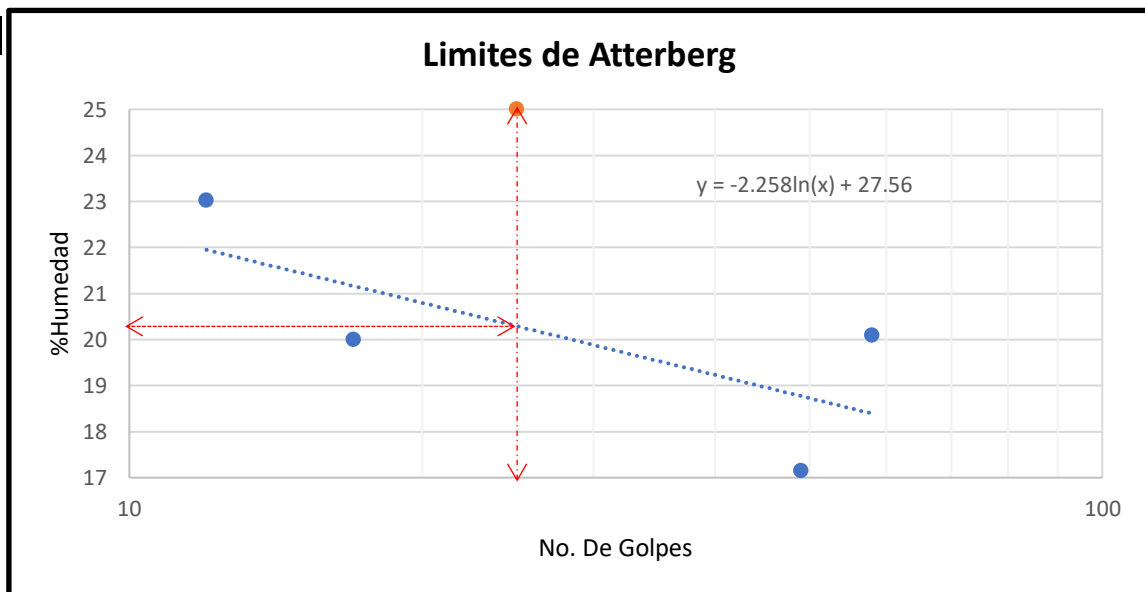
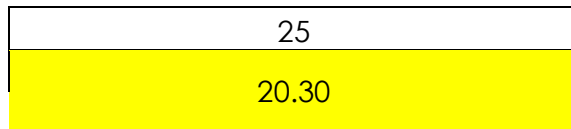


Observación:

PRACTICAMENTE NO EXISTE GRAVA, SUELO CONFORMADO POR ARENA

ANEXO 13 Limites de Atterberg.

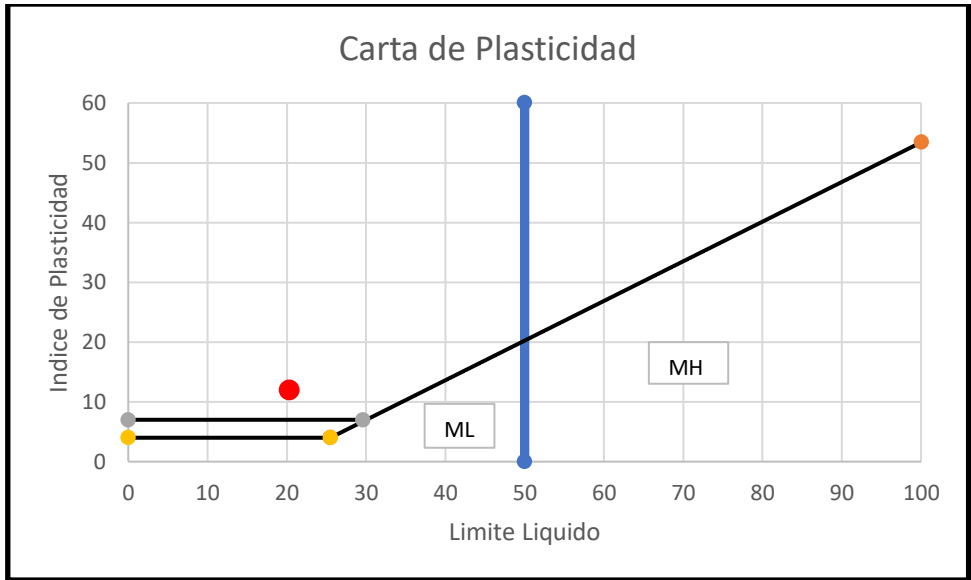
PROFUNDIDA:	1.00 - 1.50 m		FECHA:	feb-23
LIMITE LIQUIDO				
No. De Golpes	58.00	49.00	17.00	12.00
Cod. De Muestra	R117	R22	R77	R515
Peso Recipiente	27.60	32.90	32.50	31.00
Peso S. + Recipiente	24.60	29.50	28.70	27.00
Peso de Recipiente	9.67	9.68	9.70	9.63
% Humedad	20.09	17.15	20.00	23.03
LIMITE PLASTICO				
Cod. De Muestra	R515	R63	R611	R14
Peso H+Resipiente	10.88	11.40	11.41	10.82
Peso S. + recipiente	10.77	11.27	11.23	10.77
Peso de recipiente	9.63	9.65	9.65	9.65
% Humedad	9.65	8.02	11.39	4.46
				Promedio
				8.38



Limite Liquido	20.30
Limite Platico	8.38
Índice de Plastecida	11.92

ANEXO 14 Clasificación de suelos.

PROFUNDIDA:	1.00 - 1.50 M		FECHA:	feb-23	
CLASIFICACION DE SUELOS					
Tamaño Máximo: 4"		Peso Húmedo (gr):		Peso Seco (gr):	
Abertura del Tamiz		Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido %	Porcentaje Retenido Acumulado %	Porcentaje Pasante %
(Pulg)	(mm)				
4"	100	0.0	0.00	0.00	100.00
3"	76.2	0.0	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.5	0.0	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.0	0.00	0.00	100.00
No. 4	4.75	2.7	0.55	0.55	99.45
No. 10	2.00	2.2	0.43	0.98	99.02
No. 40	0.425	43.7	8.74	9.72	90.28
No. 200	0.075	136.6	27.32	37.03	62.97
Fondo		314.8	62.97	100.00	0.00
Total		500.0	100.00		
Limite liquido		20.30		Cu	
Limite Plástico		8.38		D10	
Índice de Plasticidad		11.92		D30	
				D60	
				Línea Vertical	
% Pasa Tamiz No. 200		FINO		LL	
% Pasa Tamiz No. 4		ARENA		IP	
				50	
				50	
				Línea A	
				IP:0.73(LL-20)	
				LL	
				IP	
				25.5	
				4	
				100	
				53.4	
				L. Horizontal Superior	
				LL	
				IP	
				0	
				7	
				29.6	
				7	
				Línea Horizontal	
				0	
				4	
				25.5	
				4	

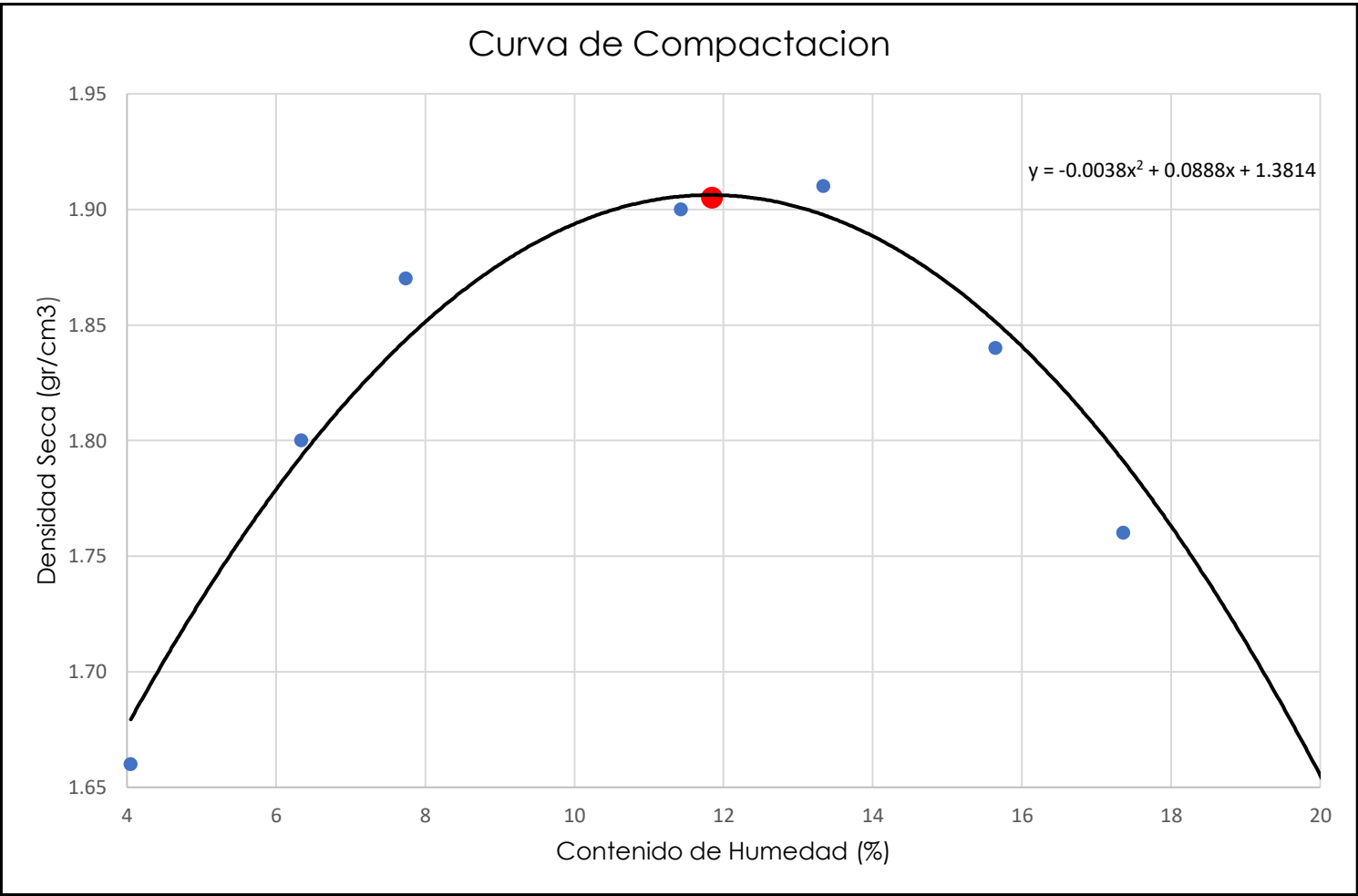


ARENA CON PARTICULAS DE ARCILLA DE
BAJA PLASTICIDAD

ANEXO 15 Proctor modificado.

PROFUNDI DA:		1.00 - 1.50m															
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO																	
(NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)																	
Numero de Golpes:	5 6	N° Cap as:	5	Altura del Molde	11.67 9	Diametro del Molde	15.21 7										
Muestra N°		1	2	3	4	5	6	7	8								
Peso de la muestra	gr	5000	5154	5198	5247	5274	5296	5309	5318								
Volumen del agua	cm3	250	147.26	144.39	141.81	138.79	135.79	132.73	129.71								
% Equivalente de agua		5.00%	8.00%	11.00%	14.00%	17.00%	20.00%	23.00%	26.00%								
Peso del modelo sin collarín	gr	5587	5587	5587	5587	5587	5587	5587	5587								
Peso del molde + suelo húmedo	gr	9269	9646	9849	10088	10192	10111	9976	9816								
Volumen del molde	cm3	2124	2124	2124	2124	2124	2124	2124	2124								
		ARRI BA	ABAJ O	ARRI BA	ABAJ O	ARRI BA	ABAJ O	ARRI BA	ABAJ O	ARRI BA	ABAJ O	ARRI BA	ABAJ O	ARRI BA	ABAJ O	ARRI BA	ABAJ O
N° de Capsula		R71	R5A	X50	R63	R52	R44T	R19Y	R37	R73	R91	K14	R45	R14	R100 X	R21	R30
Peso de capsula	gr	9.60	9.60	9.70	9.60	9.50	9.60	9.60	9.70	9.60	9.50	9.60	9.60	9.70	9.60	9.80	9.70

Capsula + Suelo Húmedo	gr	50.80	50.70	55.30	54.60	52.80	51.20	53.60	53.50	51.00	50.50	51.50	53.50	53.50	53.70	52.50	51.30
Capsula + Suelo Seco	gr	49.10	49.20	52.50	52.00	49.50	48.40	49.00	49.10	46.20	45.60	45.70	47.70	46.90	47.30	45.20	44.30
Peso del Agua	gr	1.70	1.50	2.80	2.60	3.30	2.80	4.60	4.40	4.80	4.90	5.80	5.80	6.60	6.40	7.30	7.00
Peso del Suelo Seco	gr	39.50	39.60	42.80	42.40	40.00	38.80	39.40	39.40	36.60	36.10	36.10	38.10	37.20	37.70	35.40	34.60
Contenido de Humedad	%	4.30	3.79	6.54	6.13	8.25	7.22	11.68	11.17	13.11	13.57	16.07	15.22	17.74	16.98	20.62	20.23
Humedad Promedio	%	4.05		6.34		7.74		11.43		13.34		15.65		17.36		20.43	
Densidad Húmeda	gr/c m3	1.73		1.91		2.01		2.12		2.17		2.13		2.07		1.99	
Densidad Seca	gr/c m3	1.66		1.80		1.87		1.90		1.91		1.84		1.76		1.65	
														Densidad Máxima (gr/cm3)		1.905	
														Humedad Optima (%)		11.85	



ANEXO 16 Calculo del CBR.

CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO ASTM D 1883)

MOLDE N°	1 - 10006484				2 - 10005302				3 - 10006642			
N° DE GOLPES POR CAPAS	56				25				12			
PESO MOLDE (gr)	6185				6160				7391			
ALTURA DE LA MUESTRA Hm (cm)	11.68				11.68				11.68			
DIAMETRO DEL MOLDE D (cm)	15.24				15.24				15.24			
VOLUM MUEST $V=(\pi \cdot D^2/4) \cdot H$	2130.61				2130.61				2130.61			
CONDICIÓN DE MUESTRA	ANTES DE SATURAR		DESPUÉS DE SATURAR		ANTES DE SATURAR		DESPUÉS DE SATURAR		ANTES DE SATURAR		DESPUÉS DE SATURAR	
PESO MUESTRA HUMED + MOLDE (gr)	10595		10655		10232		10492		11234		11491	
PESO MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,410		4,470		4,072		4,332		3,843		4,100	
DENSIDAD HÚMEDA gr/cm ³	2.070		2.098		1.911		2.033		1.804		1.924	
HUMEDAD	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
RECIPIENTE N°	R14	R71	R21	R63	R100X	R73	R30G	R22	R5A	R45	R117	R14
PESO RECIPIENTE gr.	9.6	9.5	9.71	9.67	9.6	9.6	9.66	9.6	9.6	9.6	9.58	9.63
P. MUEST.HUM + REC. gr.	62.1	61.3	64.84	66.34	61.7	61.4	63.3	62.35	63.8	63	66.71	62.76
P. MUEST.SECA + REC. gr.	56.8	56.6	56.79	58.36	56.5	56.6	55.24	54.85	58.4	58.3	57.06	52.92
PESO AGUA gr.	5.3	4.7	8.05	7.98	5.2	4.8	8.06	7.5	5.4	4.7	9.65	9.84
PESO MUESTRA SECA gr.	47.2	47.1	47.08	48.69	46.9	47	45.58	45.25	48.8	48.7	47.48	43.29
CONT. DE HUMEDAD %	11.23	9.98	17.10	16.39	11.09	10.21	17.68	16.57	11.07	9.65	20.32	22.73
HUMEDAD PROMEDIO %	10.605		16.745		10.650		17.125		10.360		21.525	
DENSIDAD SECA gr/cm ³	1.871		1.797		1.727		1.736		1.634		1.583	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA												
MOLDE N°	1 - 10006484				2 - 10005302				3 - 10006642			
PESO MUESTRA HUM + MOLDE DESP. SATURAR (gr.)	10,655				10,492				11491			
PESO MUESTRA HUM + MOLDE ANTES.SATURAR (gr.)	10,595				10,232				11234			
PESO AGUA ABSORBIDA (gr)	60				260				257			
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	0.570				2.540				2.290			
ALTURA DE LA MUESTRA (mm)	116.80				116.80				116.80			

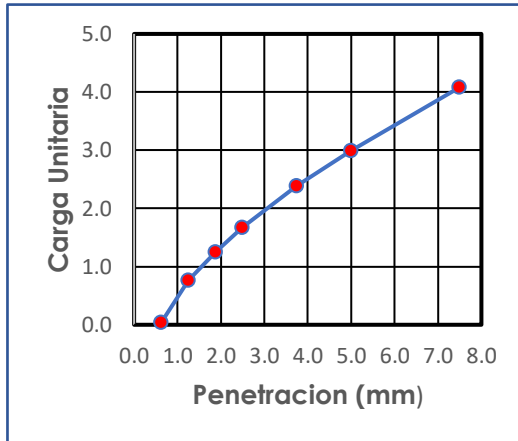
ESPONJAMIENTO		MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	LECT DIAL 1x10 ⁻² mm	CAMBIO LONG. 1x10 ⁻² mm	ESPONJAMIENTO %	LECT DIAL 1x10 ⁻² mm	CAMBIO LONG. 1x10 ⁻² mm	ESPONJAMIENTO %	LECT DIAL 1x10 ⁻² mm	CAMBIO LONG. 1x10 ⁻² mm	ESPONJAMIENTO %
LECT. INICIAL 11/1/2023	0	13	0	0.000	44	0	0.00	55	0	0.00
	1	29.3	16.3	0.140	102.5	58.5	0.50	138.2	83.2	0.71
	2	46.7	33.7	0.289	111	67	0.57	190	91.2	0.78
	3	63.3	50.3	0.431	119	75	0.64	194	112.3	0.96
	4	55	42	0.360	115	71	0.61	192	110.3	0.94

PENETRACIÓN		Area (mm):19.32- (m2):19.32x10(-3)								
PENETRACIÓN mm	CARGAS TIPO kN	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			PRESIÓN (MPa)	CBR % Corregido	CARGAS TIPO KN	PRESIÓN (MPa)	CBR % Correg	CARGAS TIPO KN	PRESIÓN (MPa)	CBR % Correg
0.625	0.076		0.04		0.001	0.00		0.375	0.19	
1.250	1.475		0.76		0.002	0.00		0.457	0.24	
1.875	2.414		1.25		0.08	0.04		0.519	0.27	
2.500	3.24		1.68	24.3	3.174	1.64	23.8	0.582	0.30	4.40
3.750	4.609		2.39		3.972	2.06		0.698	0.36	
5.000	5.781		2.99	29.1	4.52	2.34	22.7	0.809	0.42	4.1
7.500	7.888		4.08		5.379	2.78		1.012	0.52	
10.000	0		0.00		6.037	3.12		1.201	0.62	
12.500	0		0.00		0	0.00		1.384	0.72	

PROFUNDIDA:

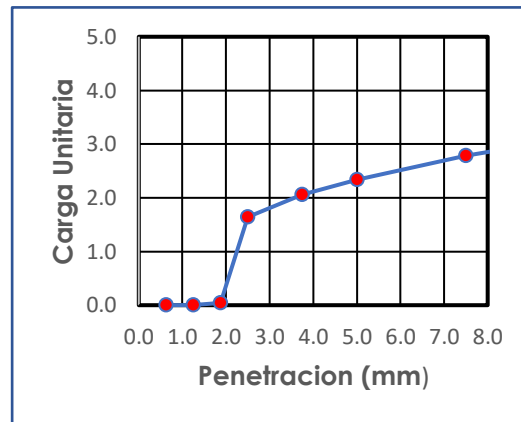
Molde N°: 1
CBR (%): 29.1
para 5.08
 mm. De penetración

Observaciones:
 $CBR_{2,50} =$
 $(Carga\ Unitaria/6.9) * 100$
 $CBR_{5,00} =$
 $(Carga\ Unitaria/10.3) * 100$



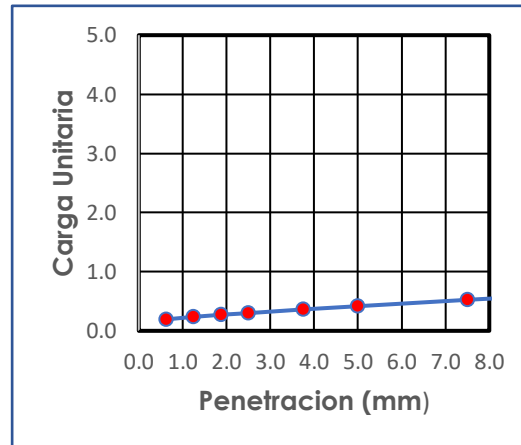
CBR: 1" - 2.5 mm		CBR: 2" - 5 mm	
1.68	24.3	2.99	29.1

Molde N°: 2
CBR (%): 22.7
para 5.08
 mm. De penetración



CBR: 1" - 2.5 mm		CBR: 2" - 5 mm	
1.64	23.8	2.34	22.7

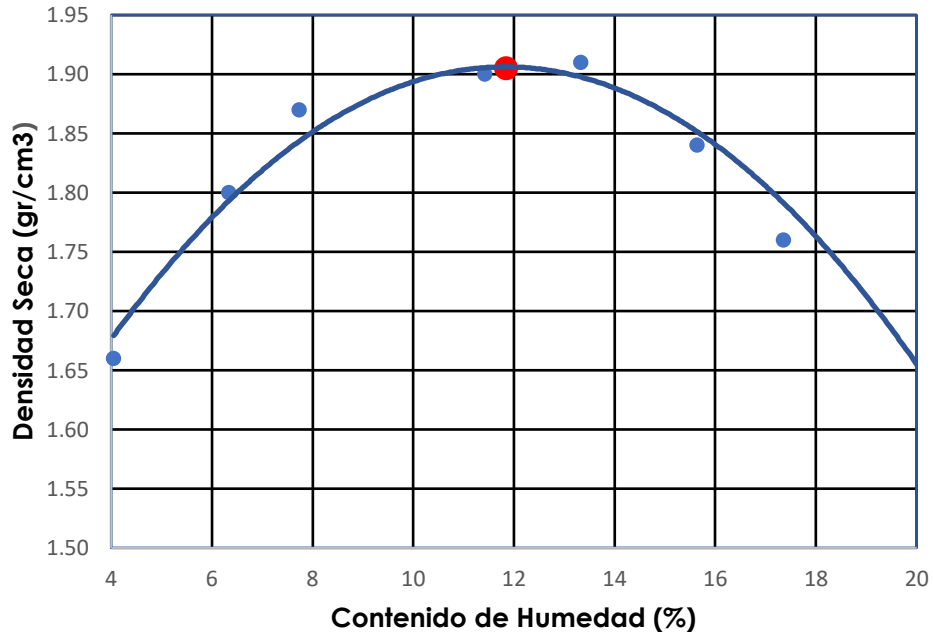
Molde N°: 3
CBR (%): 4.1
para 5.08
 mm. De penetración



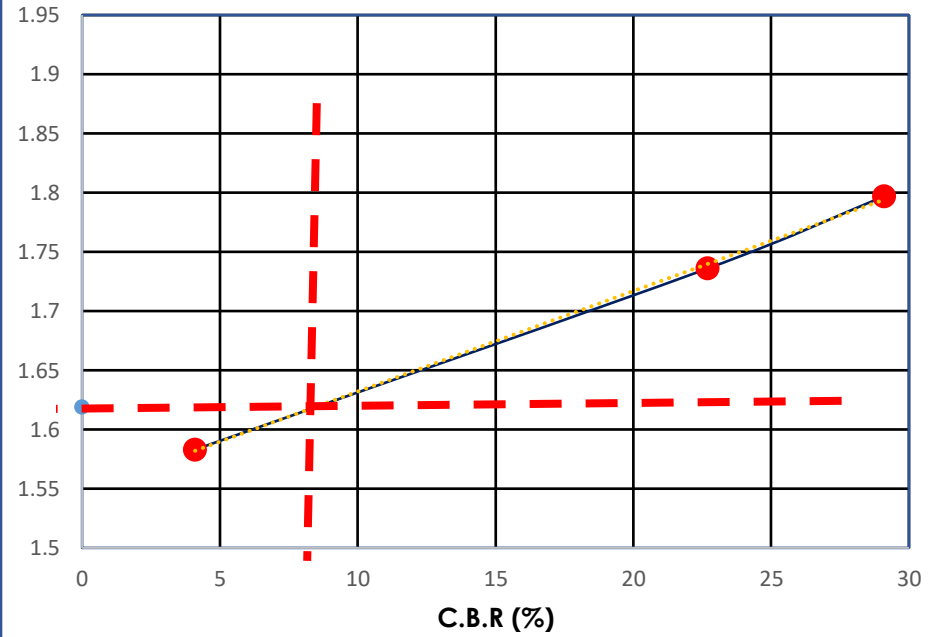
CBR: 1" - 2.5 mm		CBR: 2" - 5 mm	
0.30	4.4	0.42	4.1

PROFUNDIDA: 1.00 -1.50 m

Curva de Compactacion



% C.B.R $y = 0.0085x + 1.5472$



Compactación: %

Densidad= 85%
Dems. Seca Max kg/cm3

Densidad
Máxima: kg/cm3

C.B.R. de
Diseño: %