



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“SOLUCIÓN PARA EL PAVIMENTO DE UN TRAMO DE CARRETERA CON
NIVELES FREÁTICOS ALTOS”**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR: Lugo Iglesias, Pedro Manuel.

Montilla Haddad, Emilio José.

PROFESOR GUÍA: Ing. Delgado, Domingo.

FECHA: Octubre, 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“SOLUCIÓN PARA EL PAVIMENTO DE UN TRAMO DE CARRETERA CON
NIVELES FREÁTICOS ALTOS”**

REALIZADO POR: Lugo Iglesias, Pedro Manuel.

Montilla Haddad, Emilio José.

PROFESOR GUÍA: Ing. Delgado, Domingo.

FECHA: Octubre, 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“SOLUCIÓN PARA EL PAVIMENTO DE UN TRAMO DE CARRETERA CON NIVELES FREÁTICOS ALTOS”

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: _____.

JURADO EXAMINADOR

Firma:

Firma:

Firma:

Nombre: Nancy Tedesco.

Nombre: Roque García.

Nombre: Domingo Delgado.

REALIZADO POR:

Lugo Iglesias, Pedro Manuel.

Montilla Haddad, Emilio José.

PROFESOR GUÍA:

Ing. Delgado, Domingo.

FECHA:

Octubre, 2017

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica Andrés Bello por haber sido nuestra segunda casa en el transcurso de estos 5 años de carrera, en la que la dedicación, el esfuerzo y la disciplina fueron enseñanzas claves para el cumplimiento de una meta tan importante como lo es el presente trabajo. Agradecemos a cada uno de los profesores de la Escuela de Ingeniería Civil que dedican su vida a compartir y generar conocimiento en las aulas de tan respetada universidad.

Al Ingeniero Domingo Delgado por asumir el reto de ser el profesor guía de este trabajo de investigación, dedicar su tiempo y conocimiento para que el resultado final del mismo fuese un trabajo especial de grado de calidad y sirva como precedente para futuras investigaciones relacionadas con el tema dentro y fuera de la universidad. Así como también al jurado examinador que también formaron parte de nuestra formación académica y estuvieron dispuestos a evaluar el presente trabajo investigativo.

Al equipo que conforma el laboratorio de mecánica de suelos de la empresa Amundaray Ingeniería Geotécnica, C. A. por la colaboración prestada en las instalaciones del mismo, y su disposición para aportar conocimiento y herramientas que fuesen necesarios para la realización de los ensayos de suelo requeridos para la investigación.

Por último, pero no menos importante, agradecemos a nuestras familias que nos han apoyado en cada paso de este camino recorrido, su presencia ha sido fundamental para la realización de este trabajo investigativo y a quienes les dedicamos este logro académico y profesional.

RESUMEN

Como requerimiento para obtener el título de Ingeniero Civil, esta investigación busca proponer un diseño de pavimento específico como posible solución a carreteras construidas sobre suelos que presentan niveles freáticos altos, usando como referencia la carretera Boca de Uchire – El Hatillo, ubicada en el Estado Anzoátegui, Venezuela.

Los objetivos están enfocados en la caracterización de fallas, la realización de estudios de tránsito y de tipologías de suelo, para determinar las condiciones actuales de la carretera y diseñar una estructura que se adapte a las condiciones geo-ambientales del sitio.

SUMMARY

As a requirement to obtain the Civil Engineer degree, this research seeks the proposal for a specific pavement design as a possible solution to built roads on soils that have high water tables, using as a reference the road soil of Boca de Uchire - El Hatillo, located in the State of Anzoátegui, Venezuela.

The objectives are focused on the studies of pavement faults, studies of traffic and studies of soil typologies, all of these in order to determine the current conditions of the road, aiming to develop a structure design that suits the geo-environmental conditions of the current place.

RESEÑA HISTÓRICA

La primera vez que el nombre de “Uchire” aparece en la historia de Venezuela es en el año 1599, fecha en la que el Capitán español Juan García Carrasco fundó en la desembocadura del río Uchire al caserío “San Juan de la Laguna de Uchire”. Acción que desencadenó una serie de acontecimientos de los que se derivó lo que hoy se conoce como Sabana de Uchire y Boca de Uchire.

San Juan de la Laguna de Uchire, fue fundado de manera estratégica con el fin de facilitar el paso del ganado vacuno que se movilizaba desde los llanos hasta Cumaná y Araya; sin embargo 30 años después de su fundación sus pobladores decidieron abandonarlo por los continuos azotes de violencia y asaltos de las tribus aborígenes aledañas; siendo el último suceso violento con el que desapareció de manera definitiva el lugar, el liderizado por la cacica Magdalena. Desde ese momento la zona aledaña que hoy conocemos como “Boca de Uchire”, empezó a conocerse como “Sitio de Uchire” o “Asiento de Uchire”.

Tiempo después surgió el pretexto español de defender las salinas que conforman lo que hoy conocemos como “Laguna del Unare” frente a intereses holandeses, y reforzar la localización estratégica del “Sitio de Uchire” como un puerto para el embarque del ganado y cueros; es así como Juan de Urpin decidió fundar “La Nueva Tarragona” en 1638, sin embargo fue abandonada por sus pobladores en 1643, luego de que la historia violenta se repitiera.

No obstante, de esta segunda fundación se debe resaltar un hecho importante que se originó por una confrontación bélica entre Juan de Urpin y holandeses cerca de las salinas. Urpin se propuso inutilizar las salinas construyendo un canal para conducir agua dulce desde el río Unare hasta la salina, logrando de esta manera ensanchar lo que se conocía como la “Laguna de Cariamana” y creando de manera involuntaria lo que hoy se conoce como la “Laguna de Unare”,

de 22 km de longitud por 7 km de ancho, convirtiéndose en una importante fuente de recursos pesqueros y de importancia ecológica por ser reservorio de aves en vías de extinción.

Con el paso del tiempo la laguna siguió extendiéndose hasta lograr que parte de los caños que conforman el Delta de Unare, se incorporen a la laguna siendo hoy los que surten con mayor caudal de agua dulce al gran estuario que hoy se sigue conociendo como la “Laguna de Unare”.

Fuente:

*Álvaro Armas Bellorín
Cronista de la ciudad de Clarines.*

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN/ SUMMARY.....	V
RESEÑA HISTÓRICA.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO I.....	13
1. EL PROBLEMA.....	13
1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.2 Objetivo general.....	14
1.3 Objetivos específicos.....	14
1.4 Justificación de la investigación.....	14
1.5 Limitaciones.....	15
CAPÍTULO II.....	16
2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Antecedentes de la investigación.....	16
2.2 Definición de términos básicos.....	17
2.3 Bases teóricas.....	28
2.4 Hipótesis.....	38
2.5 Variables.....	40

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.....	42
3.1 Nivel de la investigación.....	42
3.2 Diseño de la investigación.....	42
3.3 Población y muestra.....	43
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	45

CAPÍTULO IV.....47

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN.....	47
4.1 Análisis de resultados.....	47
4.2 Conclusiones.....	108

ANEXOS.....111

MEMORIA FOTOGRÁFICA.....131

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS.....141

INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como finalidad proponer una solución de pavimentación para carreteras cuyo terreno de cimentación posea niveles freáticos altos. Se usa como referencia el tramo entre las progresivas 4+760 y 14+900 medidas sentido este-oeste de la vía que conecta a las poblaciones de Boca de Uchire y el Hatillo, estado Anzoátegui, la cual se encuentra entre el Mar Caribe y la Laguna de Unare. Para realizar esta investigación se llevó a cabo una serie de ensayos de suelo tales que permitieran caracterizar el material presente en el terraplén de carretera en estudio e inferir sobre las posibles soluciones que se pudieran generar, tomando en cuenta además, el tránsito que circula por dicha vialidad considerando criterios tales como el del Banco Mundial para determinar el promedio diario de tránsito, así como también las fallas existentes en la capa de rodamiento actual basándose en los conceptos establecidos por el Ingeniero Gustavo Corredor.

A lo largo de la investigación bibliográfica se pudo constatar que los suelos con nivel freático alto poseen mayor compresibilidad, una menor resistencia al esfuerzo cortante, así como también asentamientos no uniformes formados por el movimiento del agua entre los espacios vacíos del suelo que genera a su vez volúmenes de diferente comportamiento del terreno. Existiendo además, entre las principales consecuencias negativas de que un suelo de fundación para una vialidad posea nivel freático alto, la posibilidad de que la carpeta de rodamiento asfáltica se vea deteriorada debido a que se separan las partículas de agregado de la película de asfalto (Rico A. y Del Castillo, H).

Durante la toma de muestras del material de la subrasante del tramo de carretera en estudio a través de la excavación de tres calicatas en las progresivas 9+760, 10+010 y

10+260 medidas de este a oeste se pudo comprobar que el nivel freático se encontraba a una profundidad promedio de un metro, razón por la cual la humedad del terreno en la mayoría del tiempo se encuentra cercana o igual a la de saturación. Además, en el laboratorio con los ensayos realizados tales como: humedad, gravedad específica, granulometría, límites de consistencia, compactación, y soporte de california; se pudo concluir que el material de fundación es un suelo A-2-4 (0) según la clasificación de la AASHTO, lo que significa que es un suelo con características limosas de buena calidad para su utilización como material de subrasante; razón por la que no se puede inferir que la problemática en el tramo de carretera sea generada por el material del suelo de subrasante, sino por el efecto que ocasiona el nivel freático sobre el mismo, ya que genera que el suelo se encuentre con una humedad superior a la óptima de compactación la mayoría del tiempo, logrando así, que exista inestabilidad en el acomodo de las partículas del suelo dando lugar a hundimientos del mismo; falla que se ve incrementada debido a que la carpeta de rodamiento de material asfáltico se encuentra en contacto directo con el terreno de subrasante, lo que ocasiona que al incrementarse el nivel freático ésta entre en contacto con el agua y se generen debilidades en los componentes de la misma.

Por tratarse de una vialidad con bajo volumen de tránsito se emitió una propuesta que se adaptara técnicamente a la zona en estudio, planteando la construcción de un nuevo pavimento, esta vez rígido, sobre la subrasante existente; ya que por tratarse de una losa de concreto, al aumentar los niveles del agua en el suelo estos podrán percolar entre las porosidades del mismo sin generar daños tales como hundimientos o levantamientos

de la losa, además de poseer mayor tiempo de vida útil lo que se puede traducir en menor costo de mantenimiento.

Capítulo I

1. El problema

¿Qué consecuencias pueden generar los niveles freáticos altos del suelo presentes en el terraplén base de una carretera en el pavimento de una vía?

1.1. Planteamiento del problema.

En zonas con suelos de nivel freático alto, la implementación y construcción de las carreteras con un diseño de pavimento que no se adapta a las condiciones de tránsito y geo-ambientales, ha traído como consecuencia el deterioro avanzado de las mismas en cortos períodos.

Para este estudio se tomará como referencia un tramo comprendido entre las progresivas 4+760 y 14+900, medidas de este a oeste de la carreta Boca de Uchire – El Hatillo (estado Anzoátegui - Venezuela), la cual por limitar al norte con el Mar Caribe y al sur con la Laguna de Unare, el terraplén de la misma se satura produciéndose en éste asentamientos y fallas de borde, motivado posiblemente al nivel freático que presenta el suelo en la pista norte.



1.2. Objetivo general.

Proponer una solución a la problemática en el pavimento que presenta un tramo de carretera (progresiva 4+760 a la 14+900, sentido este-oeste) comprendido entre las poblaciones de Boca de Uchire y el Hatillo (estado Anzoátegui).

1.3. Objetivos específicos.

- Caracterizar la tipología de suelo del cuerpo de la carretera, en el tramo estudiado.
- Evaluar las condiciones del pavimento con base en la caracterización de fallas.
- Desarrollar estudios de cargas actuantes usando el Método de Cargas.
- Establecer propuesta de diseño de pavimento que mejor se adapte a las condiciones geo-ambientales del suelo.

1.4. Justificación de la investigación.

El interés de desarrollar este trabajo especial de grado surge de la inquietud presente en sus autores por generar recomendaciones que apunten a la solución de la problemática existente en el pavimento de la carretera que comunica la población de Boca de Uchire con el poblado de El Hatillo, la cual tiene un alto grado de deterioro al punto de imposibilitar el tránsito de sus habitantes por dicha carretera; por lo que, basándonos en los principios básicos de la Ingeniería Civil en los que se contempla generar soluciones para mejorar las condiciones de vida de una determinada sociedad, surge la iniciativa de realizar esta investigación.

El principal problema de la vialidad a estudiar se debe al nivel freático alto en el material de la subrasante, el cual genera un deterioro acelerado de la carpeta de

rodamiento. Esto debido a que la presencia de niveles altos de agua en el terraplén de una vialidad genera problemas de inestabilidad, los cuales pueden afectar de forma significativa la carpeta de rodamiento de la misma, es por esto que en nuestra investigación nos enfocaremos en realizar un diseño de pavimentos que se adapte a las condiciones de saturación del suelo mediante la caracterización de las fallas existentes en la vía actual y del suelo presente en el terraplén o subrasante de dicha vía.

1.5. Limitaciones.

- Debido a los altos costos de uso de equipo mecánico para conteo vehicular se aplicará un método manual estandarizado.
- Considerando que la longitud aproximada de la carretera desde Boca de Uchire hasta el poblado de El Hatillo es de 21,6 kilómetros, para la investigación se tomará en cuenta un tramo de 0,5 kilómetros entre las progresivas 9+760 y 10+260 situado entre los dos puentes que posee la misma. (Ver mapa en anexo número 1)
- Los ensayos se llevarán a cabo en el laboratorio de mecánica de suelos de la empresa Amundaray Ingeniería Geotécnica en Charallave, estado Miranda.
- El diseño de pavimento se realizará con base a la norma AASHTO 1993.
- Para el estudio de suelo a realizar se harán calicatas en tres puntos del cuerpo de la carretera, en las progresivas 9+760, 10+010 y 10+260 sentido este-oeste.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación.

En la búsqueda de cumplir con los objetivos planteados para dar solución al problema de la investigación, se llevó a cabo la consulta de trabajos especiales de grado e investigaciones científicas cuya rama de la Ingeniería Civil abordada fuese similar a la del presente trabajo (pavimentos/suelos). Dentro de esta búsqueda de información enriquecedora para la presente investigación se eligieron los siguientes trabajos especiales de grado e investigaciones, los cuales sirven como antecedentes y aporte teórico-práctico.

Arocha, K. y Mendoza, C. (2009) presentan su trabajo especial de grado titulado *“Determinación de parámetros para rehabilitación de pavimento. Autopista Regional del Centro. Progresiva 26+000 a 31+000 (Distribuidor Los Totumos)”*, en el que se estudia dentro de sus objetivos la determinación de las propiedades del material del suelo subrasante y del número de ejes equivalentes actuantes, siendo esto de interés para la realización de la presente investigación.

Alfaro, J. y Porto, E. (2010) en su trabajo especial de grado titulado *“Predicción del contenido de humedad de equilibrio en terrenos de fundación al sur del Lago de Valencia para aumentar la eficiencia de los diseños de pavimentos”*, plantean establecer una correlación de métodos de determinación y comparación de la humedad de equilibrio de los suelos, la cual es de fundamental importancia en obras de vialidad.

Brito, H. (2012) presenta su trabajo especial de grado con el título *“Metodología para la investigación de alternativas de pavimentación para vías de bajo*

volumen de tránsito” trazándose como objetivo general generar “(...) un análisis del estado de conocimiento del diseño de pavimentos para vías de bajo volumen de tránsito.” En esta investigación se obtuvo como resultado que en las vías de bajo volumen de tránsito no se cuenta con un detalle de los conteos vehiculares y que además existe el método del Dr. Jugo, en el cual se comprobó que es de gran utilidad para poder estimar los valores de tráfico necesarios para realizar el diseño de pavimentos.

Nieto, J. y Velásquez, O. (2013) por su parte, presentan una guía titulada “*Diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.*” Siendo esta guía de gran utilidad, debido a que el trecho a estudiar de la carretera escogida es un tramo cuyo volumen de tránsito es bajo, estipulando cómo debe realizarse la determinación de los ejes equivalentes actuantes para dicho tipo de vialidad.

Ing. Corredor, G. e Ing. Corros, M. (2010) presentan su ponencia titulada “*Evaluación de Pavimentos*” presentada en Managua, Nicaragua; para dictar la “Maestría en vías terrestres, módulo III, diseño de pavimentos I”. En la que se clasifican los tipos de fallas que pueden existir en el pavimento de una vialidad, incluyendo explicaciones e imágenes, siendo de gran ventaja para la identificación de fallas en la vía estudiada.

2.2. Definición de términos básicos.

2.2.1. Mecánica de Suelos.

Según Crespo, C. hace referencia a la definición de mecánica de suelos dada por el Dr. Karl von Terzaghi en su publicación “*Mecánica de suelos y cimentaciones*” (2004), la cual la conceptualiza “(...) como la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones

no consolidadas de partículas sólidas, producto de la desintegración química y mecánica de las rocas. (...)” (p.17)

2.2.2. Suelo.

Crespo, C. (2004) en la publicación citada anteriormente, también hace referencia al concepto de suelo dado por el Dr. Alfred R. Jumikis, en la cual lo define “(...) como sedimentos no consolidados y depósitos de partículas sólidas derivadas de la desintegración de las rocas.” (p.18)

Así mismo, Rico, A. y Del Castillo, H. definen el término suelo, en su publicación “*La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*” (1976), como “(...) conjuntos de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de las rocas preexistentes. (...)” (p.18)

2.2.3. Meteorización física.

En su libro “*Mecánica de Suelos*” (?) Berry, P. y Reid, D. definen meteorización física como el “(...) proceso de fragmentación física o desintegración de la masa de roca.” (p.2)

2.2.4. Meteorización química.

Berry, P. y Reid, D. (?), definen en la publicación antes mencionada el término meteorización química como el “(...) proceso de descomposición química de algunos o de todos los minerales que constituyen la masa rocosa.” (p.2)

2.2.5. Gravas.

De acuerdo a Crespo, C. (2004), en la publicación ya citada hace referencia al término como

(...) acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas. (...) Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7,62 cm (3") hasta 2,0 mm. (p.21)

2.2.6. Arenas.

De la misma manera, en su publicación Crespo, C. (2004) se refiere a este término como

(...) nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2,0 mm y 0,05 mm de diámetro.

El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. (...) Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea. (p.22)

2.2.7. Limos

El término es definido por Crespo, C. (2004) como

(...) suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo *inorgánico* como el producido en canteras, o limo *orgánico* como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El

diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0,05 mm y 0,005 mm. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. Su color varía desde gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar. (p.22)

2.2.8. Arcillas

Según Crespo, C. (2004) define las arcillas como

(...) partículas sólidas con diámetro menor de 0,005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.(...) La estructura de estos minerales es, generalmente, cristalina y complicada, y sus átomos están dispuestos en forma laminar.(...) En general, las arcillas, ya sean caoliníticas, montmoriloníticas o ílíticas (...), son plásticas, se contraen al secarse, presentan marcada cohesión según su humedad, son compresibles y al aplicárseles una carga en su superficie se comprimen lentamente.(...) la resistencia perdida por el remoldeo se recupera parcialmente con el tiempo.(...) Se puede decir que un contenido mínimo del 15% de arcilla en un suelo le dará a este las propiedades de la arcilla. (Pp.22-25)

2.2.9. Suelos cohesivos.

Siguiendo la idea de Crespo, C. (2004) en su ya citada publicación, se define suelo cohesivo como “(...) los que poseen cohesión, es decir, la propiedad de atracción intermolecular, como las arcillas. (...)” (p.26)

2.2.10. Suelos no cohesivos.

Haciendo referencia a Crespo, C. (2004) el término se define como “(...) los formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava.” (p.26)

2.2.11. Plasticidad.

Según Crespo, C. (2004) en su publicación, la define como “(...) la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. (...) Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg”. (p.69)

2.2.12. Suelos gruesos.

Crespo, C. (2004) establece que

En los suelos gruesos se tienen las gravas (G) y las arenas (S) de tal modo que un suelo pertenece al grupo de las gravas (G) si más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No.4. (...) (p.92)

2.2.13. Suelos finos.

El sistema unificado de clasificación de suelos considera los suelos finos (limos y arcillas) agrupados en tres grupos si el límite líquido es menor de 50%, de igual manera los considera agrupados en tres grupos para límite líquido mayor de 50% y en un grupo si es un suelo altamente orgánico. (Crespo, C., 2004)

2.2.14. Terreno de cimentación.

Rico, A. y Del Castillo, H. (1976), en su libro titulado “*La ingeniería de los suelos en las vías terrestres*” ya citado anteriormente, establecen que

(...) se entiende por terreno de cimentación la parte de la corteza terrestre en que se apoya la estructura de la obra vial

y que es afectada por la misma; su función es soportar a dicha obra vial en condiciones razonables de resistencia y deformación. (p.113)

2.2.15. Prueba de Proctor.

Según Crespo, C. (2004), “La prueba de Proctor se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad (...).” (p.102)

2.2.16. Pavimento.

Corredor, G., en su publicación titulada “*Apuntes de Pavimentos Volumen I*” (2004), define pavimento según la Organización de los Estados Americanos como

La superestructura de una vía, construida sobre la subrasante, y compuesta normalmente por la sub-base, la base y la capa de rodamiento, cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir los esfuerzos al terreno, distribuyéndolos en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales, así como proveer una superficie lisa y resistente para los efectos del tránsito. (p. 1-1)

El autor también presenta la siguiente “definición funcional” de pavimento, establecida como “La parte superior de una carretera, pista de aterrizaje, o estacionamiento cuyo objetivo es servir al tráfico de una manera segura, cómoda, eficiente, permanente y económica”. (p.1-1)

2.2.17. Diseño de Pavimentos.

Siguiendo con Corredor, G. (2004) en su publicación antes citada presenta la siguiente definición de diseño de pavimentos, siendo este

(...) el proceso de determinación de una combinación de tipos de materiales, y espesores de capas construidas con tales materiales, que garanticen tanto el comportamiento estructural de su conjunto, cuando es sometido a los efectos impuestos por las variables actuantes sobre esta estructura, como el cumplimiento de las funciones para las cuales ha sido diseñado. (p. 1-1)

También señala el autor que el diseño de pavimentos presenta una serie de características, tales como:

- De desarrollo reciente, considerando que muchos otros diseños de la ingeniería tienen su inicio en conjunto con el desarrollo de las concentraciones del ser humano en el mundo, éste tiene su inicio en 1945.
- Es dinámico, debido a que está en constante actualización gracias a la producción de nuevos datos de campo y de laboratorio.
- Es atípico dentro de todos los diseños, ya que este tipo de diseño contempla la falla del mismo en un momento determinado, siendo prácticamente la única estructura diseñada bajo dicho criterio;
- Es diseñado a futuro, debido a que es un diseño que toma en consideración el tiempo, diseñando desde el presente hasta un número de años determinado.
- No es un diseño uniforme, es crítico, presenta incidencia alta en la economía, diariamente afecta la vida del individuo, es requerido el uso de mucho criterio.

2.2.18. Sub-rasante.

Representa los últimos centímetros en corte o en relleno de un movimiento de tierras, y tiene como finalidad servir de soporte a la estructura del pavimento siendo ésta capaz de soportar las cargas ejercidas sobre él y reducir las mismas, siendo importante destacar que la sub-rasante forma parte del pavimento. (Corredor. G, 2004).

2.2.19. Sub-base.

Siguiendo con Corredor, G. (2004), la define como la “parte de la estructura del pavimento construida directamente sobre la sub-rasante, y que sirve de soporte a la base”. (p.1-5)

2.2.20. Base.

Ubicada sobre la sub-base o sub-rasante de la vía, es la capa que se encuentra por debajo de la capa de rodamiento es decir sobre ella se construye la misma. La base está constituida por agregados y/o suelos y distribuye las cargas generadas por el paso de los vehículos. (Corredor, G., 2004)

2.2.21. Capa de Rodamiento.

Conformada por una o más capas, es la capa superior del pavimento cuya función principal es la de soportar directamente el tránsito. (Corredor. G., 2004)

2.2.22. Tránsito.

De la misma manera Corredor, G. (2004) en su libro ya citado define tránsito como “Vehículos de todo tipo, con sus respectivas cargas, considerados aisladamente o en conjunto, que utilizan cualquier vía”. (p. 1-5)

2.2.24. Unidades de Diseño.

Definidas por Corredor, G. (2004) como “(...) tramos de la vía que presentan condiciones similares de topografía, drenaje, clima, tráfico esperado, suelos existentes, y materiales de construcción.” (p.1-7)

2.2.25. Volumen de Tránsito.

Corredor, G. (2004) según su publicación antes citada lo define como el “Número de vehículos que pasan por una sección dada de un canal o vía, durante un período determinado.” (p. 2-2)

2.2.26. Promedio Diario de Tránsito (PDT).

Definido por Corredor, G. (2004) como “volumen promedio de tránsito en veinticuatro (24) horas, obtenido al dividir el volumen total durante un determinado tiempo, generalmente un (1) año, por el número de días del mismo período”. (p.2-2)

2.2.27. Tasa de Crecimiento (TC).

Se expresa en porcentaje, y se define como el incremento existente anual del volumen de tránsito en una vía. (Corredor, G., 2004)

2.2.28. Composición del Tránsito.

Para Corredor, G. (2004), se define como “(...) la relación porcentual entre el volumen de tránsito correspondiente a cada diferente tipo de vehículos, expresado en función del volumen de tránsito total.”(p. 2-2)

2.2.29. Vehículos Pesados.

De la misma manera Corredor, G. (2004) define a los vehículos pesados como “(...) todos los autobuses y camiones, con no menos de seis ruedas y/o tres o más ejes

individuales (eje trasero con cuatro ruedas, en el caso de vehículos de dos ejes). (...)” (p. 2-2)

2.2.30. *Período de Diseño.*

Definido para Corredor, G. (2004) como “(...) el número de años para el cual se diseña específicamente el pavimento; generalmente varía entre los ocho (8) y veinte (20) años, dependiendo del tipo de vía. (...)” (p. 2-4)

2.2.31. *Tránsito Balanceado.*

De acuerdo a Corredor, G. (2004) en su ponencia, “se denomina así cuando la composición, volumen e intensidad de carga en una vía es similar en ambas direcciones.” (p. 2-30)

2.2.32. *Canal de Diseño.*

Corredor, G. (2004) señala lo siguiente “es aquel canal de una vía que estará sometido a las condiciones más severas de carga y por lo tanto será el que controle el diseño del pavimento. (...) En una vía de varios canales, el Canal de Diseño corresponderá, normalmente, al canal de circulación lenta del sentido más cargado (...)”. (p. 2-30)

2.2.33. *Factor Camión.*

El término es definido por Corredor, G. (2004) como aquel que

Es igual al número de cargas equivalentes promedio por camión, y se obtiene dividiendo el valor obtenido al sumar el total de cargas equivalentes de cada camión, de un número dado de camiones que circulan por una sección de carretera, entre el número total de camiones considerados en la sumatoria de los ejes equivalentes. (p. 2-35)

2.2.34. Factor de distribución por sentido (fds).

Siguiendo con Corredor, G. (2004) es definido como aquel que “permite cuantificar la fracción del total del tránsito que circulará en el sentido de diseño, y sus valores son los indicados en la Tabla 9”. (p. 2-36)

Figura 2.1. Valores del factor distribución por sentido.

Modo de medición del PDT	Valor del fds
En ambos sentidos	0,50
Por sentido de circulación	1,00

2.2.35. Factor de utilización de canal (fuc).

El autor antes mencionado también señala que el factor de utilización de canal

(...) permite asignar al canal de diseño, la fracción del total de vehículos que circulará por este canal, y su valor se selecciona de acuerdo a lo indicado en la Tabla 10, la cual es función de la “geometría” de la vía y del volumen de tránsito total por sentido de circulación. (p. 2-36)

2.2.36. Factor de Crecimiento.

Valor utilizado para determinar las cargas equivalentes acumuladas obtenido a partir del crecimiento del volumen de tránsito en el período de diseño escogido. (Corredor, G., 2004)

2.2.37. Concreto hidráulico.

Es una mezcla homogénea de arena, agregados naturales o artificiales, cemento, agua y en ocasiones aditivos, constituyendo el material de mayor uso en la industria de la construcción actualmente, esto debido a que es altamente resistente, su

período de duración es prolongado y posee facilidades tales como su rápida producción y economía. (Según la página web tecnológica del concreto).

2.2.38. Pavimento flexible.

Según el Ing. Montejo, A. en su libro titulado “*Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*” (2002), los pavimentos flexibles “(...) están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base.”

2.2.39. Pavimento semi-rígido.

El autor antes citado también hace referencia a que el pavimento semi-rígido “(...) guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos.”

2.2.40. Pavimento rígido

El Ing. Montejo, A. (2002) en su publicación también define un pavimento rígido como “(...) aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido.”

2.3. Bases teóricas.

2.3.1. Suelos.

Los suelos están formados por conjuntos de partículas minerales, producidas por la desintegración de rocas preexistentes de forma mecánica o también por la descomposición química de las mismas. (Rico y Del Castillo, 1976).

2.3.3. Deformación del suelo.

En su libro titulado “*Mecánica de Suelos*” (2010) Lambe y Whitman establecen lo siguiente

(...) El tipo más habitual de deformación es de naturaleza elástica o plástica en las inmediaciones del punto de contacto.
(...) [Por lo que] la deformación de una masa de suelo viene controlada por las interacciones entre partículas individuales, especialmente por el deslizamiento entre las mismas. (...) el suelo es intrínsecamente un sistema de varias fases, formado por una fase mineral denominada esqueleto mineral más una fase fluida o fluido intersticial. (...) los elementos de la fase intersticial influyen en la naturaleza de las superficies minerales, por tanto, afectan a los procesos de transmisión de fuerzas en los puntos de contacto entre partículas. (...) el agua puede circular a través del suelo ejerciendo un efecto sobre el esqueleto mineral que modifica la magnitud de las fuerzas en los puntos de contacto entre partículas e influye sobre la resistencia del suelo a la compresión y al esfuerzo cortante. (pp. 31-33)

2.3.4. Tamaño y forma de las partículas del suelo.

En su libro “*Mecánica de Suelos*” (?) Berry, P. y Reid, D. aseguran que

El tamaño de las partículas en un depósito de suelo tiene una influencia fundamental en las propiedades y en el comportamiento ingenieril del depósito, por tanto las partículas de un suelo se describen en función de su tamaño, utilizando términos tales como grava, arena, limo o arcilla.
(...) (p.3)

Además afirman que

Los procesos de abrasión asociados con la meteorización física son las que producen gran parte de las partículas de tamaño de limo.

La mayor parte de las partículas de tamaño de arcilla están compuestas por minerales de arcilla que han sido formados por meteorización química (...) y no presentan la misma composición mineralógica que la roca madre. (...) (p. 4)

2.3.5. Tipos de suelos.

Según el origen de sus elementos, los suelos pueden dividirse en dos grandes grupos: los suelos inorgánicos (originados debido a la meteorización física y/o química de las rocas) y suelos orgánicos (formados in situ normalmente por humus o materia en proceso de descomposición). (Crespo, C., 2004).

Siguiendo con la idea de este mismo autor, dentro de los suelos inorgánicos tenemos: suelos residuales (originados producto del interperismo *in situ*), suelos transportados (caso contrario al suelo residual).

2.3.6. Granulometría de los suelos.

Proceso en el cual se divide el suelo en varias fracciones, seleccionadas por el tamaño de las partículas que lo componen. El tamaño de las partículas de cada fracción se caracteriza por encontrarse entre un tamaño máximo y un tamaño mínimo, de tal forma de que el tamaño mínimo de la fracción es el máximo de la fracción que le sigue. Por medio del uso de mallas se logra la separación del suelo en fracciones, cuando el suelo permite el cribado, sin embargo en suelos de grano pequeño se deben establecer métodos más complicados para separar las partículas. Del análisis granulométrico podemos inferir

si un suelo es bien gradado o mal gradado, compactándose mejor los suelos bien gradados respecto a los mal gradados. (Rico y Del Castillo, 1976).

2.3.7. Límites de Atterberg.

Lambe y Whitman (2010) en su texto citado anteriormente, contemplan que

Los límites se basan en el concepto de que un suelo de grano fino solamente puede existir en cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, pasando al añadir agua a los estados semisólido, plástico y finalmente líquido (...). Los contenidos de humedad y los puntos de transición de unos estados a otros se denominan límite de retracción o contracción, límite plástico y límite líquido. (...)

El límite líquido se determina midiendo la humedad y el número de golpes necesarios para cerrar una determinada longitud de una ranura de un determinado ancho mediante un aparato normalizado. El límite plástico se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a desmoronarse pequeños cilindros de suelo de 3 mm de diámetro. El límite de retracción se define como la humedad presente al haber añadido agua suficiente para llenar todos los huecos de una pastilla de suelo seca. (...) (p.45)

2.3.8. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Rico, A. y Del Castillo, H. (1976), en su libro titulado “*La ingeniería de los suelos en las vías terrestres*” indican que

La base del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es la Carta de Plasticidad, resultado de una investigación realizada por A. Casagrande en el laboratorio (...). En esta

investigación se vio que, si se sitúan los suelos en un sistema coordinado que tenga un Límite Líquido en el eje de las abscisas y al Índice Plástico en el de las ordenadas, su agrupamiento no ocurre al azar sino que se agrupan de manera que en cada zona de la carta se sitúan los suelos con características de plasticidad y propiedades mecánicas e hidráulicas cualitativamente definidas; del mismo modo que los suelos vecinos poseen propiedades similares, los alejados las tienen diferentes.(...) Casagrande pudo establecer en la gráfica fronteras que separan a los materiales finos en diferentes grupos de propiedades afines (líneas A y B). (...)

El sistema unificado abarca tanto a los suelos gruesos como a los finos, distinguiéndolos por el cribado a través de la malla 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. (...) (p.95)

2.3.9. *El agua en el terreno de cimentación.*

Rico, A. y Del Castillo, H. (1976), en su libro ya citado indican que

Del agua que cae sobre el terreno natural en el lugar en que se construirá una vía terrestre, parte escurre por la superficie, parte se infiltra en él y parte se evapora. (...) [El agua] que se infiltra a través del suelo, lo penetra hasta ser detenida por una capa impermeable y satura la zona subyacente a esa capa formando el nivel freático, que se mantendrá a un nivel más o menos constante en tanto no haya una modificación substancial en el régimen hidráulico de la zona. Cuando el agua freática aflora o es muy poco profunda, da lugar a terrenos pantanosos. Cuando el agua freática está a relativa

profundidad, pero el terreno sobre ella es fino y con potencial capilar elevado, aquella puede ascender a importantes alturas y puede llegar a perjudicar a las terracerías y a los pavimentos. (...) (p.126)

Además los autores mencionan en el mismo texto, que

(...) los efectos principales a que dan lugar los cambios en el agua freática y capilar dentro del terreno de cimentación [son los siguientes;] (...) [el primero se da cuando ocurre un cambio en] el contenido de agua de los suelos cambian sus propiedades mecánicas más importantes, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, que disminuye notablemente en suelos arcillosos o con apreciable contenido de finos cuando aquel aumenta y la compresibilidad, que crece cuando el suelo fino adquiere agua. (...) lo anterior se refleja en los asentamientos producidos en los terraplenes, (...) en las deformaciones que puede sufrir la capa subrasante, etc. [El segundo efecto se lleva a cabo cuando ocurren] (...) movimientos y variaciones en el agua freática [ya que] (...) sus efectos no son nunca uniformes, por lo que producen áreas de diferentes comportamientos en el terreno de cimentación (...) [también] los cambios en contenidos de agua propician cambios de volumen perjudiciales en suelos expansivos. (...) [Por último] la acción del agua en el pavimento puede producir efectos destructivos diferentes de los asociados a los cambios de volumen o de resistencia de los suelos, tales como el bombeo o la separación de la película de asfalto de las partículas de agregado en las carpetas o en las bases asfálticas. (...) Cuando se coloca un

terraplén sobre el terreno natural se modifica el régimen hidráulico, el sentido de que se impide la evaporación del agua en un área que antes era de libre exposición; por esta causa el nivel freático tenderá siempre a ascender en el terreno natural bajo los terraplenes. (p. 126-127)

2.3.10. Tipos de pavimentos.

Corredor, G. (2004), señala que los pavimentos se dividen en dos tipos: pavimentos flexibles y pavimentos rígidos. Definiendo a los pavimentos flexibles como “(...) aquel cuya superficie de rodamiento está constituida por una mezcla asfáltica” (p. 1-3) estableciendo además que dentro de las principales características de los pavimentos flexibles se encuentra que debido a las capacidades de aceptación y distribución de cargas de las capas que conforman la estructura del pavimento estas proporcionan la capacidad estructural del mismo.

También se señala que las variaciones por muy pequeñas que sean, en el suelo de fundación del pavimento, son de gran incidencia en la capacidad estructural del mismo. Además el autor define a los pavimentos rígidos como “(...) aquel que distribuye la carga sobre un área relativamente grande del suelo por la rigidez y alto módulo de elasticidad de sus componentes; una gran parte de la capacidad estructural la proporciona la capa superior”. (p. 1-3)

2.3.11. Factores que influyen en el diseño de pavimentos.

El diseño de pavimentos se desarrolla en dos grandes etapas, la primera etapa contempla la cuantificación del tránsito junto a la caracterización del material de fundación de la estructura del pavimento y además las mezclas que conformarán el pavimento; la segunda etapa se lleva a cabo en simultáneo de la antes mencionadas

contemplando esta la determinación de los espesores de las capas del pavimento. (Corredor, G., 2004).

2.3.12. Tipos de fallas en los pavimentos.

Se dividen en dos grandes grupos, teniendo así las fallas estructurales y las fallas funcionales. Se considera una falla estructural a aquella que se genera por el colapso o rotura de alguno de los componentes del pavimento y es de tal magnitud que el mismo no logra soportar las cargas impuestas. En otro sentido, las fallas funcionales son aquellas que por la condición en la que se encuentra el pavimento generar incomodidad al conducir sobre el pavimento, y estas pueden venir o no ligadas a las fallas estructurales. (Corredor, G, 2004).

2.3.13. Causas por las cuales puede fallar un pavimento.

2.3.13.1. Sobre carga.

Generan la falla prematura de la estructura debido a que se pudo haber superado las repeticiones del paso de los camiones estimadas a la hora de haber diseñado el pavimento. (Corredor, G., 2004).

2.3.13.2. Efecto de las condiciones ambientales.

La humedad, por ejemplo; el exceso de humedad en un pavimento genera su deterioro avanzado, así como la acumulación de agua que sumado al paso de los vehículos genera fallas en el pavimento que comprometen tanto su estructura como su funcionalidad. (Corredor, G., 2004)

2.3.13.4. Defectos de la construcción.

Esto se genera cuando no existe un adecuado control de calidad de los materiales a ser empleados en la construcción de la estructura del pavimento, causando que el tiempo de servicio supuesto en el diseño disminuya. (Corredor, G., 2004)

2.3.13.5. Variabilidad propia de los materiales.

Se genera cuando no existe uniformidad en la calidad de los materiales, viéndose comprometida la estructura del pavimento por partes y no en su totalidad. (Corredor, G., 2004)

2.3.13.6. Mantenimiento inadecuado.

Esto se debe a que toda falla menor al ser tratada a tiempo puede evitar que su incremento conlleve a generar una falla estructural o funcional del mismo. (Corredor, G., 2004)

2.3.13.7. Mal diseño.

Puede generarse por la mal interpretación de los ensayos, los cuales proporcionan la información fundamental para el diseño del pavimento. (Corredor, G., 2004).

2.3.14. Conteo Vehicular.

Permite obtener la información del tránsito necesaria para el diseño de pavimentos. (Corredor, G., 2004). Los conteos vehiculares pueden realizarse de forma mecánica (utilizando equipo especializado) y de forma manual/visual, el conteo vehicular visual según el autor “(...) permite no solo determinar el total de vehículos que circulan por el punto de medición, sino que se obtiene un «conteo clasificado» ya que se

contabiliza el número de cada tipo de vehículo que pasa por esa sección durante tiempo de medición”. (p. 2-14).

2.3.15. *Lapso de Medición de Volúmenes de Tránsito.*

Siguiendo con Corredor, G. (2004) en su ponencia, establece lo siguiente

El lapso ideal para la realización de un conteo –ya que se elimina cualquier error por condiciones estacionales del flujo de vehículos- es de un (1) año. (...) [En ocasiones no es ni practico, ni económico disponer de tanto tiempo para la realización de la medición por lo que] lo ideal (...) es realizar una medición de un mes continuo. En caso de que esto tampoco sea posible, la medición debería ser de una (1) semana completa, en forma tal que se obtenga un registro de lunes a domingo. (...) Si tampoco esto fuese posible, debería al menos disponerse de un registro mínimo de un día laboral y de un día de fin de semana (sábado o domingo). (...)

Pudiera darse el caso de que ni aún pudiese contarse en un lapso de 24 horas; en este caso debe irse a un conteo de doce horas. Si ni aún pueden contarse en estas 12, debe irse a ocho (8) horas, y a veces solo podrá contarse durante una hora. En estos casos, el PDT debe ser obtenido dividiendo el número de vehículos contado durante el periodo entre el “factor de medición” que se indica en la siguiente tabla: (p. 2-16)

Figura 2.3

Tabla 7
Estimaciones del PDT en función del conteo horario

PDT =	Total de conteo durante el lapso	Horas continuas del conteo	Factor de medición
(total conteo) / (factor de medición)	7:00 am—7:00 pm	12	0,754
	8:00 am—4:00 pm	8	0,504
	1 hora (hora pico)	1	0,083

Fuente: Corredor, G.: V Jornadas de Vialidad y Transporte, Valencia, 1998.

2.3.16. Beneficios del concreto hidráulico como pavimento.

Los principales beneficios de utilizar el concreto hidráulico como material de construcción de pavimentos se resumen a los siguientes: (Extraído de SAC-VISA México, en su página web)

- Proporciona al pavimento mayor resistencia a las presiones de frenado, arranque y circulación producidas por los vehículos que circulan por el mismo.
- Posee un deterioro mínimo durante su vida útil.
- Los espesores del pavimento son menores.
- Alta resistencia a los efectos del interperismo.
- Debido a las técnicas de texturizado del concreto, es un pavimento que presenta mayores condiciones de seguridad por su predisposición ante los derrapes de vehículos que por el circulen.
- Posee mejor drenaje superficial que los pavimentos asfálticos.
- Requiere de una estructura de soporte menor a la de un pavimento flexible.
- Los costos operativos son menores a los de los pavimentos flexibles.
- El mantenimiento de los pavimentos rígidos es mínimo, únicamente al igual que en los pavimentos flexibles debe realizarse de forma oportuna.

2.4. Hipótesis.

Encontrándose el tramo de carretera en estudio en la costa oriental de Venezuela y limitando ésta en la pista norte con el mar y la pista sur con la Laguna de Unare, es posible que el material encontrado en la subrasante de la misma tenga características limosas. Motivo por el cual las fallas generadas en la carpeta de

rodamiento pudieran derivarse del contacto directo entre la subrasante, el nivel freático elevado y el pavimento asfáltico.

Razón por la que, como estudiantes de ingeniería civil abocados a la problemática que afecta este sector de la carretera en estudio, se cree necesario elaborar una propuesta de diseño de pavimento que se adapte a las condiciones geo-ambientales del suelo.

2.5. Variables.

Tabla 1

Operacionalización de Variables

Objetivo Específico	Variable	Dimensión	Indicadores
Caracterizar la tipología de suelo en el tramo en estudio del cuerpo de la carretera.	Tipología de suelo.	-Tipos de suelo. -Características del suelo.	-Inorgánicos: residuales, transportados. -Orgánicos. -Cohesivos. -No cohesivos.
Evaluar las condiciones del pavimento con base de la caracterización de fallas.	Condiciones del pavimento.	-Tipos de fallas.	-Agregados pulidos. -Ahuellamientos. -Depresiones. -Disgregación y desintegración. -Elevaciones / hundimientos. -Grietas de borde. -Grietas de fatiga. -Grietas longitudinales y transversales. -Huecos.
Desarrollar estudios de cargas actuantes usando el Método de Cargas.	Estudios de cargas actuantes.	-Factor camión. -Promedio diario de tránsito. -Porcentaje de vehículos pesados. -Factor de distribución por sentido. -Factor de utilización de canal.	-Cargas equivalentes acumuladas en el primer año de diseño. -Cargas equivalentes totales en el periodo de diseño.

Establecer propuesta de diseño de pavimento que mejor se adapte a las condiciones ambientales del suelo.	Propuesta de diseño de pavimento.	Condiciones geo-ambientales del suelo.	Diseño de pavimentos.
--	-----------------------------------	--	-----------------------

Tabla en la que se descomponen los objetivos específicos de la investigación, en sus variables, dimensiones e indicadores. Elaboración propia.

Capítulo III

3. Marco metodológico

3.1. Nivel de la investigación.

Según Arias, F. en su texto titulado “*El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*”. (2006) dice que “El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio”. (p. 23), clasificando los niveles de investigación en exploratoria, descriptiva y explicativa. Para efectos de esta investigación debe aplicarse el nivel explicativo, el cual

(...) se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos. (p.26)

Dicho esto, se busca con esta investigación el porqué del deterioro avanzado en cortos periodos del pavimento de un tramo de carretera comprendido entre la población de Boca de Uchire y El Hatillo en el estado Anzoátegui – Venezuela; y así tratar de comprobar la hipótesis planteada en el capítulo anterior.

3.2. Diseño de investigación.

Siguiendo con Arias, F. “El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental.”(p.26) Dentro de las variables presentes en el trabajo desarrollado se tienen muestras que fueron sometidas a

tratamientos para entender el porqué del caso en estudio; siendo el diseño experimental el correspondido en la presente investigación.

Es éste definido por el autor como “(...) un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”. (p.33)

3.3. Población y muestra.

La población o “población objetivo”, definida por el autor Arias, F. (2006), es el término que se refiere al “(...) conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (p.81) Siendo en este caso la población la longitud total de la carretera Boca de Uchire – El Hatillo de 21,6 kilómetros sentido este-oeste. (Ver anexo número 1)

Continuando con la idea del autor mencionado anteriormente

La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible. En este sentido, una muestra representativa es aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto permite hacer inferencias o generalizar los resultados al resto de la población con un margen de error conocido.” (p.83)

Por lo que, la muestra corresponde al tramo de carretera estudiada comprendido entre las progresivas 4+760 y 14+900. (Ver anexo número 1)

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Partiendo de lo que expone el autor Arias, F. en su libro citado anteriormente, “Se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. Las técnicas son particulares y específicas de una disciplina, por lo que sirven de complemento al método científico, el cual posee una aplicabilidad general.” (p.67)

Así mismo el “instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.”(p.69) Entendiendo esto, a continuación se presenta la siguiente tabla donde se exponen las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos en el presente trabajo de investigación.

Tabla 2

Recolección de datos.

Técnica	Instrumento
Caracterización de fallas en el pavimento.	Memoria fotográfica.
Conteo vehicular manual.	Planilla de conteo vehicular por períodos.
Excavación de calicatas.	Toma de muestras en sitio.
Caracterización de tipologías de suelo.	Ensayos en el laboratorio de suelos.

Tabla resumen de las técnicas de obtención de datos ejecutadas para establecer una propuesta de diseño de pavimentos. Elaboración propia.

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Para Arias, F. (2006) las técnicas de procesamiento y análisis de datos permiten describir las diversas operaciones a las que estarán sometidos los datos obtenidos por medio de las técnicas y los instrumentos recolectores de datos.

Con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo especial de grado se llevaron a cabo una serie de tareas las cuales se describen a continuación:

3.5.1 Visita al sitio en estudio y obtención de fotografías:

Debido a que el tramo de carretera en estudio se encuentra fuera de la ciudad de Caracas, la primera tarea a ejecutar fue la de visitar el sitio en estudio, lo cual implicó viajar alrededor de tres horas y media al poblado de Boca de Uchire en el Estado Anzoátegui con la finalidad de realizar un primer recorrido por la carretera que comunica Boca de Uchire con la población de El Hatillo - específicamente por las progresivas 4+760 a la 14+900 sentido este-oeste -, se pudo notar a simple vista que presentaba gran cantidad de fallas en el pavimento flexible existente y que los niveles de humedad del suelo son altos debido a que la misma se encuentra ubicada entre la Laguna de Unare y El Mar Caribe.

Gracias a las 4 visitas realizadas al sitio en estudio se obtuvo una memoria fotográfica que sirve de apoyo en la realización de la caracterización de las fallas del pavimento.

3.5.2 Recolección de datos de tránsito:

Mediante la utilización de una planilla de conteo vehicular se pudo obtener un estimado del volumen de tránsito de la carretera. Este conteo se realizó en tres oportunidades durante seis horas continuas obteniendo datos de dos días hábiles y un día

feriado para así poder aplicar el criterio del Banco Mundial en la obtención del promedio diario de tránsito de la carretera. (Ver anexo número 4).

3.5.3 *Recolección de muestras de suelo:*

Para poder caracterizar las tipologías de suelo de la carretera fue necesario realizar tres calicatas de 1.10 metros de profundidad y 50 centímetros de ancho en el borde del cuerpo de la carretera en un tramo de 500 metros sentido este-oeste, la primera calicata está ubicada en el borde de la pista sur en la progresiva 10+260, la segunda en el borde de la pista sur en la progresiva 9+760 y la tercera en el medio de estas en el borde de la pista norte en la progresiva 10+010. Dichas calicatas permitieron obtener 117.86 kilos de suelo en la primera, 114.81 kilos de suelo en la segunda y 148.20 kilos de suelo en la tercera, los cuales fueron trasladados al laboratorio Amundaray Ingeniería Geotécnica en Charallave, estado Miranda para la realización de los siguientes ensayos de suelo:

- a) Granulometría.
- b) Humedad.
- c) Gravedad Específica.
- d) Límites de Consistencia.
- e) Compactación.
- f) Ensayo California Bearing Ratio (CBR).

Capítulo IV

4. Análisis de resultados y conclusión

4.1. Análisis de Resultados

4.1.1 Caracterización de fallas.

En el presente trabajo especial de grado se clasificaron las fallas de pavimento de acuerdo a las definiciones dadas por Corredor, G. y Corros, M. (2010) en su presentación *Diseño de Pavimentos I, Evaluación de Pavimento*, tomando en cuenta inclusive tipos de falla que no se presentaron en el tramo de carretera.

4.1.1.1 Agregados Pulidos.

Según lo expuesto por Corredor, G. y Corros, M. (2010) en su ponencia citada anteriormente, este tipo de fallas se observan en la superficie de la capa de rodamiento cuando los agregados empiezan a degradarse y su superficie es suave al tacto, ofreciendo menor fricción con los neumáticos de un vehículo. Originados por la repetición de cargas de tránsito. Para los autores “este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento (péndulo) es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.” (p. 100). Este tipo de falla se presenta en las progresivas 9+160 y 10+360 de la carretera en estudio.

4.1.1.2 Ahuellamientos.

De acuerdo a los autores ya citados, los ahuellamientos son definidos como hendiduras en la superficie de rodadura que siguen las huellas de los neumáticos. Puede venir acompañado con levantamiento del pavimento a los lados del ahuellamientos; lo cual se debe a deformaciones en cualquiera de las capas del pavimento o de la subrasante, producido por consolidación o movimiento lateral por cargas de tránsito. Si se encuentra

en un estado muy avanzado puede conducir a una falla estructural considerable. Para efectos de la carretera estudiada, se puede evidenciar la presencia de ahuellamientos en las progresivas 5+760, 8+660, 12+310, 12+610 y 13+760.

4.1.1.3 Depresiones.

De acuerdo con Corredor, G. y Corros, M. en su ponencia, este tipo de fallas son áreas en la que el pavimento se encuentra a un nivel ligeramente inferior al que se encuentra el pavimento a su alrededor. Se originan por el asentamiento de la subrasante o por la deficiente construcción de las capas superiores del pavimento; ocasionan rugosidades y al ser suficientemente profundas causan hidroplaneo (pérdida de contacto entre neumáticos y pavimento). En la carretera en estudio para este trabajo investigativo, se consiguieron depresiones en las progresivas 7+760 y 8+160.

4.1.1.4 Disgregación y Desintegración.

Es el tipo de falla que se da por el desprendimiento de la superficie de pavimento debido a partículas sueltas del agregado o a la pérdida de ligante asfáltico. Este tipo de falla revela la falta de correlación ligante-agregado, o, el endurecimiento del ligante asfáltico. Suelen suceder en mezclas con poca cantidad de ligante, el sobrecalentamiento de la mezcla durante su elaboración, o el derramamiento de aceite de un vehículo inclusive. (Corredor, G. y Corros, M. 2010).

Se presentó disgregación de la superficie de rodadura, en la carretera estudiada, en las progresivas 6+760, 6+910, 7+060, 7+460, 7+560, 7+660, 7+810, 8+060, 8+160, 8+260, 8+510, 8+810, 9+960, 10+060, 10+310, 10+360, 10+710, 11+960, 13+310 y 13+560.

4.1.1.5 Elevaciones y/o Hundimientos.

Según Corredor, G. y Corros, M. (2010) las elevaciones y los hundimientos son definidos como pequeños y abruptos desplazamientos hacia arriba y abajo respectivamente localizados en la superficie del pavimento, y deben ser diferenciados de los desplazamientos en que “(...) estos últimos son causados por pavimentos inestables”. (p.41)

Suelen ser consecuencia de:

- Falla de una losa de concreto con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.
- Expansión del pavimento por congelación.
- La combinación de las cargas de tránsito y la infiltración del material en una grieta o “tenting”.

En lo que se refiere a la carretera estudiada, se encontraron hundimientos en las progresivas 7+260, 7+810, 8+510, 8+810, 12+610, 13+310, 14+210 y 14+310; y levantamiento en la progresiva 9+960.

4.1.1.6 Grietas de Borde.

Este tipo de grietas para Corredor, G. y Corros, M. (2010) se ubican de 0,3 a 0,6 metros del borde exterior del pavimento, desarrollándose longitudinalmente y de manera paralela al eje de la vía. Se originan principalmente por:

- Debilitamiento de la capa base o subrasante debido a condiciones climáticas.
- Falta de soporte lateral.
- Terraplenas construidos con suelos expansivos.

Se encontraron grietas de borde en la superficie de pavimento en las progresivas 6+760, 9+960 y 10+710 de la carretera en estudio.

4.1.1.7 Grietas de Fatiga (Piel de Cocodrilo).

De acuerdo con Corredor, G. y Corros, M. (2010), este tipo de fallas se definen como un conjunto de grietas que inicialmente se manifiestan en la capa de rodadura asfáltica de manera longitudinal y paralelas. Luego del paso de frecuentes cargas de tránsito, las grietas se interconectan formando polígonos con lados no mayores a 60 centímetros (semejante a la piel de cocodrilo). Ocurre únicamente en áreas sometidas a cargas constantes de tránsito (como las que dibujan las huellas de los neumáticos), originándose en el fondo de la capa de rodadura debido a la fatiga que las cargas generan. Son consideradas, estas grietas, como un daño severo que generalmente viene acompañado por ahuellamiento.

La piel de cocodrilo fue una de las fallas más predominante en la carretera en estudio presentándose en las progresivas 5+760, 6+760, 7+060, 7+260, 7+460, 7+560, 7+810, 8+060, 8+160, 8+260, 8+360, 8+510, 8+660, 8+810, 9+960, 10+310, 10+710, 11+960, 12+310, 12+610, 12+810, 12+910, 12+960, 13+210, 13+560 y 13+960.

4.1.1.8 Grietas Longitudinales y Transversales.

Pertenecen al tipo de grietas que son observadas en la superficie de pavimento, siguiendo la dirección de construcción (grieta longitudinal) o formando ángulos aproximadamente rectos al eje de la vía (grieta transversal), según Corredor, G. y Corros, M. (2010). Asimismo se pueden deber a:

- Deficiente construcción de junta de canal del pavimento.
- Una grieta de reflexión por agrietamiento bajo la capa base.

- Contracción de la superficie de concreto asfáltico por:
 - ✓ Bajas temperaturas.
 - ✓ Envejecimiento del asfalto.
 - ✓ Ciclo diario de temperatura.

Se logró ubicar grietas longitudinales en las progresivas 12+610, 12+910 y 13+760 de la carretera en estudio.

4.1.1.9 Huecos.

Por último, este tipo de falla de pavimento son pequeñas depresiones, con bordes agudos y lados verticales cerca de la zona superior, presentes en la superficie de pavimento. Se originan por desprendimiento de pequeños pedazos de la superficie de pavimento por acción de tráfico al cual está expuesto. Es causado por mezclas deficientes, puntos débiles en la base o subrasante, o piel de cocodrilo en estado severo; además se agudizan por la acumulación de agua en su interior. (Corredor, G. y Corros, M. 2010).

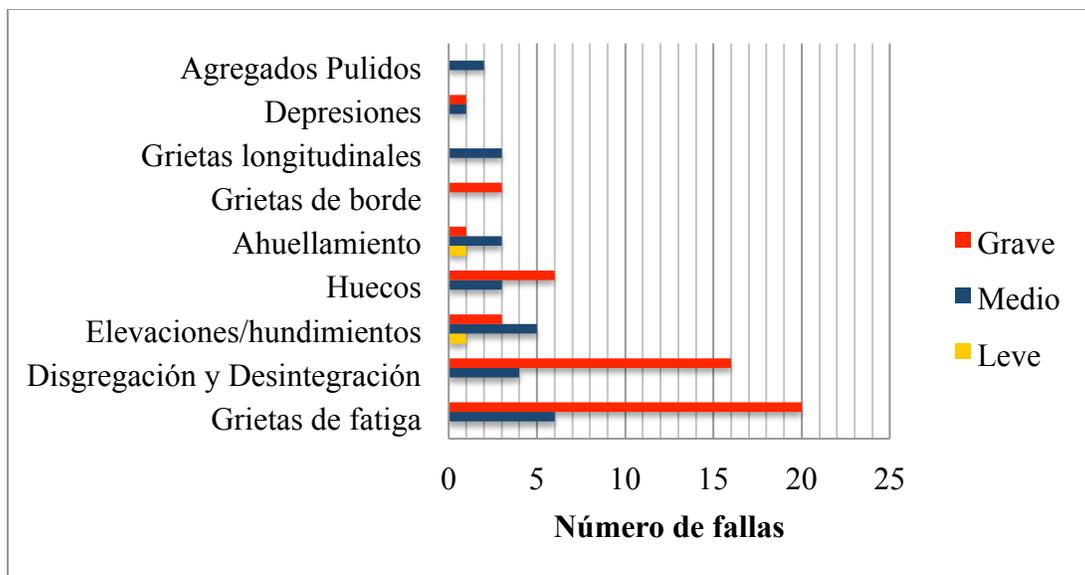
Se pudo apreciar este tipo de falla descrito en las progresivas 7+460, 7+560, 7+660, 8+510, 10+060, 12+810, 12+960, 13+860 y 13+960.

Es importante señalar que para los efectos de este trabajo especial de grado no se tomaron las dimensiones de longitud o área afectada de cada falla, pero sí se les calificó según su nivel. A continuación se presentan el porcentaje de fallas según su tipo y cuales presentan un estado de deterioro más avanzado del pavimento.

Tabla 3. Porcentaje de fallas según su clasificación.

Tipo de falla	Porcentaje (%)
Grietas de fatiga	33
Disgregación y desintegración	25
Elevaciones/hundimientos	11
Huecos	11
Ahuellamiento	6
Grietas de borde	4
Grietas longitudinales y transversales	4
Depresiones	3
Agregados Pulidos	3

Gráfico 4.1. Severidad de fallas.



La falla que más se presentó en la carretera fue la *piel de cocodrilo* (falla por fatiga), las cuales en su mayoría se encontraban en un estado de severidad muy avanzado, generando ahuellamientos y huecos inclusive. La disgregación y desintegración se presentó en menor medida, pero también con un estado de severidad muy alto. El resto de las fallas encontradas pueden deberse al deterioro progresivo generado por la falta de mantenimiento preventivo y la acumulación de aguas de lluvia en grietas y huecos existentes.

Teniendo en cuenta que el diseño actual de pavimento consta únicamente de una subrasante mejorada y una capa de pavimento asfáltico no mayor a 10 centímetros, se puede evidenciar que posiblemente se usó una relación ligante asfáltico-agregado equívoca en el diseño de la mezcla, y que además no se tomaron en cuenta las cargas necesarias debido al nivel de fatiga que presenta el tramo estudiado.

Cabe destacar que existe un tramo el cual está conformado por una losa de concreto y este parte no presenta falla alguna.

4.1.3 Caracterización del suelo de fundación.



Para conocer las condiciones geo-ambientales actuales del suelo de fundación de la vía de referencia, se caracterizaron, a través de la realización de ciertos ensayos de laboratorio, tres muestras de suelo tomadas en un rango de 500 metros, los cuales también son necesarios para la propuesta de diseño de pavimento.

Las calicatas se realizaron en los bordes de la carretera (donde terminaba la capa de rodamiento) y cada una poseía 1,10 metros de profundidad. En la calicata #3 se encontró agua a 1 metro de profundidad. Además, se observó que el material de las calicatas #1 y #2 era granular y que el material de la calicata #3 era más fino.

En este sentido, los ensayos realizados fueron:

4.1.3.2 Humedad Natural:

Consiste en la determinación del contenido de agua del suelo *in situ*. De esta manera se establece la condición de saturación de las capas de la estructura actual de pavimento.

Se tomaron las muestras a 80 centímetros de profundidad (con respecto a la superficie de la capa de rodamiento) y se vertieron en frascos de vidrio los cuales fueron sellados para evitar pérdida de humedad durante su recorrido al laboratorio.

De cada muestra se tomó una alícuota, la cual se pesó y se dispuso en una cápsula de peso conocido. Las cápsulas se colocaron en un horno a 125 grados centígrados durante 24 horas y luego se volvió a tomar el peso del suelo el cual se presume está seco. Conocidos el peso húmedo, el peso seco y el peso de la cápsula, se puede obtener el porcentaje de humedad de la alícuota (siendo esta representativa de la muestra) con la siguiente relación:

$$\%w = \frac{(Wsh - Wsc)}{Wsc} * 100$$

Donde:

- ❖ %W: Porcentaje de humedad
- ❖ Wsh: Peso del suelo húmedo
- ❖ Wsc: Peso del suelo seco
- ❖ Los resultados se muestran en la tabla número tres.

Tabla 3.

Resultados del porcentaje de humedad de cada muestra.

Muestra	Cápsula	Peso Cápsula	Cápsula + Suelo húmedo	Cápsula + Suelo seco	Peso del agua	Peso del suelo seco	% De humedad
1	H-1	46,47	506,08	466,45	39,63	419,98	9
2	1-A	50,35	520,75	471,74	49,01	421,39	12
3	E-C	72,05	646,40	581,35	65,05	509,30	13

Estos resultados serán comparados con la humedad óptima obtenida del ensayo de compactación para determinar si el suelo se encuentra saturado. Elaboración propia.

4.1.3.3 Granulometría:

Permite la clasificación del material según el tamaño de sus partículas a través del tamizado. Es decir, separa el agregado grueso del agregado fino (en diseño de pavimentos se considera fino el material que pasa el tamiz #8, sin embargo, en este trabajo especial de grado se consideró fino el pasante tamiz #4) para determinar el porcentaje de grava, arena y finos (arcillas y limos) que contiene. Estos porcentajes se obtienen pesando el material retenido en cada tamiz y se complementa con los datos obtenidos del ensayo de límites de consistencia y así plasmar la curva granulométrica que describe.

Tabla 4

Tamices utilizados.

	Tamiz #	Tamaño de la partícula
Fracción gruesa	2"	50,000
	1½"	37,500
	1"	25,000
	¾"	19,000
	½"	12,000
	3/8"	9,500
	¼"	6,300
	#4	4,700
Fracción fina	#10	2,000
	#20	0,850
	#40	0,425
	#100	0,150
	#200	0,075

Elaboración propia.

Cabe destacar que antes de realizar el tamizado, las muestras se dejaron secar naturalmente y se le propiciaron golpes de baja intensidad con un martillo de goma para deshacer todos los terrones.

Para determinar los pesos retenidos de la fracción gruesa, se tamizó por completo manualmente. Por otro lado, para la fracción fina se tomó una porción, la cual se considera representativa, se lavó usando el tamiz #200, se pesó y se coló usando una

tamizadora vibratoria durante 300 segundos. El peso total de la fracción fina se determinó pesando el material pasante tamiz #4 y restándole el peso del agua como humedad higroscópica (obtenida de la misma forma que la humedad natural). Los datos se presentan en las tablas que se muestran a continuación:

Tabla 5

Humedad Higroscópica.

Calicata #	1	2	3
Envase #	t-24	t-72	t-61
Peso envase (gr)	57,82	57,65	60,72
Envase + sh (gr)	448,90	511,19	550,85
Envase + sc (gr)	437,40	497,50	544,34
Peso agua (gr)	11,50	13,69	6,51
%w	3,03	3,11	1,35

Elaboración propia.

Tabla 6

Granulometría de la muestra #1.

Tamiz	Tam. de grano (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
2"	50,0000	3.207,00	2,72	2,72	97,28
1-1/2"	37,5000	3.505,00	2,97	5,69	94,31
1"	25,0000	5.657,00	4,80	10,49	89,51
3/4"	19,0000	5.170,00	4,39	14,88	85,12
1/2"	12,5000	11.895,00	10,09	24,97	75,03
3/8"	9,5000	9.571,00	8,12	33,09	66,91
1/4"	6,3000	12.015,00	10,19	43,29	56,71
#4	4,7500	6.545,00	5,55	48,84	51,16
#10	2,0000	40,78	5,49	54,33	45,67
#20	0,8500	38,24	5,15	59,48	40,52
#40	0,4250	31,53	4,25	63,73	36,27
#100	0,1500	56,72	7,64	71,37	28,63
#200	0,0750	39,80	5,36	76,73	23,27

Elaboración propia.

Tabla 7

Granulometría de la muestra #2.

Apertura de tamiz	Tam. de grano (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
2"	50,0000	7.658,00	6,67	6,67	93,33
1-1/2"	37,5000	4.254,00	3,71	10,38	89,62
1"	25,0000	6.081,00	5,30	15,67	84,33
3/4"	19,0000	5.015,00	4,37	20,04	79,96
1/2"	12,5000	7.672,00	6,68	26,72	73,28
3/8"	9,5000	7.200,00	6,27	32,99	67,01
1/4"	6,3000	10.740,00	9,35	42,35	57,65
#4	4,7500	6.798,00	5,92	48,27	51,73
#10	2,0000	38,18	4,48	52,75	47,25
#20	0,8500	30,46	3,58	56,33	43,67
#40	0,4250	35,26	4,14	60,47	39,53
#100	0,1500	81,94	9,62	70,09	29,91
#200	0,0750	52,58	6,17	76,26	23,74

Elaboración propia.

Tabla 8

Granulometría de la muestra #3.

Apertura de tamiz	Tam. de grano (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
2"	50,0000	1.868,00	1,26	1,26	98,74
1-1/2"	37,5000	4.303,00	2,90	4,16	95,84
1"	25,0000	5.530,00	3,73	7,90	92,10
3/4"	19,0000	5.065,00	3,42	11,31	88,69
1/2"	12,5000	10.225,00	6,90	18,21	81,79
3/8"	9,5000	8.953,00	6,04	24,25	75,75
1/4"	6,3000	14.200,00	9,58	33,84	66,16
#4	4,7500	8.237,00	5,56	39,39	60,61
#10	2,0000	29,76	3,73	43,12	56,88
#20	0,8500	48,12	6,03	49,15	50,85
#40	0,4250	79,54	9,96	59,11	40,89
#100	0,1500	169,46	21,22	80,33	19,67
#200	0,0750	50,21	6,29	86,62	13,38

Elaboración propia.

Tabla 9

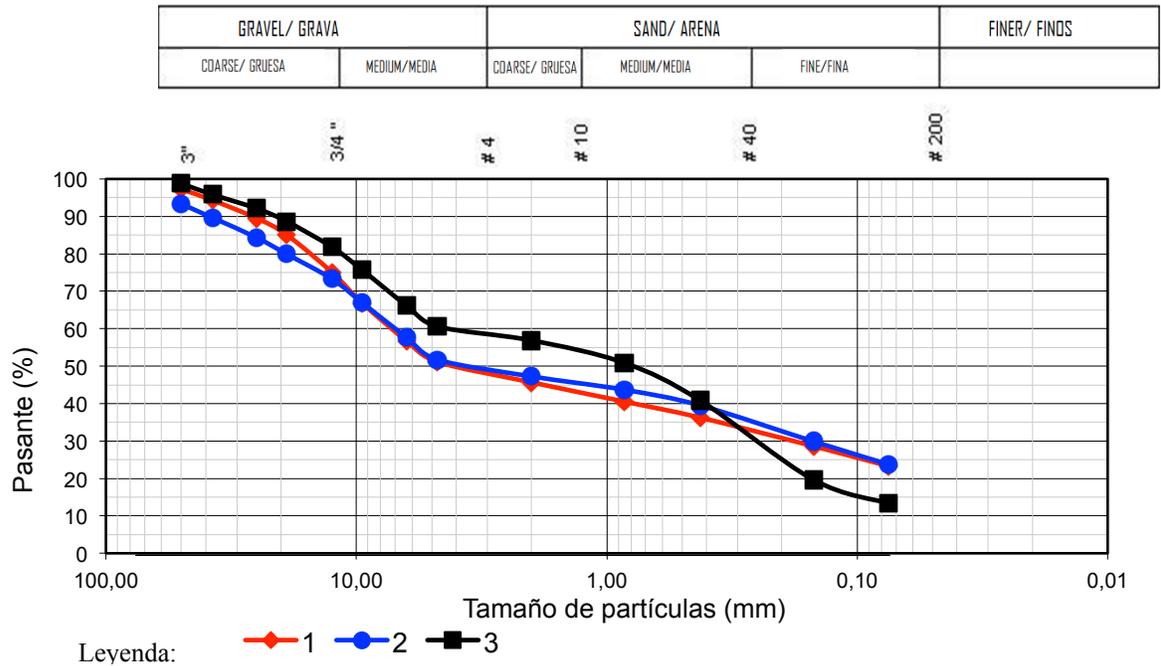
Peso total de las calicatas.

Muestra #	Material lavado pasante #4 (gr)	Peso total muestra (gr)
1	379,9	117.862,20
2	440,06	114.814,12
3	483,92	148.197,48

Elaboración propia.

La humedad higroscópica que presentan las muestras #1 y #2 es mayor que la que presenta la muestra #3. Además, las muestras #1 y #2 poseen una granulometría compuesta por 50% material fino y 50% material grueso, mientras que la muestra #3 tiene una distribución de 60% material fino y 40% material grueso razón por la cual retiene menos agua como humedad higroscópica.

Gráfico 4.3. Curvas Granulométricas.



Elaboración propia.

En cuanto a las curvas granulométricas, son de forma discontinua, presentando un quiebre para un tamaño de partícula de 5 milímetros. Se obtuvo una distribución similar para la fracción gruesa en las tres muestras; pero, para la fracción fina la muestra #3 tuvo un mayor pasante tamiz #4 y presentó una menor cantidad de arcilla, evidenciado en las concavidades que presenta después del quiebre, a diferencia de las muestras #1 y #2, las cuales se mantienen prácticamente rectas.

4.1.3.4 Límites de Consistencia:

El límite líquido y el límite plástico, definidos por primera vez por Albert Atterberg, “(...) representan la frontera entre los estados del suelo (...)”, detallados por el mismo personaje en 1908. La diferencia entre ambos valores se conoce como el Índice de Plasticidad y es concluyente en la determinación del porcentaje de arcillas y limos que

contiene un suelo. Aunque los métodos se basan en las experiencias de Atterberg, para determinar el límite líquido se usó la copa de Casagrande, variando la humedad de una muestra pasante tamiz #10 y registrando los pesos para tres rangos de golpes; y para determinar el límite plástico se moldeó la muestra hasta lograr un cilindro de 3 milímetros de diámetro, momento en que se agrieta y desmorona. Los resultados se muestran en la tabla diez.

Tabla 10

Pesos obtenidos del ensayo de límites de consistencia.

Nº golpes	Cápsula No.	Peso de la cápsula (gr)	Peso del suelo húmedo (gr.)	Peso del suelo seco (gr.)	% de humedad
30	K	70,40	79,39	77,62	24,52
25	C-2	72,60	84,41	82,07	24,71
21	V	73,50	86,42	83,69	26,79
LP	VII	72,62	80,83	79,65	16,79
30	XI	73,69	83,33	81,63	21,41
22	XIII	70,95	79,38	77,80	23,07
17	VI	72,04	80,64	79,15	20,96
LP	P	72,09	81,94	80,69	14,53

Elaboración propia.

Tabla 11

Límites de consistencia

Muestra #	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
1	25	17	8
2	22	15	7
3	-	-	-

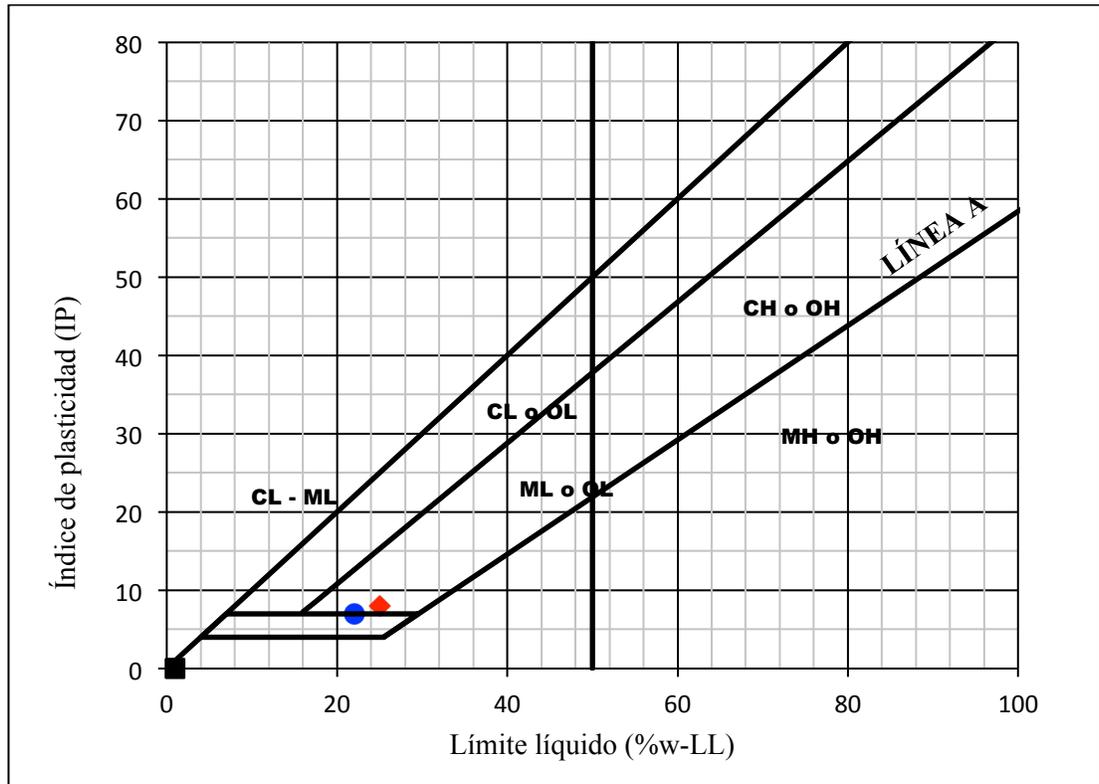
Elaboración propia.

Para las muestras #1 y #2 se obtuvieron valores cercanos para el índice plástico, corroborando que poseen un porcentaje similar de arcillas.

La muestra #3 no presentó límites de consistencia, por lo que no presenta porcentaje significativo de arcillas (ver granulometría). En el anexo número 3 se puede apreciar su falta de apariencia plástica.

Se graficaron los índices de plasticidad contra los límites líquidos en la carta de plasticidad propuesta por Casagrande para determinar que fino es y que nivel de plasticidad posee.

Gráfico 4.4. Carta de plasticidad.



Elaboración propia.

Según la norma ASTM D-2487-00, la muestra #1 (rombo rojo) califica como una arcilla de baja plasticidad y la muestra #2 (círculo azul) podría ser bien una arcilla como un limo de baja plasticidad. La muestra #3 (cuadrado negro) se encuentra en el origen de los ejes puesto que no presenta plasticidad alguna.

En la tabla doce se muestran los porcentajes de tamaño de partículas de suelo para cada calicata.

Tabla 12

Tamaño de partículas del suelo y clasificación.

Muestra	Grava (%)	Arena (%)			Finos (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	AASHTO
		Gruesa	Media	Fina					
1	49	5	9	13	23	25	17	8	A-2-4 (0)
2	48	4	8	16	24	22	15	7	A-2-4 (0)
3	39	4	16	28	13	-	-	NP	A-2-4 (0)

Elaboración propia.

4.1.3.5 Gravedad específica:

Determina la relación entre el peso unitario de un suelo y el peso unitario del agua destilada a 4 grados centígrados, obteniéndose el mismo valor para la relación de densidad de suelo y agua. Teniendo en cuenta el porcentaje de fracción gruesa, se determinó la gravedad específica a través de un promedio ponderado, haciendo uso del picnómetro para el material fino y pesando la grava en condición seca, saturada con superficie seca y sumergida para el material grueso.

Tabla 13

Datos para ensayo de fracción fina.

Muestra	M-1	M-2	M-3
Profundidad	1	1	1
Picnómetro	12	10	11
Suelo seco (gr)	81,08	81,10	108,87
Peso del picnómetro (gr)	103,72	95,01	94,16
Peso del picnómetro + agua (gr)	352,47	343,37	342,41
Peso del picnómetro + suelo seco (gr)	184,8	176,11	203,03
Peso del picnómetro + suelo + agua (gr)	403,25	393,5	409,73
Temperatura (°C)	31,0	31,0	31,1
Gravedad Específica a la temperatura	2,68	2,62	2,62
Gravedad Específica a 20 °C	2,67	2,61	2,61

Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el tamaño máximo nominal para las 3 muestras es del tamiz 1 ½”, se requirió un peso mínimo 5 kilogramos.

Tabla 14

Datos para ensayo de fracción gruesa.

Muestra #	1	2	3	
Pesos (gr)	Muestra S.S.S. en aire:	5.332,9	5.326,8	5.468,3
	Muestra sumergida:	3.305,7	3.336,8	3.442,5
	Muestra seca en aire:	5.298,6	5.277,2	5.431,1
	Agua absorbida :	34,4	49,6	37,3
Volumen de la muestra seca (cm ³):	1.992,9	1.940,3	1.988,6	
Volumen de muestra S.S.S (cm ³):	2.027,3	1.990,0	2.025,9	
Temperatura del ensayo (°C):	25,0	25,0	25,0	
Peso específico bulk a 23° C:	2,612	2,651	2,680	
Peso específico S.S.S.:	2,631	2,677	2,699	
Peso específico aparente:	2,659	2,720	2,731	
% de absorción:	0,648 %	0,940 %	0,686 %	

Elaboración propia.

Tabla 15

Resultados de la gravedad específica.

Muestra #	% fino	GS fino	% grueso	GS grueso	GS ponderado
1	51,16	2,67	48,84	2,66	2,67
2	51,73	2,61	48,27	2,72	2,66
3	60,61	2,61	39,39	2,73	2,66

Elaboración propia.

4.1.3.6 Compactación:

El término compactación hace referencia al mejoramiento artificial de las propiedades mecánicas de un suelo a través de procesos mecánicos. El ensayo consiste en compactar, en un cilindro metálico y con un martillo de peso estandarizado, muestras de un suelo con diferentes contenidos de humedad logrados en laboratorio. Conociendo el volumen y el peso del envase cilíndrico, se puede determinar la densidad máxima seca y el porcentaje de humedad óptimo, datos necesarios para aumentar la resistencia, disminuir la compresibilidad y la realización del ensayo de CBR.

La preparación de las muestras requirió la realización de una corrección granulométrica debido a que todas presentan un porcentaje retenido acumulado en el tamiz ¾" mayor al 10%. Estas correcciones se hicieron en base a 6000 gramos, peso suficiente como para llenar el molde del ensayo.

Tabla 16

Corrección granulométrica de la muestra #1.

Tamiz	% retenido	Corrección granulométrica	Suma retenido tamices (1/2 al #4)	Peso corregido (gr.)
¾"	14,88	-	33,95%	-
½"	10,09	14,51 %	-	870,74
⅜"	8,12	11,68 %	-	700,74
¼"	10,19	14,66 %	-	879,37
#4	5,55	7,98 %	-	478,95
Pasante #4	51,17	51,17 %	-	3.070,20
Total	-	100,00 %	-	6.000,00

Elaboración propia.

Tabla 17

Humedad muestra #1.

Cálculo de Humedad (pesos en gramos)							
Env. N°	W% agre.	Tara env.	Env.+ suelo húmedo (gr.)	Env. + suelo seco (gr.)	Peso del agua (gr.)	%W	Wh % hum. higroscópica
t-32	2	56,03	780,56	748,80	31,76	4,58	2,58
bn-09	4	59,52	850,50	804,43	46,07	6,18	2,18
t-12	6	61,23	865,01	803,65	61,36	8,26	2,26
t-72	8	57,65	867,19	791,78	75,41	10,27	2,27
t-40	10	61,93	843,29	761,07	82,22	11,76	1,76

Elaboración propia.

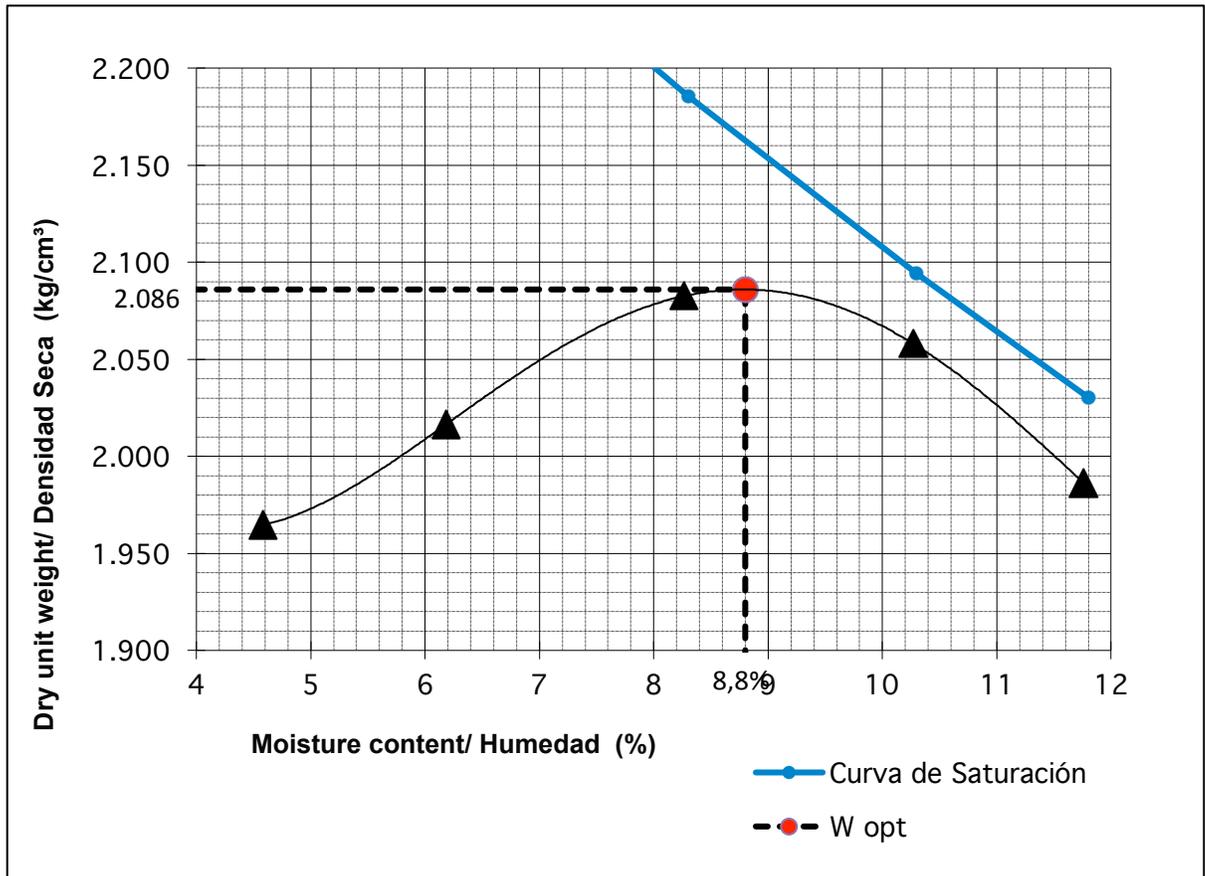
Tabla 18

Densidad muestra #1.

Molde + Suelo (gr.)	Peso de Suelo (gr.)	Dens. Húm. (Kg/m ³)	Env. N°	Peso de suelo seco (gr.)	% W	Dens. Seca (Kg/m ³)
9.351,00	4.348,00	2054,82	t-32	692,77	4,58	1.964,75
9.534,00	4.531,00	2141,30	bn-09	744,91	6,18	2.016,59
9.774,00	4.771,00	2254,73	t-12	742,42	8,26	2.082,60
9.805,00	4.802,00	2269,38	t-72	734,13	10,27	2.057,98
9.700,00	4.697,00	2219,75	t-40	699,14	11,76	1.986,18

Elaboración propia.

Gráfico 4.5. Humedad óptima de la muestra #1.



Elaboración propia.

Para la muestra #1 se empezó con un contenido de humedad de 2%. Al ver que se dificultó la compactación ya que la muestra seguía relativamente seca, se prepararon otras 4 pesadas con humedades de 4, 6, 8 y 10 por ciento respectivamente. Al graficar la curva de densidades secas contra las humedades (tomando en cuenta la humedad higroscópica) se obtuvo que la densidad máxima seca sea de 2086 kg/m³ para una humedad óptima de 8,8%.

Tabla 19

Corrección granulométrica de la muestra #2.

Tamiz	% retenido	Corrección granulométrica	Suma retenido tamices (1/2" al #4)	Peso corregido (gr)
3/4"	20,05	-	28,22 %	-
1/2"	6,68	11,43 %	-	685,56
3/8"	6,27	10,72 %	-	643,49
1/4"	9,35	15,99 %	-	959,58
#4	5,92	10,13 %	-	607,57
Pasante #4	51,73	51,73 %	-	3103,80
Total	-	100,00 %	-	6000,00

Elaboración propia.

Tabla 20

Humedad de la muestra #2.

Cálculo de Humedad (pesos en gramos)							
Tara env.	%W agre.	Env.+ suelo húmedo (gr.)	Env. + suelo seco (gr.)	Peso del agua (gr.)	Peso de suelo seco (gr.)	W %	Wh % hum. higroscópica
59,1	4	993,48	935,23	58,25	876,13	6,51	2,51
61,49	6	717,8	664,94	52,86	603,45	8,76	2,76
62,03	8	792,53	725,68	66,85	663,65	10,07	2,07
60,35	10	922,6	827,12	95,48	766,77	12,45	2,45

Elaboración propia.

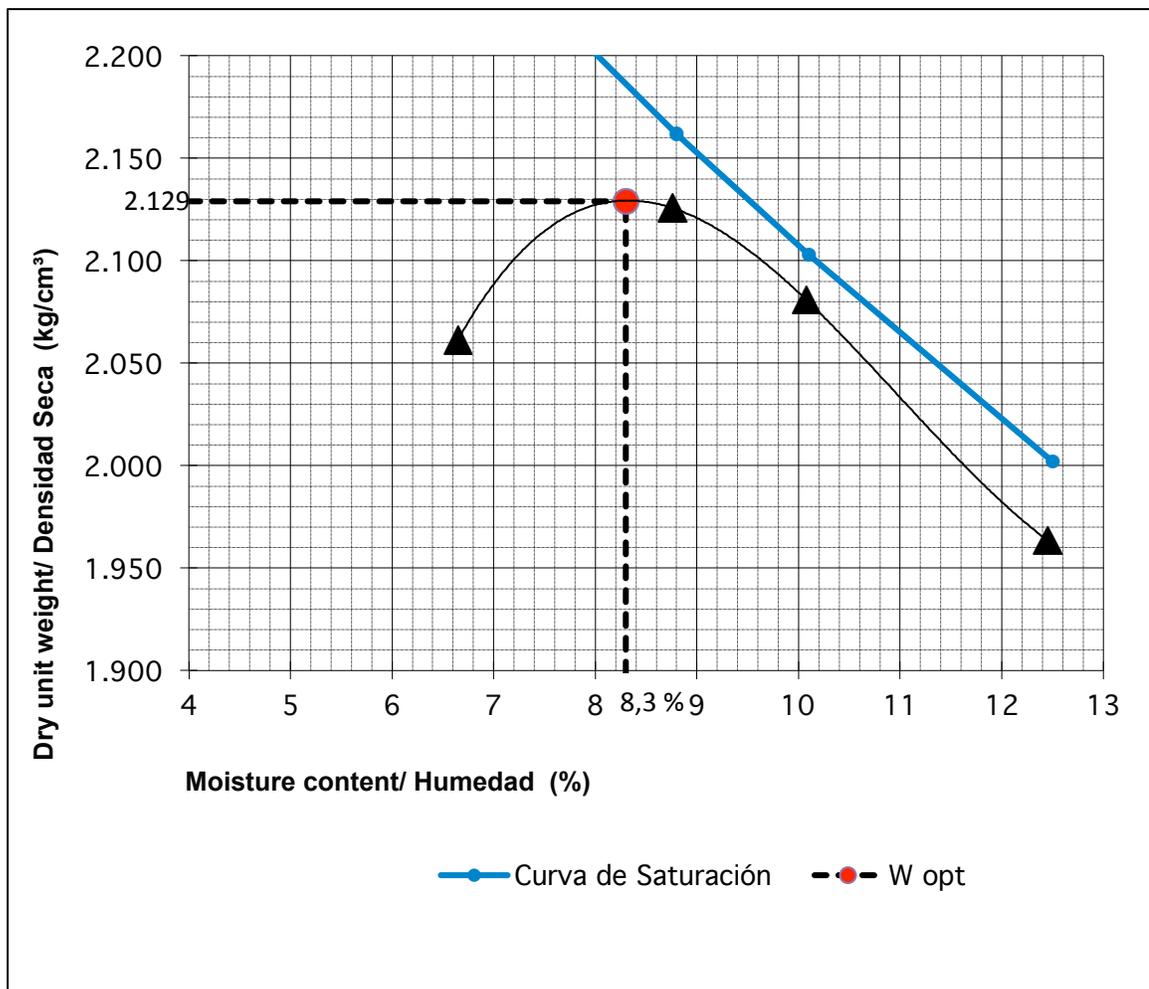
Tabla 21

Densidad de la muestra #2.

Molde + Suelo (gr.)	Peso de Suelo (gr.)	Dens. Húm. (Kg/m ³)	Env. N	% W	Dens. Seca (Kg/m ³)
9.655,00	4.652,00	2198,49	t-57	6,65	2061,43
9.895,00	4.892,00	2311,91	t-3	8,76	2125,71
9.850,00	4.847,00	2290,64	t-37	10,07	2081,02
9.675,00	4.672,00	2207,94	t-46	12,45	1963,45

Elaboración propia.

Gráfica 4.6. Humedad óptima de la muestra #2.



Elaboración propia.

Como la muestra #2 se asemejó a la muestra #1, se decidió comenzar con 4% de humedad agregada. Al realizar las otras pesadas con 6, 8 y 10 % de humedad agregada se lograron puntos suficientes como para describir la curva, obteniendo una densidad máxima seca de 2129 kg/m³ para una humedad óptima de 8,3%. La humedad higroscópica del material resultó 2,4 %.

Tabla 22

Corrección granulométrica de la muestra #3.

Tamiz	% retenido	Corrección granulométrica	Suma retenido tamices (1/2" al #4)	Peso corregido (gr)
3/4"	11,31	-	28,08 %	-
1/2"	6,90	9,68 %	-	580,75
3/8"	6,04	8,47 %	-	508,37
1/4"	9,58	13,44 %	-	806,32
#4	5,56	7,80 %	-	467,97
Pasante #4	60,61	60,61 %	-	3.636,60
Total	-	100,00 %	-	6.000,00

Elaboración propia.

Tabla 23

Humedad de la muestra #3.

Cálculo de Humedad (pesos en gramos)								
Env. N°	W% agre.	Tara env.	Env.+ suelo húmedo (gr.)	Env. + suelo seco (gr.)	Peso del agua (gr.)	Peso de suelo seco (gr.)	%W	Wh % hum. higroscópica
t-30	2	58,93	788,63	762,26	26,37	703,33	3,75	1,75
t-78	4	60,44	744,05	708,16	35,89	647,72	5,54	1,54
t-17	6	61,11	832,98	779,54	53,44	718,43	7,44	1,44
t-26	8	59,19	778,82	713,76	65,06	654,57	9,94	1,94

Elaboración propia.

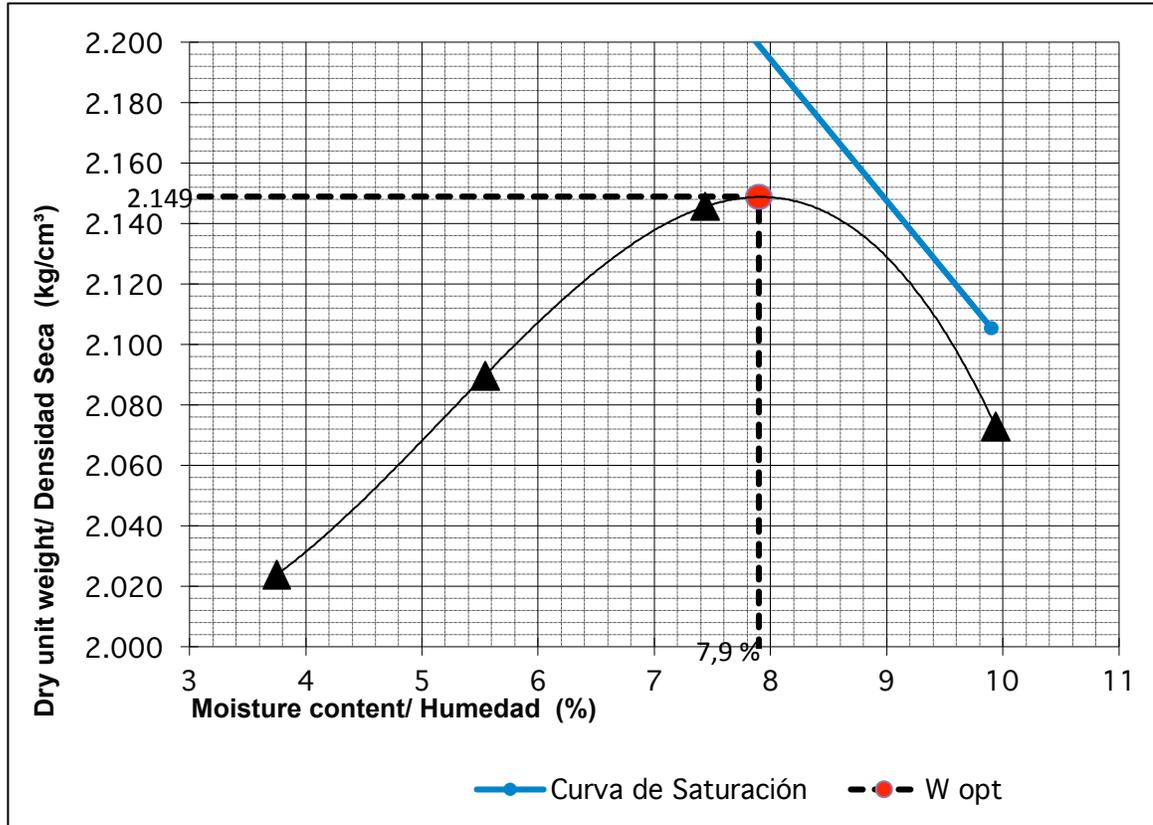
Tabla 24

Densidad de la muestra #3.

Molde + Suelo (gr.)	Peso de Suelo (gr.)	Dens. Húm. (Kg/m ³)	Env. N	% W	Dens. Seca (Kg/m ³)
9.446,00	4.443,00	2099,72	t-30	3,75	2023,84
9.670,00	4.667,00	2205,58	t-78	5,54	2089,78
9.881,00	4.878,00	2305,29	t-17	7,44	2145,69
9.825,00	4.822,00	2278,83	t-26	9,94	2072,80

Elaboración propia.

Gráfico 4.7. Humedad óptima de la muestra #3.



Elaboración propia.

La muestra #3, conformada por un gran porcentaje de arena, si se pudo compactar para una humedad agregada de 2%. También se realizaron compactados para humedades de 4, 6 y 8 porciento, describiendo la curva que se representa en el gráfico 4.7. La densidad máxima seca obtenida fue 2149 kg/m^3 para una humedad óptima de 7,9 % y contenía una humedad higroscópica de 1,7%.

4.1.3.7 Ensayo California Bearing Radio (CBR):

Este ensayo consiste en la penetración de un pistón, a una velocidad constante, a una muestra de suelo compactada a humedad óptima (obtenido del ensayo de proctor modificado) para poder “evaluar la calidad relativa de las capas de suelo que constituyen

la estructura de un pavimento flexible” (Perez, H. 2015). Se prepararon 3 porciones de 6 kilogramos (aplicando la corrección granulométrica) para cada muestra y se les aplicaron 56, 25 y 12 golpes por capa respectivamente. Se les colocó un pistón con un peso estandarizado, se tomó la deformación inicial y se sumergieron durante 96 horas. Por último, se anotó la deformación final y se realizó el ensayo de penetración a velocidad constante, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 25

Datos del ensayo de penetración de la muestra #1.

Penetración	Número de golpes		
	56	25	12
	Lectura del anillo		
pulg.			
0,000	0	0	0
0,025	85	85	59
0,050	235	222	143
0,075	404	378	215
0,100	574	535	261
0,200	1089	971	417
0,300	1441	1258	528
0,400	1708	1467	626
0,500	1975	1675	717

Elaboración propia.

Tabla 26

Datos del molde de la muestra #1

		MOLDE N°	1	3	2
MOLDE		Altura (cm)	11,48	11,46	11,49
		Diámetro	15,23	15,25	15,25
		VOLUMEN	2091,38	2093,22	2098,70
NUMERO DE GOLPES/CAPA			56	25	12
PESO DEL MOLDE+SUELO+AGUA		(gr)	10802	10542	10491
PESO DEL MOLDE		(gr)	5888	5910	5769
PESO SUELO+AGUA		(gr)	4914	4632	4722
DENSIDAD MAX. SUELO HUMEDO		Kg/m ³	2,350	2,213	2,250
N° DE LA CAPSULA			t-17	t-26	t-46
PESO CAPSULA+SUELO+AGUA		(gr)	970,08	744,77	898,57
PESO CAPSULA+SUELO		(gr)	898,69	692,12	830,16
PESO CAPSULA		(gr)	61,14	59,17	60,38
PESO DEL AGUA		(gr)	71,39	52,65	68,41
PESO DEL SUELO SECO		(gr)	837,55	632,95	769,78
HUMEDAD INICIAL		%	8,5	8,3	8,9
HUMEDAD FINAL		%	9,8	10,7	12,4
DENSIDAD MAX. SECA		Kg/m ³	2,165	2,043	2,066
PESO DESPUES DE LA INMERSION		gr	10859	10644	10642
AGUA ABSORBIDA		%	1,3	2,4	3,5
%EXP.	LECT. INICIAL	mm	0,000	0,100	0,200
	LECT. FINAL	mm	0,100	0,730	1,060
EXPANSIÒN		%	0,09	0,55	0,75

Elaboración propia.

Tabla 27

Hinchamiento de la muestra #1.

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	Hinchamiento			
		Primera Lectura	Última Lectura	Dif.	% Hinchamiento
56		0	0,01	0,01	0,1
25		0,010	0,073	0,063	0,5
12		0,020	0,106	0,086	0,7

Elaboración propia.

Tabla 28

Lecturas de la prensa de la muestra #1.

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	Carga de Penetración en lb/pulg ² Después de cuatro (4) días de inmersión								Carga Corregida	
		0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500		
56		28	78	135	191	363	480	569	658	230	390
25		28	74	126	178	324	419	489	558	215	350
12		20	48	72	87	139	176	209	239	90	145

Elaboración propia.

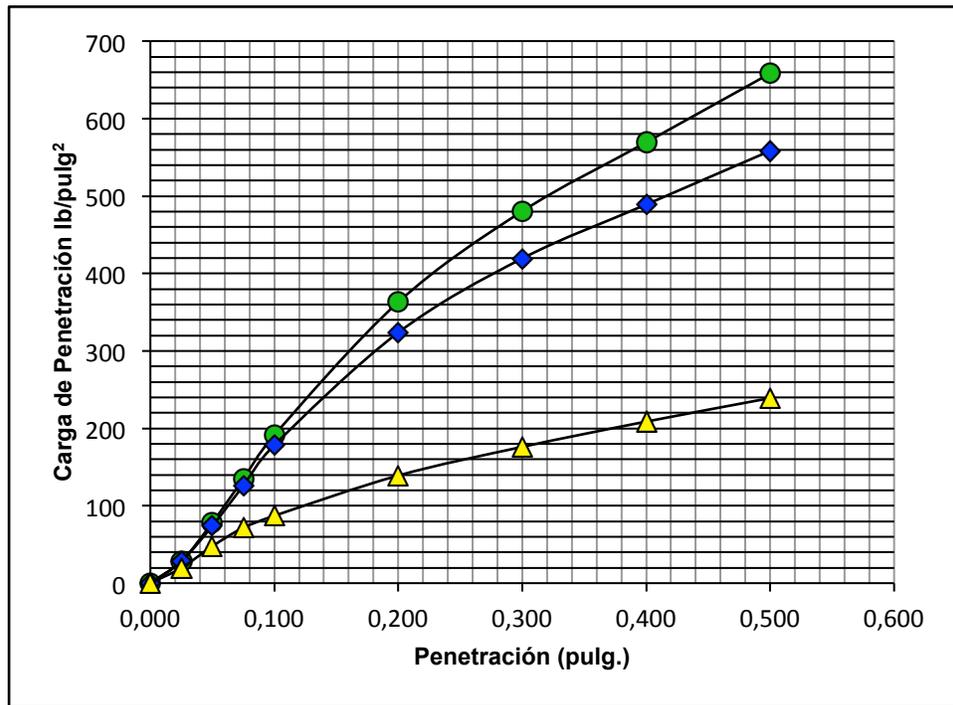
Tabla 29

%CBR con correcciones de la muestra #1.

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	CBR corregido		Humedad		Dens. Seca Kg/m ³	95% D.M.S Kg/m ³	% C.B.R. para 0,20"
		0,1"	0,2"	Wi%	Wf%			
56	●	23,0	26,0	8,5	9,8	2165		
25	◆	21,5	23,3	8,3	10,7	2043	1982	26,0
12	▲	9,0	9,7	8,9	12,4	2066		

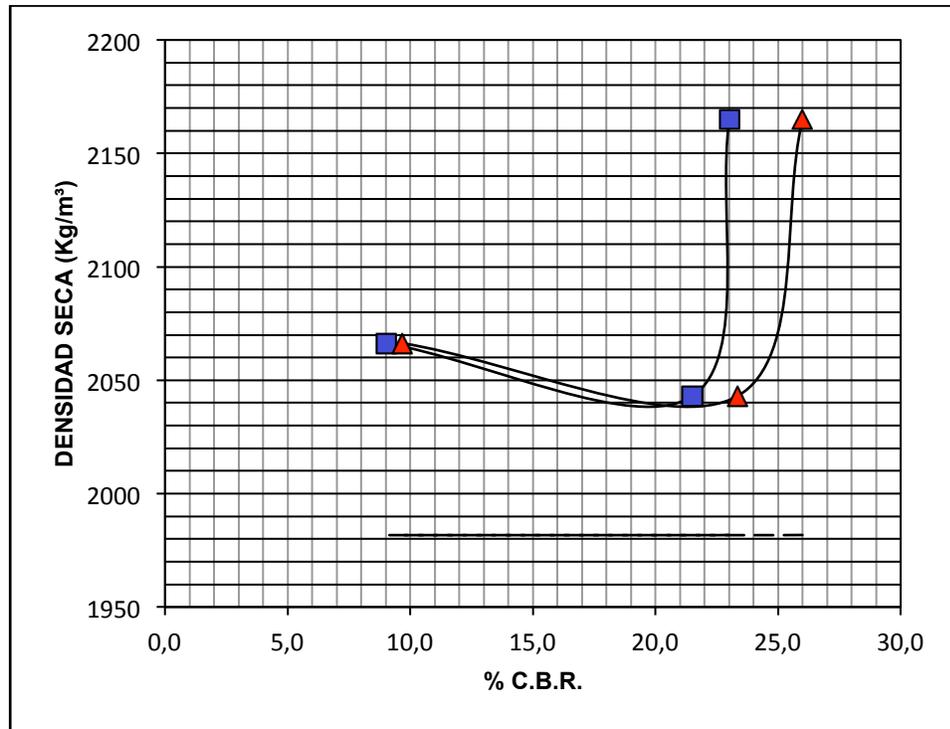
Elaboración propia.

Gráfico 4.8. Carga contra penetración de la muestra #1.



A las curvas se le tuvo que realizar una corrección reubicando el origen para cada una. Elaboración propia.

Gráfico 4.9. Densidad seca contra %CBR de la muestra #1.



Elaboración propia.

La muestra #1 arrojó una densidad seca, para 56 golpes por capa, mucho mayor a la densidad máxima seca obtenida en el ensayo de compactación, cuando deberían ser similares. Esto se sucedió a que durante el proceso de enrazado se pudo haber sobre compactado la muestra, debido a que es un material granular y dificultó nivelar la muestra a la altura del molde sin que la grava sobresaliera.

En el gráfico 4.9 se observa cómo se obtiene una densidad seca mayor para una menor cantidad de golpes, lo que se puede calificar como un comportamiento inusual del suelo.

Tabla 30

Datos del ensayo de penetración de la muestra #2.

Penetración	Número de golpes		
	56	25	12
	Lectura del anillo		
Pulg.			
0,000	0	0	0
0,025	72	196	65
0,050	196	489	202
0,075	313	789	378
0,100	456	1089	548
0,200	873	1897	958
0,300	1206	2262	1115
0,400	1454	2510	1193
0,500	1649	2764	1271

Elaboración propia.

Tabla 31
 Datos del molde de la muestra #2.

		MOLDE N°	4	5	6
MOLDE		Altura (cm)	11,65	11,50	11,63
		Diámetro	15,20	15,20	15,30
		VOLUMEN	2114,00	2086,78	2138,23
		NUMERO DE GOLPES/CAPA	56	25	12
	PESO DEL MOLDE+SUELO+AGUA	(gr)	10831	10781	10865
	PESO DEL MOLDE	(gr)	5973	6023	6114
	PESO SUELO+AGUA	(gr)	4858	4758	4751
	DENSIDAD MAX. SUELO HUMEDO	Kg/m ³	2,298	2,280	2,222
	N° DE LA CAPSULA		t-78	t-30	t-37
	PESO CAPSULA+SUELO+AGUA	(gr)	841,13	739,14	690,64
	PESO CAPSULA+SUELO	(gr)	780,48	688,34	643,80
	PESO CAPSULA	(gr)	60,45	60,21	62,05
	PESO DEL AGUA	(gr)	60,65	50,80	46,84
	PESO DEL SUELO SECO	(gr)	720,03	628,13	581,75
	HUMEDAD INICIAL	%	8,4	8,1	8,1
	HUMEDAD FINAL	%	9,6	9,4	10,4
	DENSIDAD MAX. SECA	Kg/m ³	2,119	2,109	2,056
	PESO DESPUES DE LA INMERSION	gr	10883	10839	10967
	AGUA ABSORBIDA	%	1,2	1,3	2,3
%EXP.	LECT. INICIAL	mm	0,100	0,300	0,200
	LECT. FINAL	mm	0,800	0,210	0,340
	EXPANSIÓN	%	0,60	-0,08	0,12

Elaboración propia.

Tabla 32

Hinchamiento de la muestra #2.

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	Hinchamiento			
		Primera Lectura	Última Lectura	Dif.	% Hinchamiento
56		0,01	0,08	0,07	0,6
25		0,030	0,021	-0,009	-0,1
12		0,020	0,034	0,014	0,1

Elaboración propia.

Tabla 33

Lecturas de la prensa de la muestra #2.

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	Carga de Penetración en lb/pulg ² Después de cuatro (4) días de inmersión								Carga Corregida	
		0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500		
56		24	65	104	152	291	402	485	550	220	340
25		65	163	263	363	632	754	837	921	390	650
12		22	67	126	183	319	372	398	424	180	337

Elaboración propia.

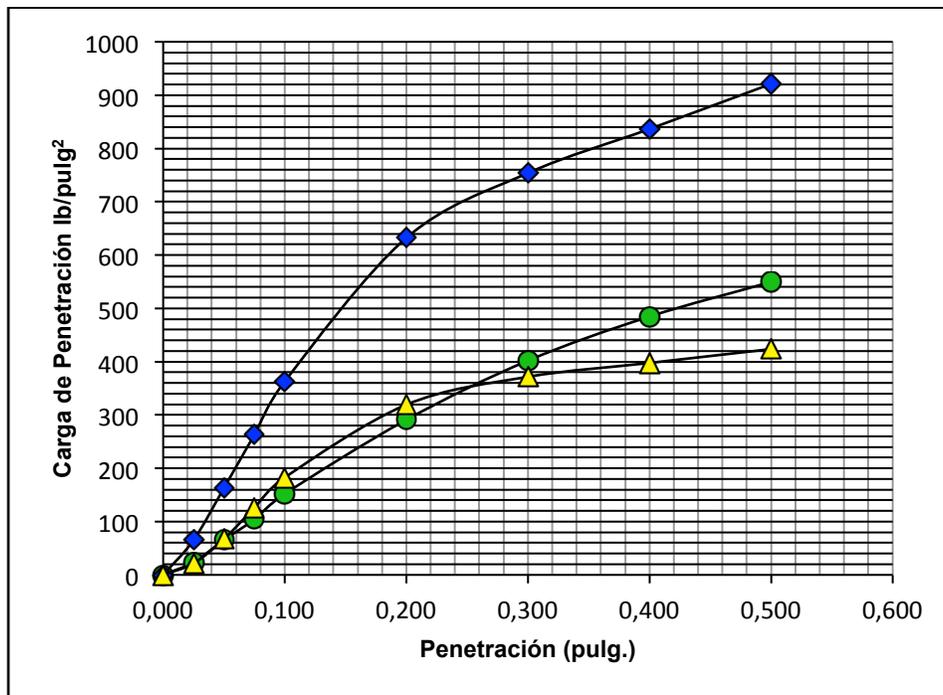
Tabla 34

%CBR con correcciones de la muestra #2.

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	CBR corregido		Humedad		Dens. Seca Kg/m ³	95% D.M.S Kg/m ³	% C.B.R. para 0,20"
		0,1"	0,2"	Wi%	Wf%			
56	●	22,0	22,7	8,4	9,6	2119		
25	◆	39,0	43,3	8,1	9,4	2109	2023	22,7
12	▲	18,0	22,5	8,1	10,4	2056		

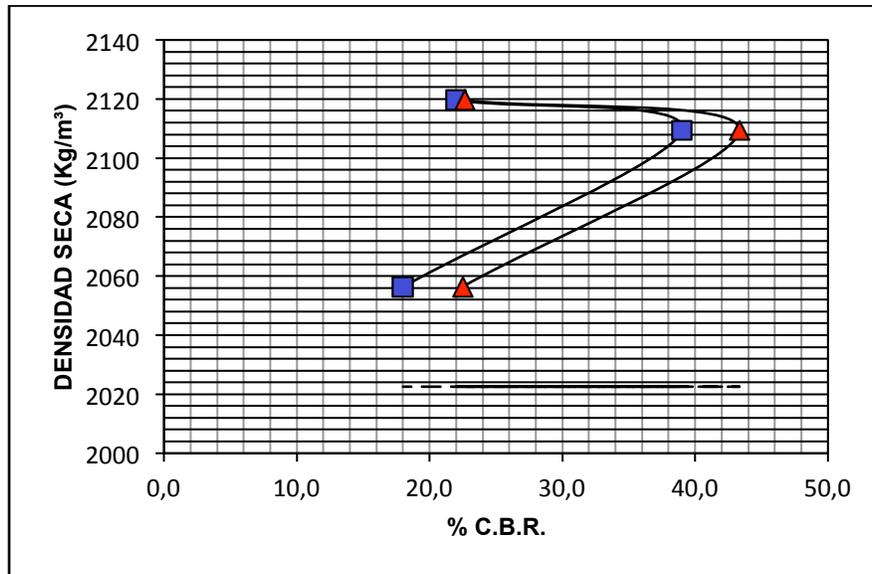
Elaboración propia.

Gráfico 4.10. Carga contra penetración de la muestra #2.



A las curvas se le tuvo que realizar una corrección reubicando el origen para cada una. Elaboración propia.

Gráfico 4.11. Densidad seca contra %CBR de la muestra #2



Elaboración propia.

Para la muestra #2 si se obtuvo una densidad seca, para el cilindro de 56 golpes por capa, semejante a la densidad máxima seca conseguida en el ensayo de proctor. Sin embargo se mantiene el comportamiento inusual del material, ya que se logró una densidad similar para 56 y 25 golpes. En el gráfico 4.10 se aprecia como la probeta a la que se le aplicó 25 golpes requirió una carga de penetración mucho mayor a las de las otras dos.

Este comportamiento sugiere que durante la compactación se generó una ruptura de las partículas del material por lo que podría convenir una menor compactación como mejoramiento artificial de la capacidad mecánica del suelo.

Tabla 35

Datos del ensayo de penetración de la muestra #3.

Penetración	Número de golpes		
	56	25	12
	Lectura del anillo		
pulg.			
0,000	0	0	0
0,025	72	111	13
0,050	196	287	91
0,075	359	495	150
0,100	535	697	202
0,200	1297	1330	352
0,300	1838	1734	457
0,400	2301	2001	548
0,500	2647	2197	626

Elaboración propia.

Tabla 36

Datos del molde de la muestra #3.

		MOLDE N°	7	8	9
MOLDE		Altura (cm)	11,48	11,49	11,46
		Diámetro	15,23	15,25	15,25
		VOLUMEN	2091,38	2098,70	2093,22
		NUMERO DE GOLPES/CAPA	56	25	12
	PESO DEL MOLDE+SUELO+AGUA	(gr)	10709	11102	10855
	PESO DEL MOLDE	(gr)	5817	6242	6170
	PESO SUELO+AGUA	(gr)	4892	4860	4685
	DENSIDAD MAX. SUELO HUMEDO	Kg/m ³	2,339	2,316	2,238
	N° DE LA CAPSULA		t-3	t-40	t-57
	PESO CAPSULA+SUELO+AGUA	(gr)	728,23	665,75	674,34
	PESO CAPSULA+SUELO	(gr)	677,74	620,95	626,76
	PESO CAPSULA	(gr)	61,52	61,94	59,05
	PESO DEL AGUA	(gr)	50,49	44,80	47,58
	PESO DEL SUELO SECO	(gr)	616,22	559,01	567,71
	HUMEDAD INICIAL	%	8,2	8,0	8,4
	HUMEDAD FINAL	%	9,3	9,7	11,5
	DENSIDAD MAX. SECA	Kg/m ³	2,162	2,144	2,065
	PESO DESPUES DE LA INMERSION	gr	10761	11178	10990
	AGUA ABSORBIDA	%	1,2	1,7	3,1
%EXP.	LECT. INICIAL	mm	0,200	0,020	0,100
	LECT. FINAL	mm	0,390	0,370	0,620
	EXPANSION	%	0,17	0,30	0,45

Elaboración propia.

Tabla 37

Hinchamiento de la muestra #3.

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	Hinchamiento			
		Primera Lectura	Última Lectura	Dif.	% Hinchamiento
56	●	0,02	0,039	0,019	0,2
25	◆	0,002	0,037	0,035	0,3
12	▲	0,010	0,062	0,052	0,5

Elaboración propia.

Tabla 38

Lecturas de la prensa de la muestra #3.

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	Carga de Penetración en lb/pulg ² Después de cuatro (4) días de inmersión								Carga Corregida	
		0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500		
56	●	24	65	120	178	432	613	767	882	270	500
25	◆	37	96	165	232	443	578	667	732	275	470
12	▲	4	30	50	67	117	152	183	209	80	130

Elaboración propia.

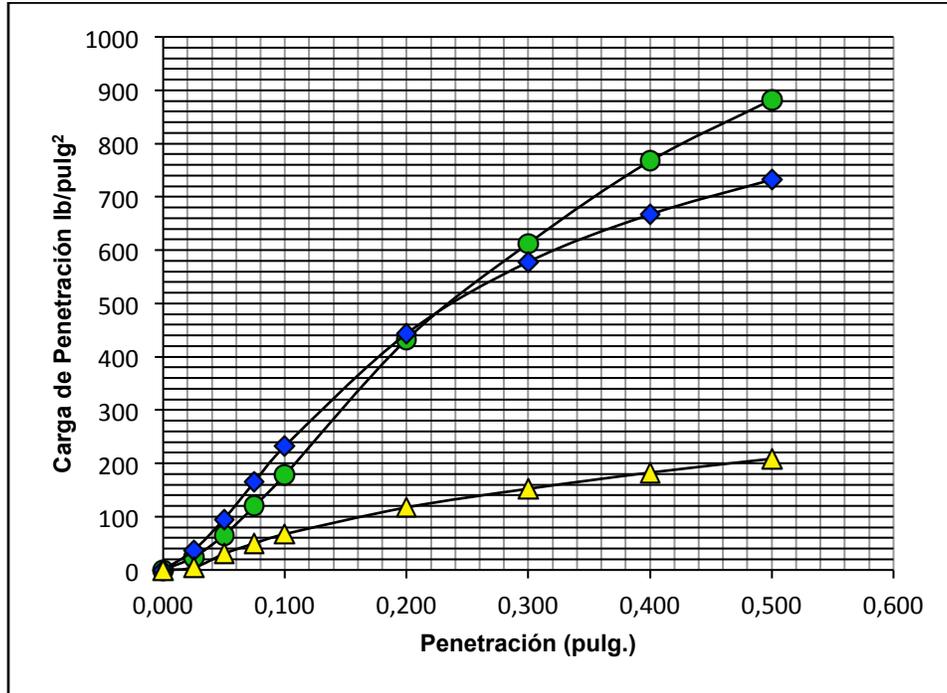
Tabla 39

%CBR con correcciones de la muestra #3.

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	CBR corregido		Humedad		Dens. Seca Kg/m ³	95% D.M.S Kg/m ³	% C.B.R. para 0,20"
		■ 0,1"	▲ 0,2"	Wi%	Wf%			
56	●	27,0	33,3	8,2	9,3	2162		
25	◆	27,5	31,3	8,0	9,7	2144	2042	33,3
12	▲	8,0	8,7	8,4	11,5	2065		

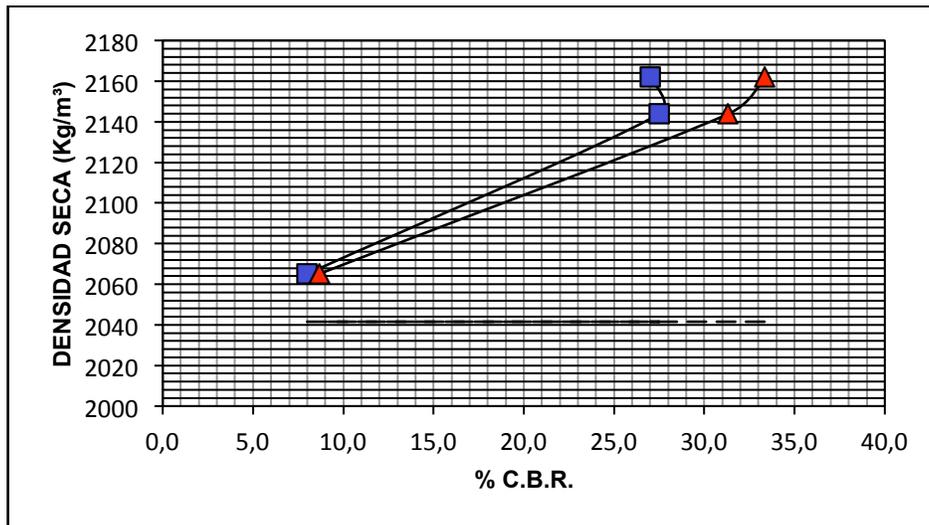
Elaboración propia.

Gráfico 4.12. Carga contra penetración de la muestra #3.420



A las curvas se le tuvo que realizar una corrección reubicando el origen para cada una. Elaboración propia.

Gráfico 4.13. Densidad seca contra %CBR de la muestra #3.



Elaboración propia.

La muestra #3 arrojó una densidad seca, para 56 golpes por capa, similar a la densidad máxima seca obtenida del ensayo de proctor.

A diferencia de las muestras #1 y #2, la muestra #3 si presentó un comportamiento prácticamente lineal como se observa en el gráfico 4.13.

4.1.4 Estudio de tránsito del tramo de carretera.

El primer dato necesario para poder realizar un diseño de pavimentos es el tránsito, por lo que se hace indispensable conocer la cantidad de vehículos que circulará por la vía a diseñar puesto que de esto dependerán las cargas a las cuales estará sometido el pavimento de la misma.

4.1.4.1 Conteo Vehicular manual y promedio diario de tránsito.

Se realizó un conteo vehicular manual utilizando el criterio del Banco Mundial, el cual estipula realizar el conteo de vehículos al menos durante tres días, en el que dos días sean hábiles y un día sea feriado o fin de semana, por tal motivo se realizaron los conteos los días jueves, viernes y sábado. A continuación se presenta de forma tabulada los resultados del conteo vehicular; de la misma manera se incluye en el anexo número 4 las planillas de medición utilizadas para realizar el conteo en el sitio.

Tabla 40

Conteo vehicular número uno con fecha 29 de Junio de 2017, día jueves.

Conteo vehicular #1	Periodo 10 am a 4 pm
	Conteo
Livianos (Carros)	5
2RD (Autobús)	2
2RD (Camión)	15
O3E (Camión)	2

Elaboración propia.

Tabla 41

Conteo vehicular número dos con fecha 11 de Agosto de 2017, día viernes.

Conteo vehicular #2	Periodo 10 am a 4 pm
	Conteo
Livianos (Carros)	2
2RD (Autobús)	0
2RD (Camión)	4
O3E (Camión)	2

Elaboración propia.

Tabla 42

Conteo vehicular número tres con fecha 12 de Agosto de 2017, día sábado.

Conteo vehicular #3	Periodo 10 am a 4 pm
	Conteo
Livianos (Carros)	0
2RD (Autobús)	0
2RD (Camión)	4
O3E (Camión)	0

Elaboración propia.

De los resultados obtenidos de los tres conteos vehiculares realizados, se pudo notar que en el mes de Agosto disminuyó la cantidad de vehículos que transitaba el tramo de carretera en estudio; debido al corto tiempo disponible para realizar nuestra investigación y la lejanía del sitio escogido para realizar el estudio, se siguió adelante la investigación con la información recabada de dichos conteos, obteniendo así los resultados que se muestran a continuación expresados en porcentaje de vehículos pesados, promedio horario de tránsito y promedio diario de tránsito.

Tabla 43

Conteo vehicular número 1, total de vehículos, promedio horario de tránsito y porcentaje de vehículos pesados.

Total Vehículos	24
Vehículos Pesados	19
Promedio horario de tránsito (V/h)	4
%Vehículos pesados	79%

Elaboración propia.

Tabla 44

Conteo vehicular número 2, total de vehículos, promedio horario de tránsito y porcentaje de vehículos pesados.

Total Vehículos	8
Vehículos Pesados	6
Promedio horario de tránsito (V/h)	1.33
%Vehículos pesados	75%

Elaboración propia.

Tabla 45

Conteo vehicular número 3, total de vehículos, promedio horario de tránsito y porcentaje de vehículos pesados.

Total Vehículos	4
Vehículos Pesados	4
Promedio horario de tránsito (V/h)	0.67
%Vehículos pesados	100%

Elaboración propia.

De la misma forma aplicando el criterio del Banco Mundial, en el que se toma la media de los promedios horarios de tránsito de los tres conteos vehiculares realizados,

se logró obtener el promedio horario de tránsito y el promedio diario de tránsito del tramo de carretera en estudio presentado a continuación en la tabla número cuarenta y seis.

Tabla 46

Promedio horario de tránsito y promedio diario de tránsito.

Promedio horario de tránsito (V/hora)	2
Promedio diario de tránsito (V/día) PDT	48

Elaboración propia.

4.1.4.2 Cálculo del Factor Camión ponderado.

Una vez obtenido con el conteo vehicular la cantidad de vehículos pesados, se procede a calcular el porcentaje de cada vehículo en la distribución del conteo; los resultados se expresan en la tabla número 47, 48, y 49.

Tabla 47

Porcentaje de cada vehículo pesado en la distribución, conteo #1.

Vehículos pesados	19	
	Conteo	% en la distribución
2RD (Autobús)	2	10.53%
2RD (Camión)	15	78.95%
O3E (Camión)	2	10.53%

Elaboración propia.

Tabla 48

Porcentaje de cada vehículo pesado en la distribución, conteo #2.

Vehículos pesados	6	
	Conteo	% en la distribución
2RD (Autobús)	0	0.00%
2RD (Camión)	4	66.67%
O3E (Camión)	2	33.33%

Elaboración propia.

Tabla 49

Porcentaje de cada vehículo pesado en la distribución, conteo #3.

Vehículos pesados	4	
	Conteo	% en la distribución
2RD (Autobús)	0	0.00%
2RD (Camión)	4	100.00%
O3E (Camión)	0	0.00%

Elaboración propia.

Una vez obtenidos estos valores de porcentajes de vehículos pesados en la distribución de cada conteo vehicular, se procedió a realizar un promedio aritmético de los porcentajes en la distribución por tipo de vehículo pesado, el cual sumado a los valores de factor camión tomados de la tabla 17 del libro del Ing. Corredor, G. titulado “*Apuntes de Pavimentos Volumen I*”, (2004), en la página 2-44; permite obtener el valor del factor camión ponderado a ser utilizado para el diseño de pavimentos, esto se refleja en la tabla 13 presentada a continuación.

Tabla 50

Valor del factor camión ponderado.

	FC según tabla 17 Pág. 2-44	% Distribución promedio	FC Ponderado
2RD (Autobús)	0.537	3.51%	2.27
2RD (Camión)	2.138	81.87%	
O3E (Camión)	3.429	14.62%	

Elaboración propia.

4.1.4.3 Cálculo de las cargas equivalentes acumuladas en el primer año de diseño.

Según el Ing. Corredor, G. en su libro titulado “*Apuntes de Pavimentos Volumen I*”, (2004). La fórmula a utilizar para el cálculo de las cargas equivalentes acumuladas en el primer año de diseño es la siguiente:

$$EE = PDT * \%Vp * FC * Fds * Fuc * A * D$$

Siendo cada término de la ecuación los siguientes:

PDT: Promedio diario de tránsito.

%Vp: Porcentaje de vehículos pesados.

FC: Factor camión.

Fds: factor de distribución por sentido.

Fuc: factor de utilización de canal.

A: factor de ajuste por tránsito desbalanceado.

D: número de días por año en que las variables anteriores son aplicables.

A continuación, se muestra en la tabla número 51, los resultados derivados de la aplicación de la ecuación antes descrita.

Tabla 51

Valor de las cargas equivalentes acumuladas en el primer año de diseño.

PDT	48
%VP	84.72%
FC	2.27
Fds	0.5
Fuc	1
A	1.2
D	365
EE	20222

Elaboración propia.

4.1.4.4 Cálculo de las cargas equivalentes totales en el período de diseño.

De igual forma, el autor antes mencionado en su publicación, explica la fórmula para determinar las cargas equivalentes en el periodo de diseño a partir de las cargas equivalentes acumuladas en el primer año de diseño la cual queda expresada como:

$$REE = EE * F$$

Siendo los términos de la fórmula los siguientes:

EE: cargas equivalentes acumuladas en el primer año de diseño.

F: factor de crecimiento.

El factor de crecimiento según el Ing. Corredor, G. se calcula con la fórmula siguiente:

$$F = [(1+TC)^n - 1] / TC$$

Siendo los términos de la ecuación los siguientes:

TC: tasa de crecimiento.

N: período de diseño en años.

Para los efectos de la presente investigación, será utilizada una tasa de crecimiento del 4,20% valor promedio asumido a partir de la tabla 12 (Valores de Tasa de Crecimiento Interanual) del libro publicado por el Ing. Corredor, G. titulado “*Apuntes de Pavimentos Volumen I*”, (2004) en su página 2-38.

El período de diseño asumido será de 10 años, un periodo conservador considerando que la propuesta de diseño pavimentos a desarrollar será la de un pavimento rígido.

Una vez expuestos los términos de la fórmula a utilizar se presentan los resultados del cálculo de las cargas equivalentes totales en el período de diseño en la tabla 52.

Tabla 52

Valor de las cargas equivalentes totales en el período de diseño.

EE	20222
TC	4.20%
N	10 años
REE	245047

Elaboración propia.

4.1.5 *Obtención del CBR de diseño.*

Será tomado como método de obtención del CBR de diseño, el criterio del percentil de diseño en el cual una vez seleccionado un percentil de diseño, los cuales se reflejan en la tabla 3 (pág.3-13) del libro “*Apuntes de Pavimentos Volumen I*”, (2004). Consiste en ordenar los resultados de CBR de las muestras de mayor a menor, y posteriormente obtener la relación del número de ensayos igual o mayor CBR expresados en forma porcentual del número total de muestras; una vez obtenidos estos valores se procede a graficar %CBR vs %Muestras igual o mayor, al buscar el percentil de diseño en la gráfica se procede a cortar la curva y obtener el valor de CBR de diseño a utilizar. (Ing. Corredor, Gustavo).

A continuación se presenta la tabla número 53, en la que se resume lo antes expresado a partir de los valores de CBR obtenidos de las tres muestras de suelo estudiadas en líneas anteriores dentro del presente trabajo de investigación.

Tabla 53

Método del percentil de diseño.

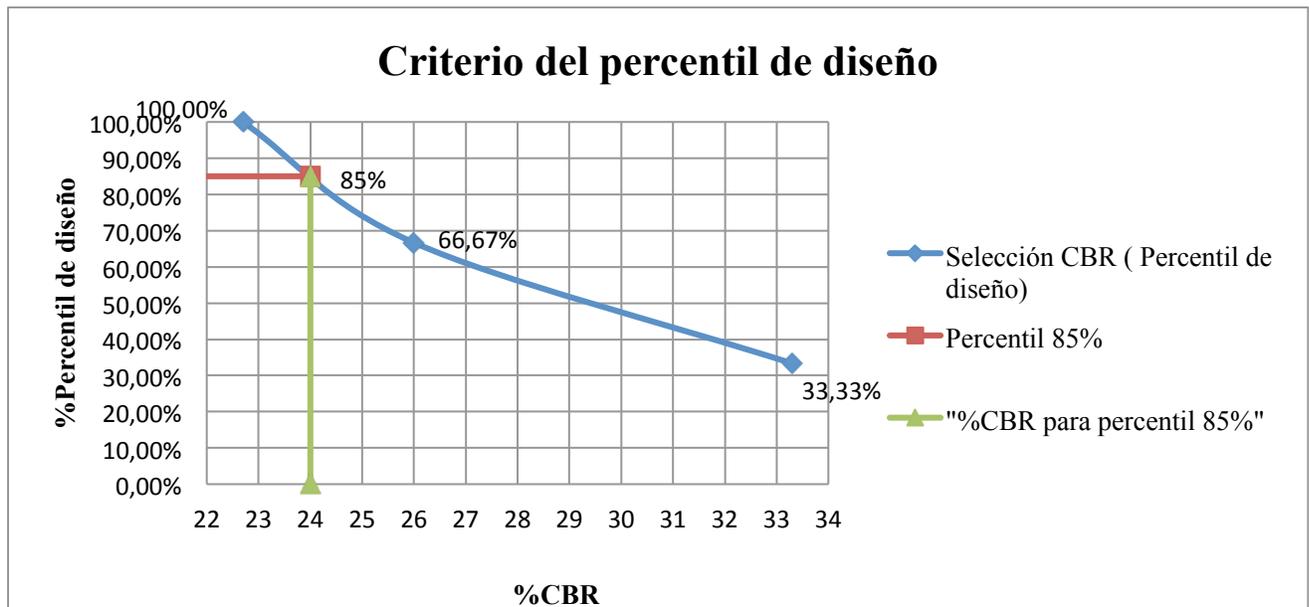
Muestra	Progresiva	CBR (%)	Muestra	CBR (%)	#Muestras CBR	% Muestras CBR
2	0+000	22.7	2	22.7	3	100,00%
3	0+250	33.3	1	33.3	2	66,67%
1	0+500	26	3	26	1	33,33%

Elaboración propia.

El percentil de diseño asumido para el presente trabajo de investigación según la tabla antes mencionada fue de 85% correspondiente a sub-rasante mejorada para cargas equivalentes totales menores a diez millones.

Una vez seleccionado el percentil de diseño y ordenados los datos de %CBR de las muestras se procede a realizar la correspondiente gráfica presentada a continuación en la gráfica número 1.

Gráfico 4.14. %Muestras CBR vs. %CBR



Elaboración propia.

Al realizar los cortes de abscisas y ordenadas según el percentil de diseño 85% asumido se obtuvo un % CBR de diseño de 21.60%, el cual será utilizado para conseguir mediante correlación el Módulo Resiliente necesario para el diseño de pavimento.

Además de utilizar el criterio del percentil de diseño para obtener el %CBR de diseño, se creyó conveniente utilizar el método del coeficiente de variabilidad para comprobar que la unidad de diseño utilizada para la investigación cumplía con los rangos recomendados de cálculo, los cuales sugieren que el percentil de diseño sea superior al 15%.

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 54

Método del coeficiente de variabilidad.

Muestra	Progresiva	CBR (%)	CBR Promedio	(CBRi-CBRp) ²	Sumatoria	Desviación Estándar	Coeficiente de Variabilidad (%)
2	22.7	27.33	21.47	22.7			
3	33.3	28.8	35.60	33.3	58.85	4.43	16.20 > 15 %
1	26	24.2	1.78	26			

Elaboración propia.

El resultado obtenido del coeficiente de variabilidad arrojó un valor de 16.20%. A pesar de que sea mayor a 15%, tomando en cuenta lo reducida que es la zona de estudio y considerado que solo se realizaron 3 calicatas, se puede aplicar el método.

4.1.6 Cálculo del Módulo Resiliente de diseño de la subrasante.

El porcentaje CBR de diseño obtenido anteriormente corresponde a un valor de laboratorio saturado, por lo que se establecen las siguientes correlaciones expresadas en la tabla 55 con los correspondientes resultados, para la obtención del porcentaje CBR húmedo y seco. (Ing. Corredor, G.)

Tabla 55

Correlación de %CBR.

%CBR saturado (Valor de laboratorio)	24 %
% CBR seco = 1.6 x CBR húmedo	96 %
% CBR húmedo = 2.5 x CBR saturado	60 %

Elaboración propia.

Con las correlaciones antes mencionadas, y los valores obtenidos a partir de las mismas, mediante correlaciones nuevamente, se procede a realizar el cálculo del módulo resiliente para cada estado de humedad. (Ing. Corredor, G.)

Estas correlaciones se muestran en la tabla 56, dependiendo del %CBR será la correlación a utilizar; posteriormente en la tabla 57 se presentan los resultados de cada módulo resiliente (MR).

Tabla 56

Correlación MR.

Valor CBR Subrasante	Correlación Cálculo MR
CBR \leq 7.2%	MR = 1500 x CBR
7.2% < CBR < 20%	MR = 3000 x CBR ^{0.65}
CBR > 20%	MR = 4326 x Ln (CBR) + 241

Información obtenida del libro titulado “*Apuntes de Pavimentos Volumen I*”,

(2004). Ing. Corredor, G. (p.3-19). Elaboración propia.

Tabla 57

Resultados Módulo Resiliente (MR).

MR saturado (psi)	13989
MR húmedo (psi)	17953
MR seco (psi)	19986

Elaboración propia.

Para obtener el Módulo Resiliente de diseño es necesario que se calculen antes los valores del daño relativo (UR) para cada estado de humedad, que posteriormente mediante ponderación y la utilización de la fórmula presentada a continuación, se permite calcular el MR de diseño.

La fórmula de cálculo del UR a utilizar se expresa de la siguiente forma:

$$UR = (D^{0,75} - 0,39 * MR^{0,25})^{3,42}$$

Para cada estado de humedad se calcula un valor de daño relativo, los cuales se presentan a continuación en la tabla 58.

Tabla 58

Valores de daño relativo según estado de humedad de la subrasante.

Ur seco	52 %
Ur húmedo	45 %
Ur saturado	42 %

Elaboración propia.

Una vez calculados los valores de daño relativo para cada estado de humedad haciendo uso del “*Mapa de Distribución de Suelos Venezolanos Según la Condición de Humedad*” publicado por la Prof. Tedesco, G. en su presentación para dictar el curso de “Pavimentos” en la Universidad Católica Andrés Bello (ver mapa en anexo número dos); se obtiene la cantidad de meses en los cuales el suelo del Estado Anzoátegui se halla en condiciones secas, húmedas o saturadas. Gracias a estos datos se puede calcular los valores de UF ponderado, que sirven de dato para obtener el MR de diseño de la subrasante; esto se presenta a continuación en las tablas número 59, 60 y 61.

Tabla 59

Condiciones de humedad del suelo.

Meses secos	6
Meses húmedos	3
Meses saturados	3

Esta tabla arroja como dato que el porcentaje del tiempo durante el cual la estructura de la subrasante está sometida a condiciones cercanas a la saturación es de un 50%. Elaboración propia.

Tabla 60

Valor de daño relativo ponderado.

UR ponderado	48 %
--------------	------

Valor ponderado según los meses secos, húmedos, saturados; obtenido a partir de los valores UF de la tabla 21. Elaboración propia.

Tabla 61

Valor del Módulo Resiliente de Diseño.

MR diseño subrasante (pci)	16139
----------------------------	-------

Valor obtenido utilizando la fórmula de cálculo del MR a partir del UR ponderado, es decir, el despeje de la ecuación para el cálculo del daño relativo. Elaboración propia.

4.1.7 Diseño de espesores de pavimento.

A continuación se presentan los cálculos del diseño de pavimentos propuesto, el cual corresponde a un pavimento rígido. Esta propuesta surge debido a la necesidad de utilizar un material que sea resistente a las condiciones geo-ambientales de la subrasante de la carretera. Tomando en cuenta que el pavimento existente en la actualidad es un pavimento flexible y se encuentra la carpeta asfáltica directamente sobre la subrasante, surge la idea de utilizar un pavimento rígido de concreto portland que al igual que el pavimento existente se disponga directamente sobre la subrasante, esperando que gracias

a las propiedades del concreto, posea mayor resistencia a condiciones de saturación del terraplén base y obedezca a un periodo de diseño de diez años.

La norma AASHTO 1993 establece la siguiente ecuación para el cálculo de espesores de pavimento rígido:

$$\begin{aligned} \log_{10}(W_{18}) = & Z_R \times S_0 + 7.35 \times \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \\ & + (4.22 - 0.32 \times p_t) \times \log_{10} \left[\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0.25}} \right)} \right] \end{aligned}$$

Ecuación 1.2.2 Norma AASHTO 1993 “*Diseño de estructuras de pavimento*”

Donde los términos de la ecuación son los siguientes:

W_{18} = Número de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el período de diseño.

Z_R = Confiabilidad.

S_0 = Desviación estándar.

D = espesor de la losa de pavimento en pulgadas.

ΔPSI = diferencia entre la servicapacidad inicial y final del pavimento.

S'_c = módulo de rotura (psi) del concreto utilizado en el diseño.

J = coeficiente de transferencia de carga.

C_d = coeficiente de drenaje.

E_c = módulo de elasticidad (psi) del concreto.

K = módulo de reacción de la subrasante (pci).

Para el cálculo del espesor de la losa de concreto se utilizaron los siguientes valores para cada término de la ecuación a utilizar:

- a. W_{18} (*Número de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el período de diseño*): anteriormente fue calculado un valor de cargas equivalentes para un período de 10 años el cual fue de 245047 EE, este valor corresponde a correlaciones para pavimentos flexibles, para el cálculo de espesores de pavimentos rígidos el valor obtenido se incrementa en un 50 % arrojando un valor de 367571 EE.
- b. Z_r (*Confiabilidad*): se asume una confiabilidad del 50% por tratarse de una vía rural con bajo volumen de tránsito y el valor de Z_r a utilizar será de -0.000 según el Método AASHTO 1993.
- c. S_o (*Desviación estándar*): haciendo uso de los “*Apuntes de Pavimentos, Tomo III*” del Ing. Corredor, G. se asume una desviación estándar de 0.35 correspondiente a valores para pavimentos rígidos con variación en la predicción del comportamiento del pavimento y de la estimación del tránsito.
- d. ΔPSI (*Diferencia entre la servicapacidad inicial y final del pavimento*): se asume un índice de servicapacidad inicial de 4.5 establecido en el experimento vial de la AASHTO para pavimentos rígidos y un índice de servicapacidad final de 2 considerado como valor mínimo tratándose de un diseño de pavimentos para una vía de bajo volumen de tránsito. La diferencia entre la servicapacidad inicial y final arroja un valor de 2.5.

- e. $S'c$ (*Módulo de rotura del concreto*): se asume un valor correspondiente para concreto de 750 psi.
- f. J (*Coefficiente de transferencia de carga*): se asume un valor de 2.5 considerando según la tabla 2.6 de la Norma AASHTO 1993, “Valores recomendados para coeficientes de transferencia de carga para varios tipos de pavimento.” Tomando en cuenta que se utiliza concreto tipo Portland con pasadores de carga no reforzado.
- g. C_d (*Coefficiente de drenaje*): el valor utilizado será de 0.8 obtenido de la tabla 2.5 de la Norma AASHTO 1993, “Valores recomendados para coeficientes de drenaje C_d para pavimentos rígidos”, considerando calidad de drenaje pobre debido a que el CBR de diseño esta cercano al 20% y el porcentaje del tiempo en el cual la estructura de pavimento esta sometida a condiciones de humedad cercanas a saturación superior al 25%.
- h. E_c (*Módulo de elasticidad psi del concreto*): para el diseño de pavimento rígido se considerará un módulo de elasticidad 5000000 psi.
- i. K (*Módulo de reacción de la subrasante*): para obtener el modulo de reacción a utilizar en la subrasante se utilizo la siguiente ecuación establecida por la Norma AASHTO 1993 para pavimentos rígidos:

$$K = \frac{Mr}{19.4} (pci)$$

Donde el valor de M_R a utilizar es de 16139 pci arrojando como resultado un valor de 831,91 pci para el módulo de reacción de la subrasante.

Una vez establecidos los valores a utilizar dentro de la ecuación para el cálculo de espesores de pavimentos rígidos establecida por la Norma AASHTO 1993, se procedió a realizar el cálculo obteniendo como resultado un espesor de 3,98 pulgadas, lo que es igual a 9.95 centímetros, por razones constructivas se establece un espesor de la losa de concreto de 10 cm lo cual arroja un valor para W_{18} de 3038042 EE siendo esta la capacidad real de la losa de pavimento diseñada para el período de 10 años superior a la estimada con el estudio de tránsito antes mencionado.

4.2 Conclusiones.

4.2.1 El tipo de suelo obtenido, a partir de los ensayos realizados a las muestras tomadas, es una combinación de grava y arena con características limosas, calificado como un suelo A-2-4(0) según la AASHTO, donde el índice de grupo obtenido clasifica al suelo de la subrasante de dicha vialidad como bueno a excelente para la funcionalidad del mismo. Los bajos índices de plasticidad, inclusive nulo para efectos de la calicata #3, sugieren que el verdadero problema es la capilaridad del suelo debido a sus porcentajes de arena.

4.2.2 Teniendo en cuenta que el diseño de pavimento existente es flexible a profundidad plena y que un gran porcentaje de fallas sugieren errores en la correlación ligante-agregado de la mezcla, un sobrecalentamiento durante su vertido o una deficiente compactación de la subrasante inclusive, confirma los cambios en el nivel freático como principal causa de las fallas. Cabe destacar que el suelo se encuentra a una

humedad superior a la óptima de compactación lo cual genera problemas de hundimientos en la subrasante logrando así causar fallas sobre la carpeta asfáltica que sobre este reposa. Esto, sumado a la falta de mantenimiento preventivo ha llevado a la carretera a un estado de deterioro la cual se puede considerar como una vía intransitable.

4.2.3 El conteo vehicular determina la carretera Boca de Uchire – El Hatillo como una vía de tránsito bajo según la Norma Técnica Fondonorma 2000-1.

4.2.4 Es por tales motivos que dentro del presente Trabajo Especial de Grado se hace la siguiente propuesta, debido a los altos costos de mantenimiento y a las condiciones geo-ambientales del suelo se propone remover la carpeta asfáltica existente en la vialidad y construir un pavimento rígido de concreto hidráulico cuyos resultados de espesor constructivo pueden ser tomados de los cálculos antes expuestos considerando un concreto hidráulico de alta resistencia y como material de subrasante, el ya existente. Se puede demostrar su eficiencia debido no solo a las ventajas del concreto como material constructivo si no a que en la vialidad existe un tramo en el cual se implementó tal solución, y actualmente es el único tramo de la carretera que puede ser considerado como transitable. Además basamos nuestra propuesta en que aún manteniendo el contacto directo entre el pavimento -en este caso rígido- y el terreno de cimentación, al tratarse de una losa rígida, los cambios de nivel que se ocasionen en la subrasante al ser mínimos no generaran problemas de estabilidad o hundimiento en la carpeta de rodadura de la vialidad. Cabe destacar que para efectos de este Trabajo Especial de Grado no se calculó la distribución del refuerzo de acero de la losa rígida, sin embargo debe llevar el pertinente considerado por un ingeniero estructural.

4.2.5 Se consideró como otra opción viable utilizar la misma capa de rodamiento asfáltica, apoyada sobre la subrasante mejorada con 20 centímetros adicionales al nivel actual. Esta opción se fundamenta en que nivel freático no podría subir lo suficiente como para afectar la capa asfáltica y de igual forma el material de subrasante debe compactarse a una humedad óptima de manera que desarrolle su densidad máxima y pueda deformarse y reacomodarse como un pavimento flexible.

Anexos

Anexo #1: Aspectos administrativos

- **Recursos necesarios.**

- ***Recursos materiales.***

Para la realización de este trabajo investigativo, fue necesario la utilización de diversos tipos de materiales, desde equipos tecnológicos hasta herramientas manuales tales como:

- Vehículo personal.
- Sistema de localización GPS.
- Cámara fotográfica de alta resolución.
- Herramientas de trabajo manual tales como: pala, pico, chicura, cuchara.
- Equipos de laboratorio de suelos.
- Computadora con programas de Excel para la realización de los cálculos en el laboratorio de suelos y elaboración del Trabajo Especial de Grado.

- ***Recursos humanos.***

El Trabajo Especial de Grado realizado requirió como recurso humano básicamente al personal técnico del laboratorio de suelos junto a los tesisistas y el tutor de los mismos.

Anexo #2: Cronograma de actividades.

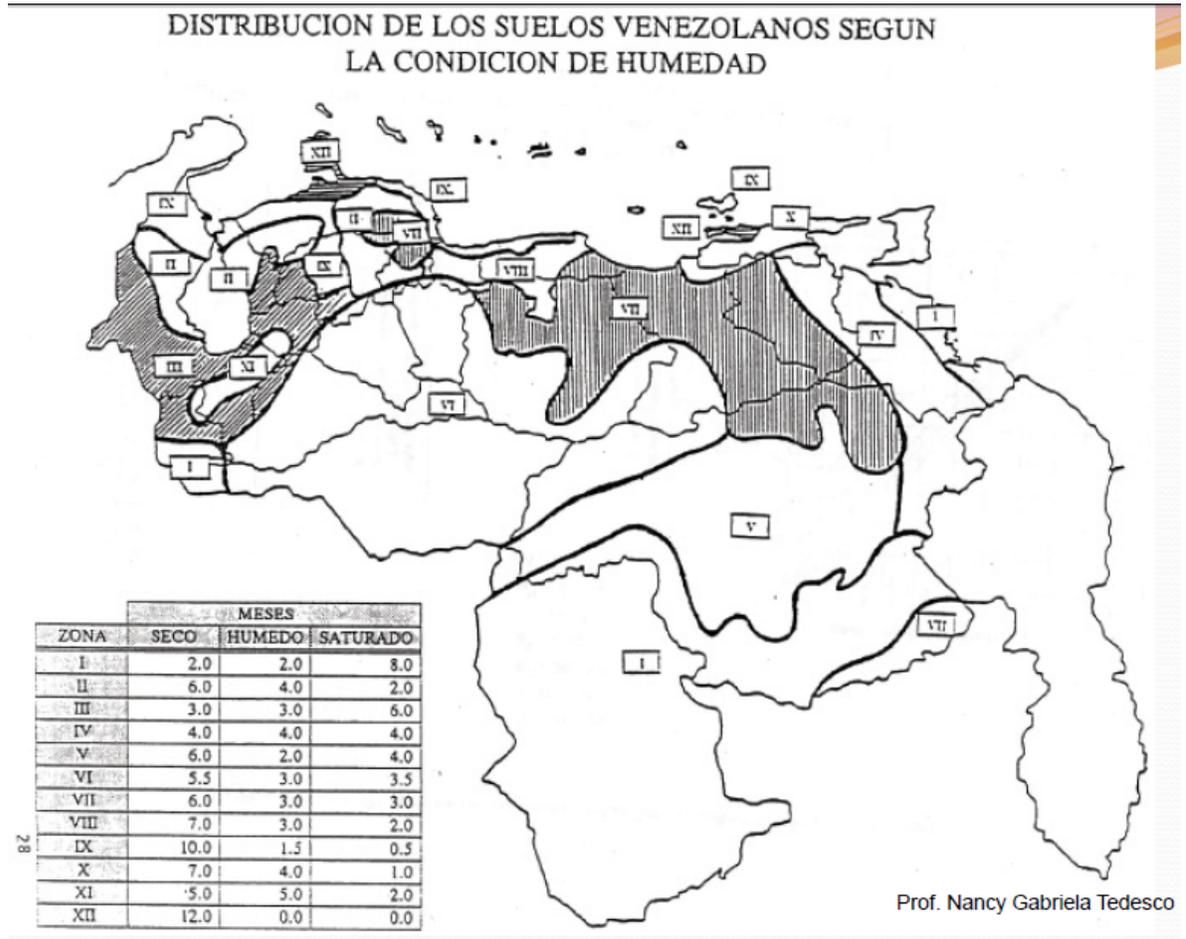
El siguiente cronograma describe de forma resumida los tiempos de ejecución de las tareas ejecutadas para lograr cumplir con los objetivos planteados en la realización del Trabajo Especial de Grado.

ACTIVIDAD	ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Investigación teórica sobre el tema	■	■	■	■						■	■	■	■					■	■	■	■	■	■	■	■				
Reconocimiento de la carretera en estudio					■																								
Toma de muestras de suelo										■								■	■										
Ensayo de muestras en el laboratorio de la UCAB											■	■	■																
Ensayo de muestras en laboratorio privado AIG																				■	■	■	■	■	■				
Caracterización de fallas en la carretera					■					■								■	■	■	■	■	■	■	■				
Conteo manual de tránsito										■								■	■										
Elaboración del marco teórico																													
Análisis de resultados																													

Anexo #3. Puntos relevantes de la carretera Boca de Uchire – El Hatillo para la investigación.



Anexo #4. Mapa de la distribución de los suelos venezolanos según la condición de humedad.



Fuente: Diapositivas del curso Pavimentos de la UCAB, Profesora Nancy Tedesco.

Anexo #5. Muestra para determinar Límites de Consistencia. Calicata #3.



Anexo #6 Planilla de conteo vehicular manual.

a) *Conteo vehicular #1.*

Conteo vehicular #1 Carretera Boca de Uchire - El Hatillo Progresivas 4+760 a 14+900 este-oeste	Fecha: 29 Junio 2017
	Periodo 10 am a 4 pm
	Conteo
Livianos (Carros)	5
2RD (Autobús)	2
2RD (Camión)	15
O3E (Camión)	2

Elaboración propia.

b) *Conteo vehicular #2.*

Conteo vehicular #2 Carretera Boca de Uchire - El Hatillo Progresivas 4+760 a 14+900 este-oeste	Fecha: 11 Agosto 2017
	Periodo 10 am a 4 pm
	Conteo
Livianos (Carros)	2
2RD (Autobús)	0
2RD (Camión)	4
O3E (Camión)	2

Elaboración propia.

c) *Conteo vehicular #3.*

Conteo vehicular #3 Carretera Boca de Uchire - El Hatillo Progresivas 4+760 a 14+900 este-oeste	Fecha: 12 Agosto 2017
	Periodo 10 am a 4 pm
	Conteo
Livianos (Carros)	0
2RD (Autobús)	0
2RD (Camión)	4
O3E (Camión)	0

Elaboración propia.

Anexo #7 Resultados de los ensayos de laboratorio de suelos.

A continuación se presentan las planillas de datos y resultados utilizadas en el laboratorio Amundaray Ingeniería Geotécnica C.A. Las cuales corresponden a los siguientes ensayos realizados:

- Humedad Natural.
- Granulometría.
- Límites de Consistencia.
- Gravedad Específica.
- Compactación.
- CBR.



Cliente:
Proyecto:

Fecha de ensayo:
Lugar: Laboratorio AIG
Muestras: #|REF!

Lugar:
Revisión:
Código:
Revisado por:

LÍMITES DE CONSISTENCIA
(ASTM D 4318-10)

MUESTRA	Nº GOLPES	CAPSULA No.	PESO DE LA CAPSULA (gr)	PESO DEL SUELO HUMEDO (gr.)	PESO DEL SUELO SECO (gr.)	% DE HUMEDAD	RESULTADOS
1	30	K	70,40	79,39	77,62	24,52	LL: 25
	25	C-2	72,60	84,41	82,07	24,71	LP: 17
	21	V	73,50	86,42	83,69		IP: 8
	LP	VII	72,62	80,83	79,65	16,79	
2	30	XI	73,69	83,33	81,63	21,41	LL: 22
	22	XIII	70,95	79,38	77,80	23,07	LP: 15
	17	VI	72,04	80,64	79,15		IP: 8
	LP	P	72,09	81,94	80,69	14,53	
3			NP				LL:
							LP:
							IP:
							LL:
							LP:
	LP						IP:
							LL:
							LP:
							IP:
	LP						LL:
							LP:
							IP:
	LP						LL:
							LP:
							IP:

OBSERVACIONES:

SONDEO

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

IP: Índice plástico

NP: No plástico

Pag.

de



**PESO ESPECIFICO y ABSORCION
AGREGADO GRUESO**

COVENIN 269-98

FORMATO	FECHA EMISION	FECHA REVISION	DEPARTAMENTO			
AIG-FENS-002.07	23/10/2009		SUELOS	CONCR.	ASFALT.	OTRO
	REVISION	0				

PROYECTO: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO "SOLUCIÓN PARA EL PAVIMENTO DE UN TRAMO DE CARRETERA CON NIVELES FREÁTICOS ALTOS"	CODIGO PROYECTO:
UBICACION DEL PROYECTO: BOCA DE UCHIRE, ESTADO ANZOATEGUI	MUESTRA #: 3
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: CARRETERA BOCA DE UCHIRE - EL HATILLO	CODIGO DE REFERENCIA:
CLIENTE: UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO	FECHA DE ENSAYO: 14/09/2017

DATOS DEL ENSAYO:			ENSAYO
1	PESOS (gr)	MUESTRA S.S.S. EN AIRE:	5.468,3
2		MUESTRA SUMERGIDA:	3.442,5
3		MUESTRA SECA EN AIRE:	5.431,1
4		AGUA ABSORBIDA :	37,3
5	VOLUMEN DE LA MUESTRA SECA (cm3):		1.988,6
6	VOLUMEN DE LA MUESTRA S.S.S (cm3):		2.025,9
7	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):		25,0

VALORES INDIVIDUALES:	
PESO ESPECIFICO BULK A 23° C:	2,680
PESO ESPECIFICO S.S.S.:	2,699
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,731
% DE ABSORCION:	0,686 %

VALORES PROMEDIOS	
PESO ESPECIFICO BULK A 23° C:	2,680
PESO ESPECIFICO S.S.S.:	2,699
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,731
% DE ABSORCION:	0,686 %

OBSERVACIONES: _____

	REALIZADO POR (AIG):	REVISADO POR (AIG):
Firma		
Nombre	Pedro Lugo	Emilio Montilla
Fecha	14/09/2017	20/09/2017



Ciente:



Proyecto:

Fecha de ensayo:

Lugar:

Laboratorio AIG

Muestras:

Lugar:

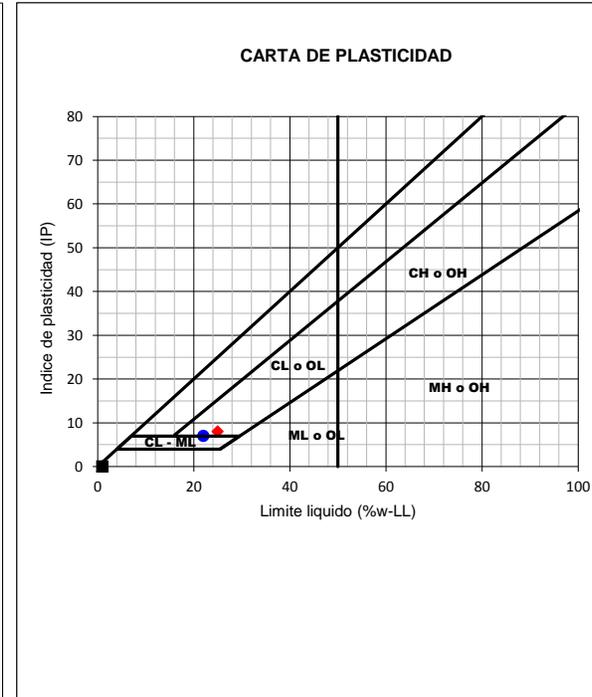
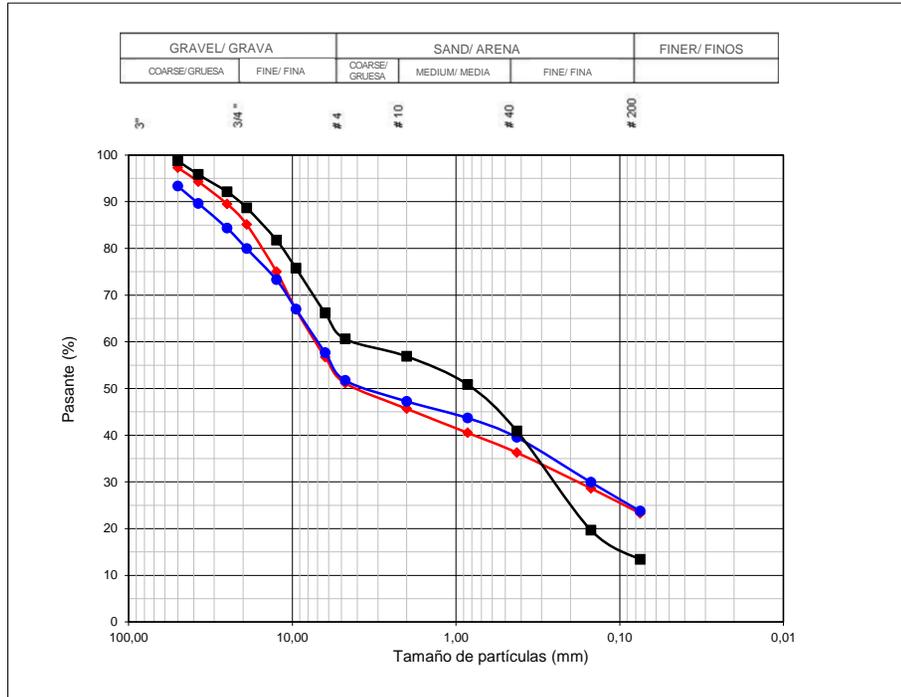
Revisión:

Código:

-GRAN

Revisado por:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-422-63 (Reapproved 2007) y ASTM D-4318-10)



NATURALEZA DE LA MUESTRA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	GRAVA (%)	ARENA (%)			FINOS (%)	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LL (%)	LP (%)	IP (%)	S.U.C.S.	AASHTO
				GRUESA	MEDIA	FINA							
	1,00		49	5	9	13	23						
	2,00		48	4	8	16	24						
	3,00		39	4	16	28	13						

SONDEO

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

IP: Índice plástico

G: Grava

S: Arena

M: Limo

C: Arcilla

W: Bien gradada

P: Mal gradada

H: Alta plasticidad

L: Baja plasticidad

O: Orgánica

S.U.C.S: Sistema unificado de clasificación de suelos

AASHTO: American association of state highway and transportation

NP: No plástico



**PESO ESPECIFICO y ABSORCION
AGREGADO GRUESO**

COVENIN 269-98

FORMATO	FECHA EMISION	FECHA REVISION	DEPARTAMENTO			
AIG-FENS-002.07	23/10/2009		SUELOS	CONCR.	ASFALT.	OTRO
	REVISION	0				

PROYECTO: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO "SOLUCIÓN PARA EL PAVIMENTO DE UN TRAMO DE CARRETERA CON NIVELES FREÁTICOS ALTOS"	CODIGO PROYECTO:
UBICACION DEL PROYECTO: BOCA DE UCHIRE, ESTADO ANZOATEGUI	MUESTRA #: 2
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: CARRETERA BOCA DE UCHIRE - EL HATILLO	CODIGO DE REFERENCIA:
CLIENTE: UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO	FECHA DE ENSAYO: 14/09/2017

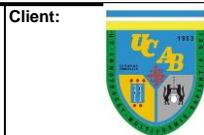
DATOS DEL ENSAYO:			ENSAYO
1	PESOS (gr)	MUESTRA S.S.S. EN AIRE:	5.326,8
2		MUESTRA SUMERGIDA:	3.336,8
3		MUESTRA SECA EN AIRE:	5.277,2
4		AGUA ABSORBIDA :	49,6
5	VOLUMEN DE LA MUESTRA SECA (cm3):		1.940,3
6	VOLUMEN DE LA MUESTRA S.S.S (cm3):		1.990,0
7	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):		25,0

VALORES INDIVIDUALES:	
PESO ESPECIFICO BULK A 23° C:	2,651
PESO ESPECIFICO S.S.S.:	2,677
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,720
% DE ABSORCION:	0,940 %

VALORES PROMEDIOS	
PESO ESPECIFICO BULK A 23° C:	2,651
PESO ESPECIFICO S.S.S.:	2,677
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,720
% DE ABSORCION:	0,940 %

OBSERVACIONES: _____

	REALIZADO POR (AIG):	REVISADO POR (AIG):
Firma		
Nombre	Pedro Lugo	Emilio Montilla
Fecha	14/09/2017	20/09/2017



Project:
TOPOGRAPHICAL SURVEY & GEOTECHNICAL INVESTIGATION FOR ZUMANO PROJECT, LOCATION OF ZUMANO OILFIELD, EL TIGRE, ANZOATEGUI STATE, VENEZUELA

Test date: 18/09/2017
Place: AIG laboratory
Samples: M-12

Location: EL TIGRE, ANZOATEGUI STATE | **Revision:** 0 | **Code:** AIG-2017-1080 -GS | **Reviewed by:** MM

**STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS
 (ASTM D-854-10)**

TEST DATA	SAMPLES					
	M-1	M-2	M-3			
DEPTH (m)	1,00	1,00	1,00			
PYCNO METER	12	10	11			
DRY SOIL (Wd) gr.	81,08	81,10	108,87			
WEIGHT OF PYCNO METER (gr.)	103,72	95,01	94,16			
WEIGHT OF PYCNO METER + WATER FILLED TO MARK (gr.)	352,47	343,37	342,41			
WEIGHT OF PYCNO METER + DRY SOIL (gr.)	184,80	176,11	203,03			
WEIGHT OF PYCNO METER + SOIL + WATER FILLED TO MARK (gr.)	403,25	393,50	409,73			
TEMPERATURE OF TEST (°C)	31,00	31,00	31,10			
SPECIFIC GRAVITY OF SOIL TO THE TEST TEMPERATURE	2,68	2,62	2,62			
SPECIFIC GRAVITY OF SOIL TEMPERATURE AT 20°C	2,67	2,61	2,61			

SURVEY
BAT-17 BH-03

COMMENTS:



Cliente:
Proyecto:
Lugar:
Revisión:
Código:
Revisado por:

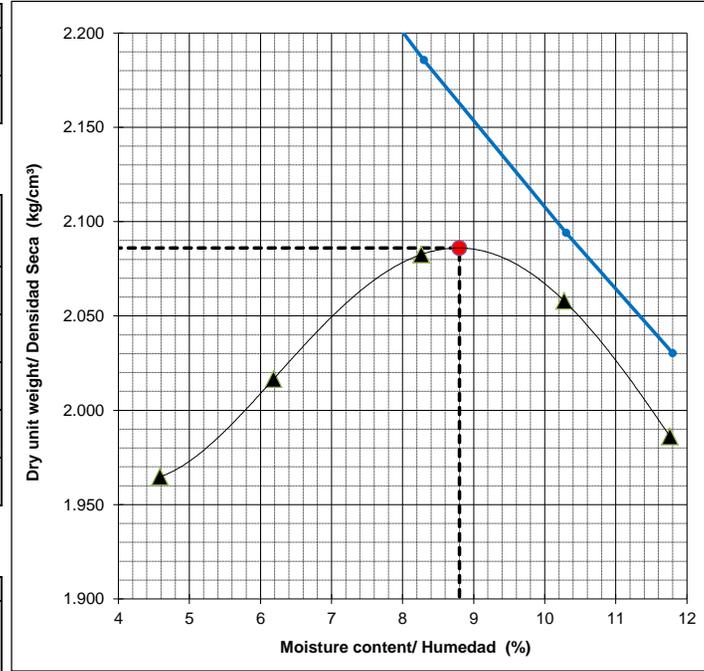
Fecha de ensayo:
Lugar: Laboratorio AIG
Muestras:

ENSAYO PROCTOR MUESTRA 1 ASTM D 698-07 (NORMAL) / 1557-10 (MODIFICADO)

DATOS DE LA MUESTRA							
Tipo de Proctor	Diámetro del molde (cm²)	Peso del Molde (gr.)	Volumen del molde (cm³)	Nº de capas	Golpes por capa	Peso del Martillo (lb)	Altura de Caída (pulg)
M	6"	5003	2116,00	5	56	10	18

Molde + Suelo (gr.)	Peso de Suelo (gr.)	Dens. Húm. (Kg/m³)	Env. Nº	Cálculo de Humedad (pesos en gramos)				% W	Dens. Seca (Kg/m³)	
				Tara env.	Env.+ suelo húmedo (gr.)	Env. + suelo seco (gr.)	Peso del agua (gr.)			Peso de suelo seco
9351	4348	2055	t-32	56	780,56	748,8	31,8	693	4,6	1965
9534	4531	2141	bn-09	59,5	850,5	804,43	46,1	745	6,2	2017
9774	4771	2255	t-12	61,2	865,01	803,65	61,4	742	8,3	2083
9805	4802	2269	t-72	57,7	867,19	791,78	75,4	734	10,3	2058
9700	4697	2220	t-40	61,9	843,29	761,07	82,2	699	11,8	1986

DENSIDAD MÁXIMA SECA (Kg/m³):	2086	HUMEDAD ÓPTIMA (%Wop):	8,8
-------------------------------	------	------------------------	-----



NATURALEZA DE LA MUESTRA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	GRAVA (%)	ARENA (%)			FINOS (%)	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LL (%)	LP (%)	IP (%)	S.U.C.S.
				GRUESA	MEDIA	FINA						
	1,00	0,00	49	5	9	13	23		25	17	8	A-2-4 (0)

OBSERVACIONES:

SONDEO	LL: Límite líquido	LP: Límite plástico	IP: Índice plástico	G: Grava	S: Arena	M: Limo	
	C: Arcilla	W: Bien gradada	P: Mal gradada	H: Alta plasticidad	L: Baja plasticidad	O: Orgánica	Pag.
	S.U.C.S: Sistema unificado de clasificación de suelos	W: Humedad	NP: No plástico				de



**PESO ESPECIFICO y ABSORCION
AGREGADO GRUESO**

COVENIN 269-98

FORMATO	FECHA EMISION	FECHA REVISION	DEPARTAMENTO			
AIG-FENS-002.07	23/10/2009		SUELOS	CONCR.	ASFALT.	OTRO
	REVISION	0				

PROYECTO: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO "SOLUCIÓN PARA EL PAVIMENTO DE UN TRAMO DE CARRETERA CON NIVELES FREÁTICOS ALTOS"	CODIGO PROYECTO:
UBICACION DEL PROYECTO: BOCA DE UCHIRE, ESTADO ANZOATEGUI	MUESTRA #: 1
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: CARRETERA BOCA DE UCHIRE - EL HATILLO	CODIGO DE REFERENCIA:
CLIENTE: UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO	FECHA DE ENSAYO: 14/09/2017

DATOS DEL ENSAYO:			ENSAYO
1	PESOS (gr)	MUESTRA S.S.S. EN AIRE:	5.332,9
2		MUESTRA SUMERGIDA:	3.305,7
3		MUESTRA SECA EN AIRE:	5.298,6
4		AGUA ABSORBIDA :	34,4
5	VOLUMEN DE LA MUESTRA SECA (cm3):		1.992,9
6	VOLUMEN DE LA MUESTRA S.S.S (cm3):		2.027,3
7	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C):		25,0

VALORES INDIVIDUALES:	
PESO ESPECIFICO BULK A 23° C:	2,612
PESO ESPECIFICO S.S.S.:	2,631
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,659
% DE ABSORCION:	0,648 %

VALORES PROMEDIOS	
PESO ESPECIFICO BULK A 23° C:	2,612
PESO ESPECIFICO S.S.S.:	2,631
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,659
% DE ABSORCION:	0,648 %

OBSERVACIONES: _____

	REALIZADO POR (AIG):	REVISADO POR (AIG):
Firma		
Nombre	Pedro Lugo	Emilio Montilla
Fecha	14/09/2017	20/09/2017



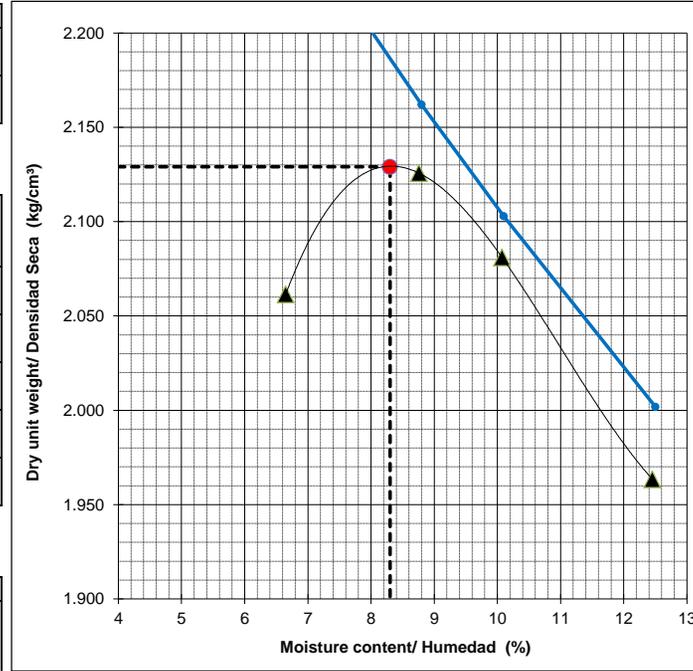
Cliente:
 Proyecto:
 Lugar:
 Revisión:
 Código:
 Revisado por:

Fecha de ensayo:
 Lugar: Laboratorio AIG
 Muestras:

ENSAYO PROCTOR MUESTRA 2 ASTM D 698-07 (NORMAL) / 1557-10 (MODIFICADO)

DATOS DE LA MUESTRA							
Tipo de Proctor	Diámetro del molde (cm²)	Peso del Molde (gr.)	Volumen del molde (cm³)	Nº de capas	Golpes por capa	Peso del Martillo (lb)	Altura de Caída (pulg)
M	6"	5003	2116,00	5	56	10	18

Molde + Suelo (gr.)	Peso de Suelo (gr.)	Dens. Húm. (Kg/m³)	Env. Nº	Cálculo de Humedad (pesos en gramos)					% W	Dens. Seca (Kg/m³)
				Tara env.	Env.+ suelo húmedo (gr.)	Env. + suelo seco (gr.)	Peso del agua (gr.)	Peso de suelo seco		
9655	4652	2198	t-57	59,1	993,48	935,23	58,3	876	6,6	2061
9895	4892	2312	t-3	61,5	717,8	664,94	52,9	603	8,8	2126
9850	4847	2291	t-37	62	792,53	725,68	66,9	664	10,1	2081
9675	4672	2208	t-46	60,4	922,6	827,12	95,5	767	12,5	1963



DENSIDAD MÁXIMA SECA (Kg/m³): 2129	HUMEDAD ÓPTIMA (%Wop): 8,3
------------------------------------	----------------------------

NATURALEZA DE LA MUESTRA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	GRAVA (%)	ARENA (%)			FINOS (%)	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LL (%)	LP (%)	IP (%)	S.U.C.S.
				GRUESA	MEDIA	FINA						
	2,00	0,00	48	4	8	16	24		22	15	8	A-2-4 (0)

OBSERVACIONES:

SONDEO	LL: Límite líquido	LP: Límite plástico	IP: Índice plástico	G: Grava	S: Arena	M: Limo	Pag.
	C: Arcilla	W: Bien gradada	P: Mal gradada	H: Alta plasticidad	L: Baja plasticidad	O: Orgánica	de
	S.U.C.S: Sistema unificado de clasificación de suelos			NP: No plástico			



Cliente:
Proyecto:
Lugar:
Revisión:
Código:
Revisado por:

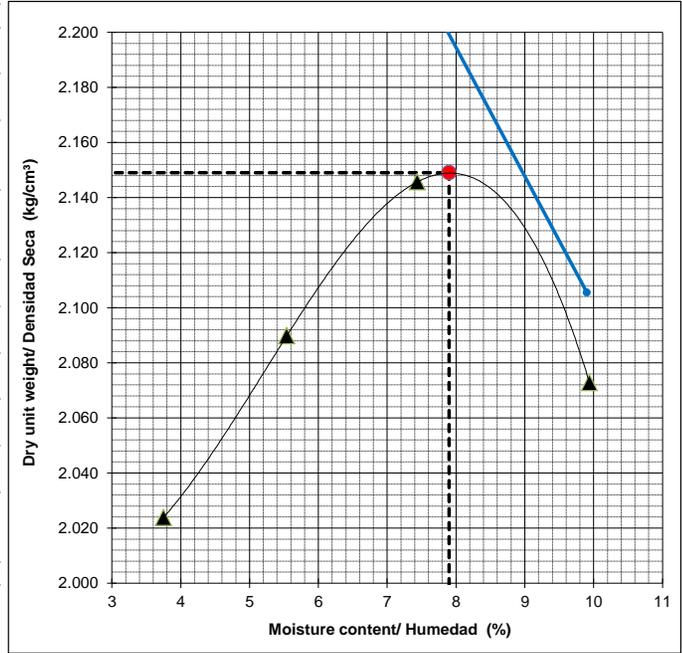
Fecha de ensayo:
Lugar: Laboratorio AIG
Muestras:

ENSAYO PROCTOR MUESTRA 3 ASTM D 698-07 (NORMAL) / 1557-10 (MODIFICADO)

DATOS DE LA MUESTRA							
Tipo de Proctor	Diámetro del molde (cm²)	Peso del Molde (gr.)	Volumen del molde (cm³)	Nº de capas	Golpes por capa	Peso del Martillo (lb)	Altura de Caída (pulg)
M	6"	5003	2116,00	5	56	10	18

Molde + Suelo (gr.)	Peso de Suelo (gr.)	Dens. Húm. (Kg/m³)	Env. Nº	Cálculo de Humedad (pesos en gramos)						% W	Dens. Seca (Kg/m³)
				Tara env.	Env. + suelo húmedo (gr.)	Env. + suelo seco (gr.)	Peso del agua (gr.)	Peso de suelo seco			
9446	4443	2100	t-30	58,9	788,63	762,26	26,4	703	3,7	2024	
9670	4667	2206	t-78	60,4	744,05	708,16	35,9	648	5,5	2090	
9881	4878	2305	t-17	61,1	832,98	779,54	53,4	718	7,4	2146	
9825	4822	2279	t-26	59,2	778,82	713,76	65,1	655	9,9	2073	

DENSIDAD MÁXIMA SECA (Kg/m³):	2149	HUMEDAD ÓPTIMA (%Wop):	7,9
-------------------------------	------	------------------------	-----



NATURALEZA DE LA MUESTRA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	GRAVA (%)	ARENA (%)			FINOS (%)	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LL (%)	LP (%)	IP (%)	S.U.C.S.
				GRUESA	MEDIA	FINA						
				3,00	0,00	39						

OBSERVACIONES



Proyecto:

Fecha de ensayo:

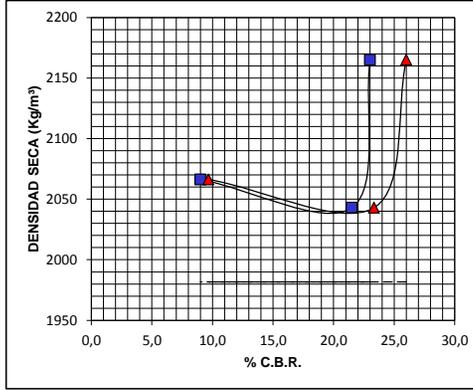
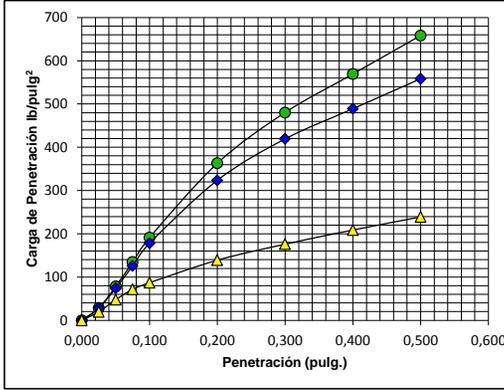
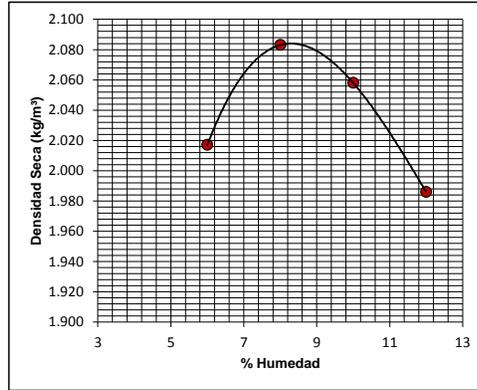
Lugar: Laboratorio AIG

Muestras: 1,00

Lugar: Revisión: 0 Código: Revisado por:

ENSAYO C.B.R.1 (ASTM D-1883-07)

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	Hinchamiento				Carga de Penetración en lb/pulg ² Después de cuastro (4) días de inmersión								Carga Corregida		CBR corregido		Humedad		Dens. Seca Kg/m ³	95% D.M.S Kg/m ³	% C.B.R. para 0,20"
		Hinchamiento(cm)			% Hinch.	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,1"	0,2"	0,1"	0,2"	Wi%	Wf%			
		Primera Lectura	Última Lectura	Dif.																		
56	●	0	0,01	0,01	0,1	28	78	135	191	363	480	569	658	230	390	23,0	26,0	8,5	9,8	2165	1982	26,0
25	◆	0,010	0,073	0,063	0,5	28	74	126	178	324	419	489	558	215	350	21,5	23,3	8,3	10,7	2043		
12	▲	0,020	0,106	0,086	0,7	20	48	72	87	139	176	209	239	90	145	9,0	9,7	8,9	12,4	2066		



Datos del Ensayo de Proctor	Muestra	1	2	3	4	D.M.S. Kg/m ³	2.086	%Wop:	8,8
	% Humedades	6,0	8,0	10,0	12,0				
	Dens. Seca Kg/m ³	2.017,0	2.083,0	2.058,0	1.986,0				

NATURALEZA DE LA MUESTRA	MUESTRA	PROFUNDIDAD	GRAVA	ARENA (%)			FINOS (%)	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LL	LP	IP	S.U.C.S.	AASHTO
				GRUESA	MEDIA	FINA							
				1,00	0,00	49							

SONDEO LL: Limite liquido LP: Limite plástico IP: Indice plástico NP: No plastico
 WI: Humedad inicial WF: Humedad final Wop: Humedad óptima
 D.M.S: Densidad máxima seca C.B.R.: California bearing ratio S.U.C.S: Sistema unificada de clasificación de suelos



Proyecto:

Lugar:

Revisión: 0

Código:

Revisado por:

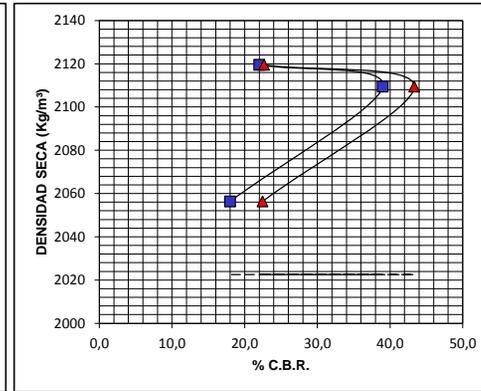
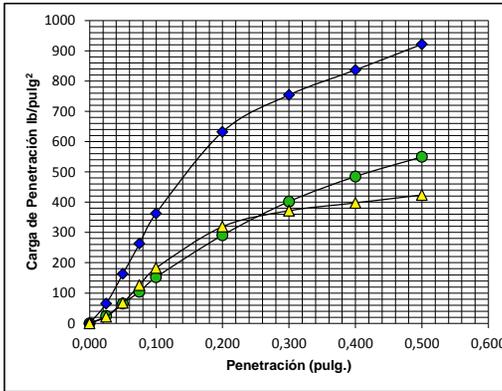
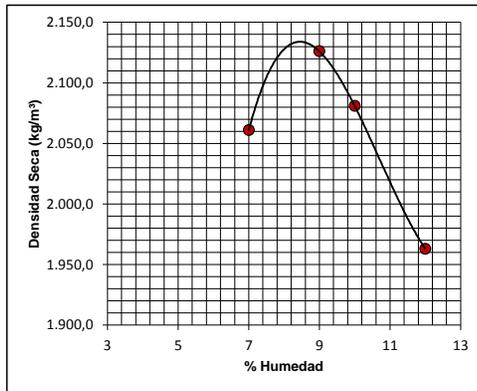
Fecha de ensayo:

Lugar:
Laboratorio AIG

Muestras:
2,00

ENSAYO C.B.R.2 (ASTM D-1883-07)

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	Hinchamiento				Carga de Penetración en lb/pulg ² Después de cuastro (4) días de inmersión								Carga Corregida		CBR corregido		Humedad		Dens. Seca Kg/m ³	95% D.M.S Kg/m ³	% C.B.R. para 0,20"
		Hinchamiento(cm)			% Hinch.	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,1"	0,2"	0,1"	0,2"	Wi%	Wf%			
		Primera Lectura	Última Lectura	Dif.																		
56	●	0,01	0,08	0,07	0,6	24	65	104	152	291	402	485	550	220	340	22,0	22,7	8,4	9,6	2119	2023	22,7
25	◆	0,030	0,021	-0,009	-0,1	65	163	263	363	632	754	837	921	390	650	39,0	43,3	8,1	9,4	2109		
12	▲	0,020	0,034	0,014	0,1	22	67	126	183	319	372	398	424	180	337	18,0	22,5	8,1	10,4	2056		



Datos del Ensayo de Proctor	Muestra	1	2	3	4	D.M.S. Kg/m ³	2.129	%Wop:	8,3
	% Humedades	7,0	9,0	10,0	12,0				
	Dens. Seca Kg/m ³	2.061,0	2.126,0	2.081,0	1.963,0				

NATURALEZA DE LA MUESTRA	MUESTRA	PROFUNDIDAD	GRAVA	ARENA (%)			FINOS (%)	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LL	LP	IP	S.U.C.S.	AASHTO
				GRUESA	MEDIA	FINA							
				2,00	0,00	48							

SONDEO

LL: Limite liquido

LP: Limite plástico

IP: Indice plástico

NP: No plastico

Wi: Humedad inicial

Wf: Humedad final

Wop: Humedad óptima

D.M.S: Densidad máxima seca

C.B.R.: California bearing ratio

S.U.C.S: Sistema unificada de clasificación de suelos

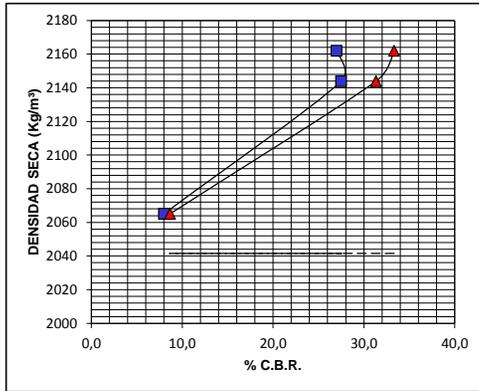
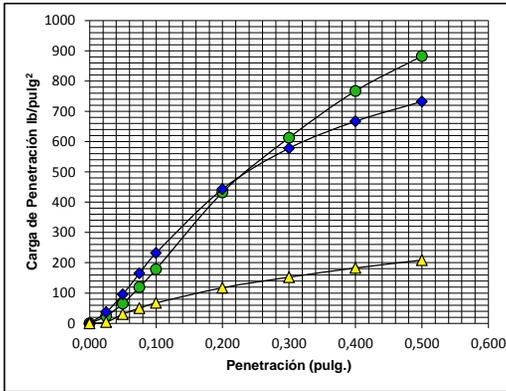
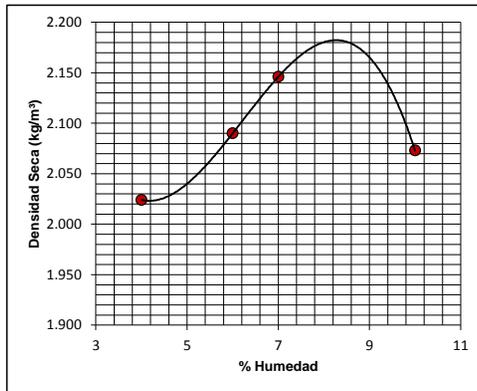


Ciente:	Proyecto:
Lugar:	Revisión: 0 Código: Revisado por:

Fecha de ensayo:
Lugar: Laboratorio AIG
Muestras: 3,00

ENSAYO C.B.R.3 (ASTM D-1883-07)

Golpes por capa	Símbolo Gráfico	Hinchamiento				Carga de Penetración en lb/pulg ² Después de cuastro (4) días de inmersión								Carga Corregida		CBR corregido		Humedad		Dens. Seca Kg/m ³	95% D.M.S Kg/m ³	% C.B.R. para 0,20"
		Hinchamiento(cm)			% Hinch.	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,1"	0,2"	0,1"	0,2"	Wi%	Wf%			
		Primera Lectura	Última Lectura	Dif.																		
56	●	0,02	0,039	0,019	0,2	24	65	120	178	432	613	767	882	270	500	27,0	33,3	8,2	9,3	2162	2042	33,3
25	◆	0,002	0,037	0,035	0,3	37	96	165	232	443	578	667	732	275	470	27,5	31,3	8,0	9,7	2144		
12	▲	0,010	0,062	0,052	0,5	4	30	50	67	117	152	183	209	80	130	8,0	8,7	8,4	11,5	2065		



Datos del Ensayo de Proctor	Muestra	1	2	3	4	D.M.S. Kg/m ³	2.149	%Wop:	7,9
	% Humedades	4,0	6,0	7,0	10,0				
	Dens. Seca Kg/m ³	2.024,0	2.090,0	2.146,0	2.073,0				

NATURALEZA DE LA MUESTRA	MUESTRA	PROFUNDIDAD	GRAVA	ARENA (%)			FINOS (%)	LÍMITES DE CONSISTENCIA	LL	LP	IP	S.U.C.S.	AASHTO
				GRUESA	MEDIA	FINA							
	3,00	0,00	39	0	16	28	17		0	0	0	0	0

SONDEO LL: Limite líquido LP: Limite plástico IP: Indice plástico NP: No plastico
 WI: Humedad inicial WF: Humedad final Wop: Humedad óptima
 D.M.S: Densidad máxima seca C.B.R.: California bearing ratio S.U.C.S: Sistema unificada de clasificación de suelos

MEMORIA FOTOGRÁFICA

Leyenda

AP: Agregados pulidos.

A: Ahuellamiento

D: Depresiones.

DD: Disgregación y desintegración.

EH: Elevación o hundimiento.

GB: Grieta de borde.

GF: Grieta de fatiga.

GL: Grieta longitudinal.

H: Hueco



Imagen 6.2.1. Falla #1

Prog. 5+760. Tipo: GF – A



Imagen 6.2.2. Falla #2

Prog. 6+760. Tipo: GF – GB – DD



Imagen 6.2.3. Falla #3

Prog. 6+910. Tipo: DD



Imagen 6.2.4. Falla #4

Prog. 7+060. Tipo: DD – GF



Imagen 6.2.5. Falla #5

Prog. 7+260. Tipo: GF – EH



Imagen 6.2.6. Falla #6

Prog. 7+460. Tipo: DD – GF – H



Imagen 6.2.7. Falla #7

Prog. 7+560. Tipo: GF – DD – H



Imagen 6.2.8. Falla #8

Prog. 7+660. Tipo: GF – DD – H



Imagen 6.2.9. Falla #9

Prog. 7+810. Tipo: GF – DD – EH



Imagen 6.2.10. Falla #10

Prog. 8+060. Tipo: GF – DD



Imagen 6.2.11. Falla #11

Prog. 8+160. Tipo: GF – DD – D



Imagen 6.2.12. Falla #12

Prog. 8+260. Tipo: GF – DD



Imagen 6.2.13. Falla #13

Prog. 8+360. Tipo: GF – DD – D



Imagen 6.2.14. Falla #14

Prog. 8+510. Tipo: GF – DD – H



Imagen 6.2.15. Falla #15

Prog. 8+660. Tipo: A – GF



Imagen 6.2.16. Falla #16

Prog. 8+810. Tipo: DD – EH – GF



Imagen 6.2.17. Falla #17

Prog. 9+160. Tipo: AP



Imagen 6.2.18. Falla #18

Prog. 9+960. Tipo: DD – GB – GF



Imagen 6.2.19. Falla #19

Prog. 10+660. Tipo: DD – H



Imagen 6.2.20. Falla #20

Prog. 10+310. Tipo: DD – GF



Imagen 6.2.21. Falla #21

Prog. 10+360. Tipo: AP – DD



Imagen 6.2.22. Falla #22

Prog. 10+710. Tipo: DD – GB – GF



Imagen 6.2.23. Falla #23

Prog. 11+960. Tipo: DD – GF



Imagen 6.2.24. Falla #24

Prog. 12+310. Tipo: A – GF



Imagen 6.2.25. Falla #25

Prog. 12+610. Tipo: A – GF – GL – EH



Imagen 6.2.26. Falla #26

Prog. 12+810. Tipo: A – GF – GL – EH



Imagen 6.2.27. Falla #27

Prog. 12+910. Tipo: GF – GL



Imagen 6.2.28. Falla #28

Prog. 12+960. Tipo: GF – H



Imagen 6.2.29. Falla #29

Prog. 13+210. Tipo: GF



Imagen 6.2.30. Falla #30

Prog. 13+310. Tipo: DD – EH



Imagen 6.2.31. Falla #31

Prog. 13+560. Tipo: DD – GF



Imagen 6.2.32. Falla #32

Prog. 13+660. Tipo: DD – GF



Imagen 6.2.33. Falla #33

Prog. 13+860. Tipo: H



Imagen 6.2.34. Falla #34

Prog. 13+960. Tipo: GF - H



Imagen 6.2.35. Falla #35

Prog. 14+210. Tipo: EH



Imagen 6.2.36. Falla #36

Prog. 14+310. Tipo: EH

Imagen 6.2.30. Caracterización de la fracción gruesa de las tres calicatas.



Imagen 6.2.31. Muestras pasante tamiz #10 para ensayo de Límites de Atterberg.



Imagen 6.2.32. Calicata #1.



Imagen 6.2.33. Calicata #1.



Imagen 6.2.34. Calicata #2.



Imagen 6.2.35. Calicata #2.



Imagen 6.2.36. Calicata #3.



Imagen 6.2.37. Calicata #3.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

- Alfaro, J. y Porto, E. (2010). *Predicción del contenido de humedad de equilibrio en terrenos de fundación al sur del Lago de Valencia para aumentar la eficiencia de diseños de pavimentos*. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
- Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica*. Caracas: Episteme, C.A
- Arocha, K. y Mendoza, C. (2009). *Determinación de parámetros para rehabilitación de pavimento. Autopista Regional del Centro. Progresiva 26+000 a 31+000 (Distribuidor Los Totumos)*. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
- Berry, P. y Reid, D. (?). *Mecánica de Suelos*. [Libro en línea]. Consultado el 12 de agosto de 2017 en: <https://es.scribd.com/doc/106256748/mecanica-de-suelos-peter-berry>
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. [Libro en línea]. Consultado el 25 de agosto del 2017 en: <https://stehven.files.wordpress.com/2015/08/josephe-e-bowles-manual-de-laboratorio-de-suelos.pdf>
- Brito, H. (2012). *Metodología para la investigación de alternativas de pavimentación para vías de bajo volumen de tránsito*. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.

Concepto de concreto hidráulico. (?). Tecnología del Concreto. Recuperado de:
<http://tecnologadelconcreto.weebly.com/concepto-de-concreto-hidraacuteulico.html>

Corredor, G. (2004). Apuntes de Pavimentos, Volumen 1, Volumen 2 y Volumen 3.

Corredor, G. y Corros, M. (2010). *Maestría en vías terrestres, módulo III, diseño de pavimentos I, Evaluación de Pavimentos*. Ponencia presentada a la sección para delegados del Ministerio de Transporte e Infraestructura y a la sección para delegados de la Cámara de la Construcción. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua.

Consistencia de suelo- Límites de Atterberg- Alberts Mauritz Atterberg. (2010). Apuntes de geotecnia con énfasis en laderas. Recuperado de: http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_17.html

Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. [Libro en línea]. Consultado el 2 de agosto de 2017 en: [http:// https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf](http://https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf)

Esparza, C. (2009). *Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso*. Ponencia presentada a la sección para Competencias Técnicas de Laboratorista en Mezclas Asfálticas. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.

Guía de diseño de pavimento. (2013). *Diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.* [Guía de diseños] Bogotá: Nieto, J. y Velázquez, O.

Instituto Nacional de Estadística. (2014). XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. [Censo por entidad federal, Anzoátegui]. Caracas.

Jugo, A. (2010). *Metodología para Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías de Bajo Volumen de Tráfico*. [Libro en línea]. Consultado el 25 de agosto del 2017 en: <http://www.trical.net/documentos/document87.pdf>

Lambe y Whitman. (2010). *Mecánica de Suelos*. . [Libro en línea]. Consultado el 20 de julio de 2017 en: <https://mecanicadesuelosuc.files.wordpress.com/2014/11/geotecnia-lambe.pdf>

Pérez Valcárcel, J. (?). *Conceptos generales de la mecánica del suelo*. [Libro en línea]. Consultado el 12 de agosto del 2017 en: <http://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Profesores/valcarcel/MaterMRHE-0809/la-Mecanica%20Suelo.pdf>

Rico, A. y Del Castillo, H. (1976). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*. [Libro en línea]. Consultado el 12 de agosto de 2017 en: <http://www.elibros.cl/detalle/la-ingenieria-de-suelos-en-las-vias-terrestres-carreteras-ferrocarriles-y-aeropistas/>

Soluciones en Asfaltos y Concretos. (2015). SAC-VISA. México. Recuperado de: <http://www.sacvisa.com.mx/que-es-elconcreto-hidraulico/>

Norma técnica FONDO-NORMA 2000-1. Año 2009.