



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON EL USO DE
GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZO APLICADO EN LAS
VÍAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL
CANTÓN SALINAS”.**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previa la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

**CARLOS ANTONIO JORDAN ORRALA
JEFFERSON MARIO SUÁREZ GONZÁLEZ**

2017

**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON EL USO DE
GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZO APLICADO EN LAS
VÍAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL
CANTÓN SALINAS”**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previa la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

CARLOS ANTONIO JORDAN ORRALA
JEFFERSON MARIO SUÁREZ GONZÁLEZ

2017

AGRADECIMIENTOS

A todos nuestros Profesores de Carrera

Gracias, fueron parte esencial e importante en todo el transcurso de nuestra formación académica, personal y profesional, por el apoyo brindado en cada nivel de nuestra formación por el profesionalismo y dedicación en las aulas.

A la UPSE

Nuestro agradecimiento a la Institución de Educación Superior que nos acogió en sus aulas y prestó sus servicios para nuestra formación académica de excelencia.

A nuestro Tutor de Tesis

Al Ing. Jonny Villao Borbor, Msc. por brindarnos todo el apoyo y tiempo posible para la elaboración de esta trabajo de grado.

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres por su apoyo incondicional, cariño y ánimo en estos años de estudio para cumplir mis metas propuestas.

A mis tíos por creer en mí, me guiaron y me inculcaron valores y virtudes para ser la persona que soy.

A mis amigos y compañeros por los buenos momentos que nos ha tocado vivir y apoyo durante los años de estudio como en el trabajo.

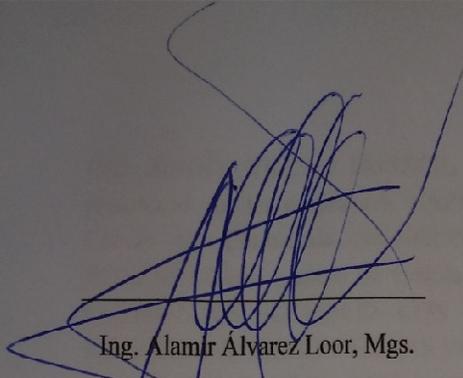
Carlos Antonio Jordán Orrala

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, pilares fundamentales en mi vida, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Por ellos soy lo que soy ahora, sin ellos jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora he alcanzado. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general.

Los amo con mi vida.

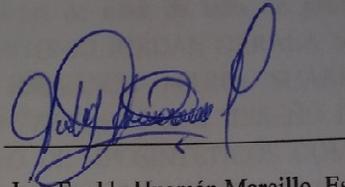
Jefferson Mario Suárez González

TRIBUNAL DE GRADO



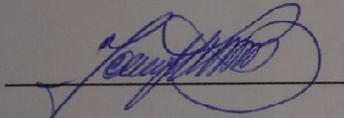
Ing. Almir Álvarez Loor, Mgs.

Decano de la Facultad de
Ciencias de la Ingeniería



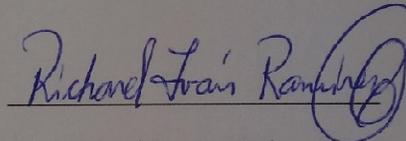
Ing. Freddy Huamán Marcillo, Esp.

Director de la Carrera de
Ingeniería Civil



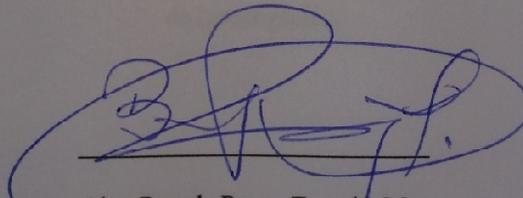
Ing. Jonny Villao Borbor, Msc.

Docente Tutor



Ing. Richard Ramírez Palma, Msc.

Profesor de Área

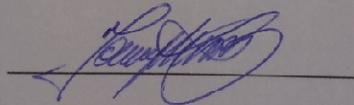


Abg. Brenda Reyes Tomala, Mg.

Secretaria General

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. JONNY VILLAO BORBOR, en calidad de tutor de tesis de grado, presentado por los estudiantes, CARLOS ANTONIO JORDAN ORRALA con Cédula de Ciudadanía 0925081952 y JEFFERSON MARIO SUÁREZ GONZÁLEZ con número de Cédula 2000092797, con el tema “DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON EL USO DE GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZO APLICADO EN LAS VÍAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTÓN SALINAS”, como requisito para obtener el Título de Ingeniero Civil, certifico que he orientado, revisado y aprobado el trabajo de tesis en todas sus partes.



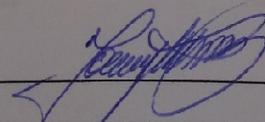
Ing. Jonny Villao Borbor, MSc
Tutor de del Proyecto
de Investigación.

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado **“DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON EL USO DE GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZO APLICADO EN LAS VÍAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTÓN SALINAS”**, presentado por los estudiantes, Carlos Antonio Jordan Orrala con número de cédula 0925081952 y Jefferson Mario Suárez González con número de cédula 2000092797, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención de título de Ingeniero Civil, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con 9% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,

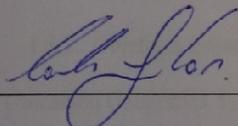


Ing. Jonny Villao Borbor, MSc
Tutor de del Proyecto
de Investigación.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE TESIS

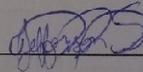
Nosotros CARLOS ANTONIO JORDAN ORRALA con Cedula de Ciudadanía 0925081952 y JEFFERSON MARIO SUÁREZ GONZÁLEZ con numero de Cedula, declaramos que le presente trabajo de titulación denominado "DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON EL USO DE GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZO APLICADO EN LAS VÍAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTÓN SALINAS" no tiene antecedentes de haber sido elaborado con anterioridad en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual constituye un trabajo académico perteneciente exclusivamente a los autores.

Por el motivo manifestamos, la originalidad de la presente tesis, señalando aportes intelectuales y citas bibliográficas debidamente referenciadas y se autoriza a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga el uso adecuado y pertinente de la presente tesis.



Carlos Jordan Orrala

0925081952



Jefferson Suárez González

2000092797

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVII
ABREVIATURAS	XVIII
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Planteamiento del problema	6
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo General.....	7
1.3.2. Objetivos Específicos.....	7
1.4. Ubicación Geográfica del Proyecto de Investigación	7
1.5. Clima del cantón Salinas	8
1.6. Geomorfología y geología del cantón Salinas.....	9
1.7. Geosintéticos.....	10
1.7.1. Definición de Geosintéticos aplicado a obras de pavimentos	10
1.8. Geomallas Coextruídas	10
1.8.1. Tipología	11
1.8.1.1. Geomallas Coextruídas Mono-orientadas.....	11

1.8.1.2. Geomallas Coextruídas Bi-orientadas o Biaxiales	11
2.2.1.3. Geomallas de Fibra de vidrio	12
1.8.2. Funciones y Aplicaciones.....	13
CAPÍTULO II ESTUDIO DE TRÁNSITO	15
2.1. Introducción.....	15
2.2. Elementos del Tránsito.....	15
2.3. Determinación de Aforo Vehicular.....	17
2.4. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).....	18
2.5. Determinación de Números de Ejes Equivalentes (ESALS).....	21
CAPITULO III ESTUDIO DE SUELOS	26
3.1. Introducción.....	26
3.2. Toma de muestras previo al análisis de suelo.....	26
3.3. Ensayos de laboratorio	28
3.3.1. Cuarteo de muestras.....	28
3.3.2. Contenido de humedad.....	29
3.3.3. Ensayo Proctor (Estándar y Modificado).....	33
3.3.4. Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R).....	48
3.3.5. Análisis Granulométrico	59
3.3.6. Límite líquido, Límite plástico e Índice de plasticidad.....	70
CAPÍTULO IV DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICADO EN LAS VÍAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTÓN SALINAS	81
4.1. Pavimento Flexible	81
4.1.1. Especificaciones de la estructura del pavimento	82
4.1.1.1. Sub-base.....	82

4.1.1.2. Base.....	83
4.1.1.3. Carpeta asfáltica	84
4.2. Diseño Estructural del Pavimento (Método AASTHO93).....	86
4.2.1. Variables de Diseño	86
4.2.1.1. Variables de tiempo	86
4.2.1.2. Tránsito (ESALS).....	87
4.2.1.3. Confiabilidad(R).....	87
4.2.1.4. Desviación Normal Estándar (Z_r)	89
4.2.1.5. Niveles de Serviciabilidad (P_o y P_t).....	90
4.2.1.6. Propiedades de los Materiales	92
4.2.1.7. Coeficientes Estructurales (a_i).....	93
4.2.1.8. Drenaje (m_i).....	95
4.2.2. Cálculo del Número Estructural (SN).....	97
4.2.3. Determinación de los espesores de la estructura del pavimento flexible por análisis de capas, aplicado a las vías de acceso a la ciudadela la Milina	99
4.2.4. Determinación de los espesores de la estructura del pavimento flexible utilizando Geomallas Biaxiales como refuerzo, aplicado a las vías de acceso a la ciudadela La Milina	110
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
5.1. Conclusiones.....	117
5.2. Recomendaciones	118
BIBLIOGRAFÍA	119
ANEXOS.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación geográfica de la ciudadela La Milina.	8
Figura 1.2. Geomorfología del cantón Salinas.....	9
Figura 1.3. Geomalla Coextruída Mono-orientada.....	11
Figura 1.4. Geomalla Coextruída Bi-orientada	12
Figura 1.4. Geomalla de Fibra de vidrio	13
Figura 2.1. Clasificación de los vehículos	23
Figura 3.1. Extracción de muestras del suelo.....	26
Figura 3.2. Excavación de Calicatas con presencia de Nivel Freático	27
Figura 3.3. Proceso de cuarteo de muestra.....	28
Figura 3.4. Balanza - Recipientes – Horno	30
Figura 3.5. Contenido de Humedad Calicata #1.....	31
Figura 3.6. Contenido de Humedad Calicata #2.....	31
Figura 3.7. Contenido de Humedad Calicata #3.....	32
Figura 3.8. Contenido de Humedad Calicata #4.....	32
Figura 3.9. Martillo y Cilindro metálico (grande para Próctor modificado y el pequeño para Próctor estándar).....	34
Figura 3.10. Proctor Modificado Calicata 1 Material 1	37
Figura 3.11. Proctor Estándar Calicata 1 Material 2.....	38
Figura 3.12. Proctor Estándar Calicata 1 Material 3.....	39
Figura 3.13. Proctor Estándar Calicata 1 Material 4.....	40
Figura 3.14. Proctor Modificado Calicata 2 Material 1	41
Figura 3.15. Proctor Estándar Calicata 2 Material 2.....	42

Figura 3.16. Proctor Estándar Calicata 2 Material 3.....	43
Figura 3.17. Proctor Modificado Calicata 3 Material 1	44
Figura 3.18. Proctor Estándar Calicata 3 Material 2.....	45
Figura 3.19. Proctor Modificado Calicata 4 Material 1	46
Figura 3.20. Proctor Estándar Calicata 4 Material 2.....	47
Figura 3.21. Molde metálico- Horno para ensayo C.B.R	49
Figura 3.22. Martillo metálico – Prensa hidráulica para ensayo C.B.R	49
Figura 3.23. C.B.R Calicata 1 - Material 1	53
Figura 3.24. C.B.R Calicata 1 - Material 1	54
Figura 3.25. C.B.R Calicata 1 - Material 4	55
Figura 3.26. C.B.R Calicata 1 - Material 4	56
Figura 3.27. C.B.R Calicata 2 - Material 3	57
Figura 3.28. C.B.R Calicata 2 - Material 3	58
Figura 3.29. Tamizadora - Tamices - Horno – Balanza para análisis granulométrico	60
Figura 3.30. Granulometría Calicata 1.....	62
Figura 3.31. Granulometría Calicata 1.....	63
Figura 3.32. Granulometría Calicata 2.....	64
Figura 3.33. Granulometría Calicata 2.....	65
Figura 3.34. Granulometría Calicata 3.....	66
Figura 3.35. Granulometría Calicata 3.....	67
Figura 3.36. Granulometría Calicata 4.....	68
Figura 3.37. Granulometría Calicata 4.....	69
Figura 3.38. Balanza – Copa de Casa Grande para ensayos de límites	71
Figura 3.39. LL- LP - IP Calicata 1 Material 3	73

Figura 3.40. LL- LP - IP Calicata 1 Material 4	74
Figura 3.41. LL- LP - IP Calicata 2 Material 2	75
Figura 3.42. LL- LP - IP Calicata 2 Material 3	76
Figura 3.43. LL- LP - IP Calicata 3 Material 1	77
Figura 3.44. LL- LP - IP Calicata 3 Material 2	78
Figura 3.45. LL- LP - IP Calicata 4 Material 1	79
Figura 3.46. LL- LP - IP Calicata 4 Material 2	80
Figura 4.1. Estructura del pavimento flexible	81
Figura 4.2. Coeficiente de capa para carpeta asfáltica (a_1)	93
Figura 4.3. Coeficiente de capa para la base granular (a_2).....	94
Figura 4.4. Coeficiente de capa para la sub base granular (a_3)	95
Figura 4.5. Cálculo del Número Estructural (SN)	98
Figura 4.6. Número estructural de la Sub-base Granular.....	100
Figura 4.7. Número estructural de la Base Granular	100
Figura 4.8. Estructura del pavimento con sus respectivos coeficientes de capa	101
Figura 4.9. Esquema del análisis por capas.....	105
Figura 4.10. Espesores de la estructura del pavimento flexible	109
Figura 4.11. Ubicación de la Geomalla Biaxial en el pavimento flexible	110
Figura 4.12. Cálculo del L.C.R (LCR VS % CBR).....	111
Figura 4.13. Diseño sin refuerzo método AASHTO	115
Figura 4.14. Diseño con refuerzo de Geomallas Biaxiales	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Resultado final del conteo vehicular	17
Tabla 2.2. Total de vehículos	19
Tabla 2.3. Clasificación de las vías basado en las normas del MTOP	21
Tabla 2.4. Cálculo del factor de carga equivalente.....	24
Tabla 2.5. Datos obtenidos.....	25
Tabla 3.1. Datos obtenidos de suelo de las calicatas en la ciudadela la Milina	27
Tabla 3.2. Valores fijos (Proctor estándar y Proctor modificado	35
Tabla 3.3. Valores variables (Proctor estándar y Proctor modificado).....	35
Tabla 3.4. Designación estándar de tamices	60
Tabla 4.1. Porcentaje en peso que pasará a través de los tamices para la sub-base clase 3	82
Tabla 4.1. Porcentaje en peso que pasará a través de los tamices para la sub-base clase 3	82
Tabla 4.3. Porcentaje en peso que pasara a través de los Tamices para agregados de la carpeta asfáltica	84
Tabla 4.4. Criterios Marshall para hormigón asfáltico	85
Tabla 4.5. Período de análisis.....	86
Tabla 4.6. Resumen de ejes equivalentes.....	87
Tabla 4.7. Nivel de confianza recomendado	88
Tabla 4.8. Valores de (Zr) - Nivel de confianza (R).....	89
Tabla 4.9. Serviciabilidad inicial (Po)	90
Tabla 4.10. Serviciabilidad final (Pt) por el tipo de vía.....	91

Tabla 4.11. Serviciabilidad final (Pt).....	91
Tabla 4.12. C.B.R de Diseño.....	92
Tabla 4.13. Condiciones de drenaje.....	96
Tabla 4.14. Valores del coeficiente (m_i).....	96
Tabla 4.15. Datos de entrada para el cálculo del Numero Estructural (SN)....	98
Tabla 4.16. Resultado del número estructural (SN)	99
Tabla 4.17. Resumen de datos de entrada para el diseño de la estructura del pavimento	101
Tabla 4.18. Espesores mínimos para carpetas asfálticas y bases granulares .	105
Tabla 4.19. Alternativas de diseño método AASHTO 93.....	109
Tabla 4.20. Datos necesarios para el cálculo de los espesores de la estructura del pavimento utilizando Geomallas Biaxiales.....	111
Tabla 4.21. Resultados de la estructura del pavimento flexible sin refuerzo método AASHTO 93 y con refuerzo de Geomallas Biaxiales .	115

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Especificaciones técnicas de las Geomallas Coextruídas Bi – orientadas.....	121
Anexo B Aforo Vehicular.....	122
Anexo C Aforo Vehicular.....	123
Anexo D Aforo Vehicular.....	124
Anexo E Aforo Vehicular.....	125
Anexo F Aforo Vehicular.....	126
Anexo G Aforo Vehicular.....	127
Anexo H Aforo Vehicular.....	128
Anexo I Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S).....	129

ABREVIATURAS

AASTHO	American Association of the Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes).
ASTM	American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para Ensayos de Materiales).
CBR	California Bering Ratio (Ensayo de Capacidad Portante del suelo).
ESALS	Equivalen Single Axles Load (Número de Ejes Equivalentes).
TPDA	Tráfico Promedio Diario Anual.
LCR	Layer Coefficient Ratio (Coeficiente de Capa).
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
SN	Número Estructural.
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
LP	Límite Plástico.
LL	Límite Líquido.
IP	Índice de Plasticidad.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: “DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON EL USO DE GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZO APLICADO EN LAS VÍAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTÓN SALINAS”

Autores: Jordan Orrala Carlos Antonio
Suárez González Jefferson Mario

RESUMEN

El estudio presentado es un análisis referente al diseño de la estructura del pavimento flexible por el método tradicional AASHTO y la estructura del pavimento flexible reforzada con Geomallas que se aplica a las vías de acceso a la ciudadela La Milina del cantón Salinas.

En la actualidad uno de los sistemas más eficaces en tecnología para aplicaciones en vías de comunicación o carreteras es la inclusión de Geosintéticos, como son las Geomallas, generando un sistema de reforzamiento estructural, siendo este un método efectivo, porque ayuda a reducir espesores de diseño, mejora el rendimiento de la estructura del pavimento, y mitiga problemas de incapacidad estructural ya que todos estos factores se visualizan a futuro en la capa de rodadura como fallas estructurales.

Para el “Diseño del Pavimento Flexible” se requerirán parámetros para realizar el correcto análisis y cálculo de los determinados espesores en la estructura reforzada y no reforzada de cada método que se utilizara. Se hará un estudio de tráfico vehicular en las vías de acceso a la ciudadela La Milina del cantón Salinas y se realizará diferentes tipos de ensayos de suelos en el Laboratorio de la Carrera

de Ingeniería Civil ubicado en la Universidad Estatal Península de Santa Elena los cuales servirán para determinar la calidad y capacidad portante del suelo.

Se realizó el diseño de pavimento por medio del método del ASSTHO 93 en base al número estructural de la Sub-rasante y análisis de capas. Y para demostrar la efectividad de las Geomallas Bi-orientadas o Biaxiales se realizó el diseño reforzado con Geomallas mediante el Método de PAVCO que está orientado y modificado en base al diseño tradicional del ASSTHO 93.

Así mismo con la utilización de esta tecnología se demuestra una reducción significativa de los espesores de las capas de la estructura del pavimento flexible, por lo que, se puede obtener una reducción de costos en la construcción de pavimentos flexibles.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

THEME: “DESIGN OF FLEXIBLE FLOORS WITH THE USE OF GEOSINTETICS AS REINFORCEMENT APPLIED IN THE ROADS OF ACCESS TO THE CITADEL LA MILINA OF CANTON SALINAS MILLINA”

Authors: Jordan Orrala Carlos Antonio
Suárez González Jefferson Mario

ABSTRACT

The study presented is an analysis concerning the design of the flexible pavement structure by the traditional AASHTO method and the structure of the flexible pavement reinforced with Geomallas that is applied to the access roads to the citadel La Milina of canton Salinas.

At present, one of the most efficient systems in technology for highway or roadway applications is the inclusion of Geosynthetics, such as Geogrids, generating a system of structural reinforcement, this being an effective method, because it helps to reduce design thicknesses, Improves the performance of the pavement structure, and alleviates problems of structural incapacity since all these factors are visualized in future in the rolling layer as structural failures.

For the “Flexible Pavement Design” parameters will be required to be able to perform the correct analysis and calculation of the determined thicknesses in the reinforced and non-reinforced structure of each method that will be used. A study of vehicular traffic will be carried out on the access roads to the Milina of the Canton Salinas, and different types of soil tests will be carried out in the laboratory of the Civil Engineering Career located at Santa Elena Peninsula State

University, which will serve to determine the quality and bearing capacity of the soil.

The pavement design was performed using the ASSTHO 93 method based on the structural number of the Sublayer and layer analysis. And to demonstrate the effectiveness of the Bi-oriented or Biaxial Geogrids, the reinforced Geogrids design was made using the PAVCO Method that is oriented and modified based on the traditional design of ASSTHO 93.

Likewise, with the use of this technology, a significant reduction in the thicknesses of the layers of the flexible pavement structure is demonstrated, reason why, a reduction of costs in the construction of flexible pavements can be obtained.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. ANTECEDENTES

Para un análisis económico de un proyecto de construcción de pavimento vehicular de cualquier tipología es necesario considerar costos, conservación y operación de la vía, tomando en consideración algunos aspectos tales como: cantidad de vehículos, aforos diarios, semanales o anuales, estado del pavimento, trabajos de reparación, accidentes.

El uso de los Geosintéticos en el oriente ecuatoriano ha tenido un importante crecimiento al cabo de estos años, respondiendo a una necesidad en los proyectos de ingeniería, la cual consiste en la ejecución de obras civiles con una alta calidad técnica, en busca de un equilibrio económico y disminuyendo el impacto ambiental.

La aplicación en vías de los Geosintéticos se ha convertido en una alternativa para resolver algunos de los problemas tanto técnicos como económicos de los proyectos de ingeniería y su utilización se ha hecho en la mayoría de los casos de forma empírica.

Bajo este concepto, los Geosintéticos han sido una solución usada con mucho éxito pero en otras ocasiones la falta de conocimiento y de una metodología de diseño que permita definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares de cada proyecto, no ha permitido que los beneficios de esta tecnología sean aprovechados en su total magnitud.

Se presentará la metodología de diseño de las aplicaciones de Geosintéticos, para vías cuyo objetivo será incrementar la vida útil de la estructura y evitar el deterioro prematuro debido a la contaminación de los materiales seleccionados.

A través de este trabajo se podrá tener una eficaz y óptima toma de decisiones en la rehabilitación o construcción de la estructura de los pavimentos en las vías por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado de Salinas en sus diferentes zonas requeridas.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los Geosintéticos se han utilizado en Obras de Ingeniería Civil, pero en la provincia de Santa Elena su uso en vías ha sido escaso o nulo, debido a la falta de información técnica, económica y aplicaciones en obras viales.

En el cantón Salinas existe un porcentaje muy alto de carreteras sin pavimentar y en unos casos pavimentos existentes presentan fallas estructurales debido a los factores climáticos como por ejemplo sol, lluvias, salinidad del suelo, la baja capacidad portante y baja calidad de los suelos los cuales reducen la vida útil de los mismos.

Este trabajo de investigación se desarrollará y aplicará en la ciudadela La Milina del cantón Salinas, provincia de Santa Elena y se pretende analizar el uso de Geosintéticos como refuerzo en obras viales y presentarlo como una alternativa de Diseño y Construcción.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

1. Analizar el uso de Geosintéticos como refuerzo en el diseño de pavimentos flexibles para mejorar el comportamiento estructural en las vías de acceso a la ciudadela La Milina del cantón Salinas.

1.3.2. Objetivos específicos

2. Mostrar como una alternativa de diseño de Pavimentos Flexibles con el uso de Geosintéticos en suelos de baja capacidad portantes aplicándolo en las vías de acceso a la ciudadela La Milina del cantón Salinas.
3. Describir las ventajas y propiedades de los Geosintéticos aplicados en la construcción de obras viales para optimizar recursos desde el punto de vista técnico y económico con respecto al diseño tradicional.

1.4. Ubicación Geográfica del proyecto de investigación

La ciudadela La Milina se encuentra ubicada del cantón Salinas y se encuentra ubicado a 144 Km. de la ciudad de Guayaquil, en el extremo más saliente de la costa del Pacífico Sur, formando parte de la provincia de Santa Elena. Estando asentado a 1 m.s.n.m.

La ubicación Geográfica del proyecto de investigación se muestra a continuación en la figura 1.1.

Figura 1.1. Ubicación geográfica de la ciudadela La Milina



Fuente: <http://www.openstreetmap.org/note/new#map=16/-2.2226/-80.9368&layers=G>

1.5. Clima del cantón Salinas

La precipitación promedio anual es de 471 mm, las lluvias más abundantes se dan entre febrero y abril, con los siguientes reportes: 157,84 mm para el mes de febrero (Estación Carrizal); 327,36 mm para el mes de marzo (Estación Carrizal); 199,40 mm para el mes de abril (Estaciones Zapotal - Santa Elena y Cerecita).

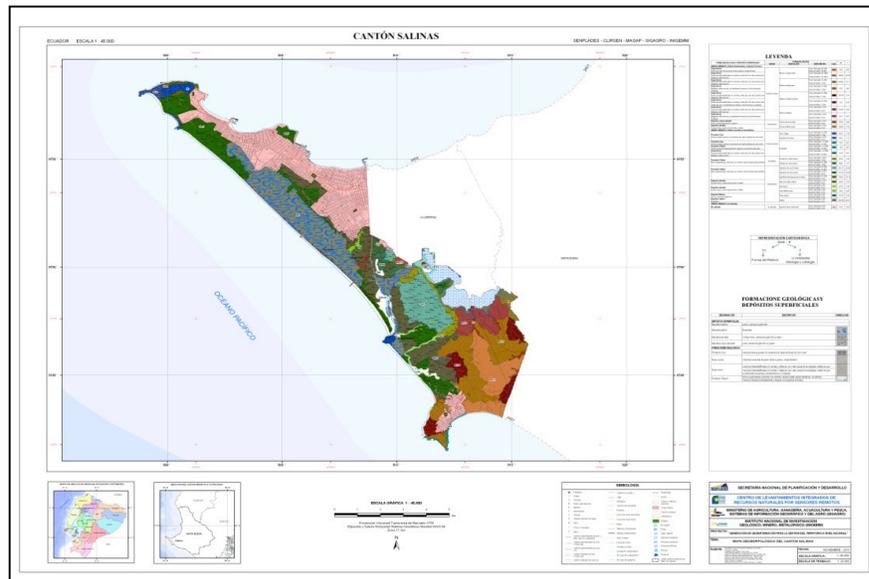
La temperatura media en la estación El Azúcar, varía de 22,36 °C a 26,66 °C con un promedio anual de 24,22 °C; siendo el mes de agosto el que presenta el menor valor de temperatura, y los más altos valores en los siguientes meses de febrero – abril donde existe mayor lluvia.

1.6. Geomorfología y geología del cantón Salinas

La tectónica de la zona es bastante compleja y se la considera como un verdadero mosaico de bloques fallados. Las fallas presentan una dirección preferencial de NE-SW y son consideradas más jóvenes que el conjunto de fallas paralelas en dirección NW-SE que atraviesan toda el área de la “Hoja Geológica” de Santa Elena.

Las principales formaciones geológicas presentes en el cantón Salinas agrupan rocas sedimentarias de origen marino-continental de edad Terciaria, cubiertas localmente por sedimentos Cuaternarios de origen marino y que sobre yacen un complejo marino ígneo-sedimentario que aflora asociado a zonas de falla en la zona noroeste y sureste del cantón, como se muestra a continuación en la figura 1.2.

Figura 1.2. Geomorfología del Cantón Salinas



Fuente: http://ideportal.iec.gov.ec/geodescargas/salinas/m_salinas_geomorfologia.jpg

1.7. Geosintéticos

1.7.1. Definición de Geosintéticos aplicado a obras de pavimentos

Son materiales a base de polímeros los cuales pueden ser naturales o sintéticos y son utilizados en contacto con el suelo o con otros materiales siendo muy usados dentro del campo de la Ingeniería Civil.

Su aplicación es en obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión principalmente.

Para el estudio en las vías de acceso en la ciudadela La Milina específicamente se va a tratar las Geomallas ya que son ampliamente usados para pavimentos flexibles y con este material se diseñará el refuerzo del pavimento flexible en este trabajo de investigación.

1.8. Geomallas Coextruídas

Estas estructuras bidimensionales están elaboradas a base de polímeros, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del material granular a utilizarse debido a su confinamiento y resistencia.

El principal uso y función de las Geomallas Coextruídas es el refuerzo, en este caso en los pavimentos donde se producen esfuerzos en todas las direcciones se va a utilizar Geomallas Bi-direccionales generando una resistencia al corte del suelo.

Tienen la capacidad de distribuir las fuerzas sobre su superficie incrementando así las características de resistencia contra los desplazamientos de la estructura durante el sometimiento de esta a cargas en este caso de pavimentos serían las de tránsito.

Existen diferentes tipos de Geomallas Coextruídas, las cuales detallamos a continuación:

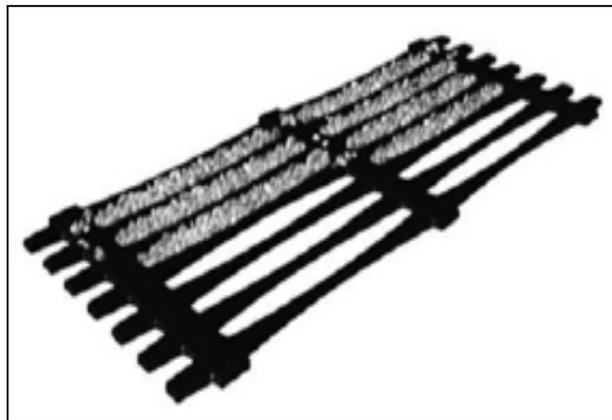
1.8.1. Tipología

1.8.1.1. Geomallas Coextruídas Mono-orientada

Son estructuras Bi-dimensionales fabricadas de polietileno de alta densidad.

La fabricación y forma de este tipo de Geomallas provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo granular, mostrada a continuación en la figura 1.3.

Figura 1.3. Geomalla Coextruída Mono-orientada



Fuente: PAVCO

1.8.1.2. Geomallas Coextruídas Bi-orientadas o Biaxiales

Son estructuras Bi-dimensionales fabricadas de polipropileno este proceso de fabricación da como resultado un material de distribución uniforme de espacios rectangulares logrando así alta resistencia a la tensión en ambas direcciones, la trabazón entre agregados la hace indicada para refuerzo estructural de pavimentos flexibles, indicada a continuación en la figura 1.4.

Figura 1.4. Geomalla Coextruída Bi-orientada



Fuente: PAVCO

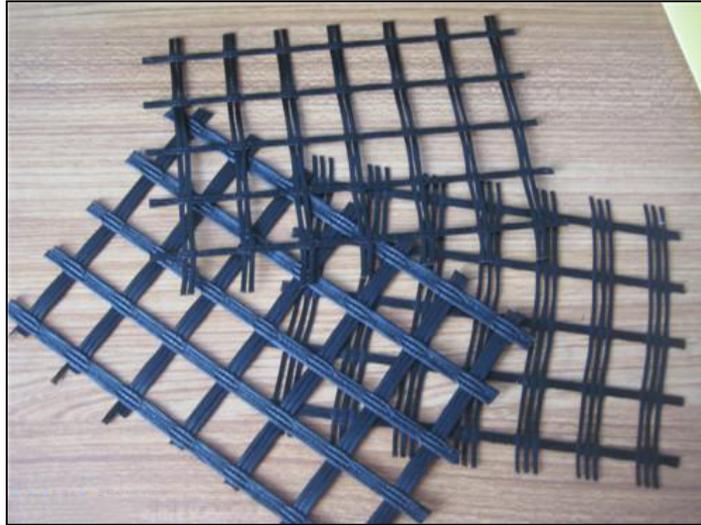
1.8.1.3. Geomalla de Fibra de vidrio

Son Geomallas flexibles en la cual se emplean principalmente entre capas de concreto asfáltico ya que permite trabajar en conjunto con el asfalto con el propósito de controlar agrietamientos por reflexión, agrietamientos por fatiga y deformaciones plásticas, también es utilizado en sobre carpetas de pavimentos flexibles.

Esta Geomalla aumenta significativamente la resistencia a la tracción de la carpeta asfáltica, distribuye uniformemente los esfuerzos que se generan por cargas verticales dando como resultado un pavimento sin grietas por un largo período.

La Geomalla de Fibra de vidrio se muestra a continuación en la figura 1.5.

Figura 1.5. Geomalla de Fibra de vidrio



Fuente: <http://www.hbtolean.com/xbyproducts/230.html>

1.8.2. Funciones y aplicaciones

Su función principal es la de refuerzo esto se logra mediante la trabazón de agregados en presencia de diferentes tipos de materiales.

- Las aplicaciones más importantes de las **Geomallas Coextruídas Mono-orientadas** son:
 - Refuerzo de muros y taludes.
 - Estabilización de suelos blandos.
 - Reparación de deslizamientos.
 - Reparación de cortes en taludes.
 - Estribos, muros y aletas de puentes.

- Las principales aplicaciones de las **Geomallas Coextruídas Bi-Orientadas** en vías de comunicación son:
 - Terraplenes para carreteras.

- Refuerzo en bases de caminos pavimentados y no pavimentados.
- Refuerzo en la estructura de los pavimentos.
- Subrasante Blandas con baja capacidad portante.

- Las aplicaciones más importantes de las **Geomallas Coextruídas de fibra de Vidrio** son especialmente para la rehabilitación de pavimentos asfálticos.

- Control de fisuras de reflexión.
- Control de Ahuellamientos.
- Refuerzo continuo en pavimentos de alto tráfico.
- Reparaciones carpeta asfáltica.
- Refuerzo de carpetas sobre losas de hormigón.
- Incrementa la vida útil de los pavimentos asfálticos.
- Disminuye los mantenimientos.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.1. Introducción

El diseño de una carretera se realiza debido a la necesidad de desarrollo de una región o sector, que es analizada tanto en lo social como en lo económico, y que debe ser técnicamente justificada para la necesidad que debe cubrir.

Para realizar el correcto diseño de una carretera, se debe partir de datos altamente confiables; el diseño de carreteras o de tramos de estas se basa principalmente en datos y estudios de tráfico, los estudios de tráfico se obtienen con el objeto de realizar comparaciones y estimaciones del volumen de tráfico que tendrá las vías de acceso a la ciudadela La Milina del cantón Salinas; es por esto que el tráfico influye directamente en el diseño geométrico de la vía.

2.2. Elementos del tránsito

El tránsito con la aparición en escena de automotores que cada vez son más sofisticados, veloces y potentes, los problemas de tráfico se acentúan muchos más; por tal motivo aparecen las primeras investigaciones sobre tráfico, en las cuales tienen como principal actor al elemento humano, en la actualidad se han definido como los principales elementos del tráfico a los siguientes actores:

- Usuario. (Peatón, pasajero, conductor).
- El vehículo.
- El camino.

En base a estos parámetros se desarrolla los estudios pertinentes para obtener los datos de tráfico necesarios para el diseño de una carretera.

El elemento humano es el principal factor que se debe considerar en el diseño de una vía, ya que se busca principalmente la comodidad y seguridad de las personas que circulan por la vía, ya sea peatón, pasajero de transporte o conductor.

En cuanto al factor vehicular se le debe dar las facilidades necesarias para un desplazamiento cómodo y seguro; en donde se tenga suficiente espacio de maniobrabilidad, asignando un ancho de carril adecuado.

Y en cuanto al factor camino, este debe ser diseñado de tal manera que cumpla especificaciones dadas por la entidades pertinentes, en donde se considera principalmente radios, peraltes, ancho de vía y número de carriles.

Para que sea completo el estudio de tráfico, se debe conocer el tipo de vehículos que usan la vía, principalmente para conocer el peso de cada tipo de vehículo y por consiguiente determinar el peso que soportará la vía en su vida útil.

Al obtener el valor de carga vehicular, se obtuvo los porcentajes de cada tipo de vehículo que influyen en la vía y por consiguiente el probable daño que estos pueden ocasionar en la estructura vial.

La clasificación vehicular se caracterizará de la siguiente manera:

- Livianos
- Camionetas
- Buses
- Camiones

2.3. Determinación de aforo vehicular

Para determinar el tráfico vehicular se realiza el conteo de vehículos que circulan por las vías de acceso a la ciudadela La Milina del cantón Salinas en las horas y días establecidos en el cual recopilamos los datos de cada tipo de vehículos, para posteriormente realizar los cálculos respectivos.

El conteo vehicular para este proyecto de investigación se realizó de forma manual durante la semana del 20 al 26 de marzo del 2017 para así obtener una muestra representativa, los datos obtenidos se encuentran en los anexos B-H (pág. 123-129), a continuación se muestran los resultados finales tal como lo indica la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resultado final del conteo vehicular

CONTEO VEHICULAR									
TIPO DE VEHÍCULO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TOTAL	%
Auto	350	344	356	328	360	457	496	2721	90%
Camionetas y Camiones ligeros	22	10	14	8	10	11	15	90	3%
Buses	24	22	23	25	24	26	24	168	6%
Camiones	9	6	10	7	6	11	12	61	2%
								3040	100%

Fuente: Jefferson Suarez – Carlos Jordan

2.4. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El Tráfico Promedio Diario Anual es la unidad con la que se mide el volumen de vehículos de una vía establecida.

- **Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)**

Para el cálculo del TPDA utilizamos la siguiente fórmula:

$$TPDA = T_p + T_D + T_d + T_G \quad (\text{Ec. 2.1})$$

T_p = Tráfico proyectado

T_D = Tráfico desarrollado

T_d = Tráfico desviado

T_G = Tráfico generado

Para llevar a cabo el cálculo debemos tener en claro cada uno de los elementos a utilizar en la fórmula del TPDA.

- **Tráfico Actual (T_A).**- Es aquel tráfico que fue tomado del conteo total de cada tipo de vehículos el cual se utiliza un factor de conversión para cada uno, así hallamos el total de vehículos de diseño el mismo que se divide para el tiempo de conteo en días.

En la siguiente tabla 2.2 tenemos los datos del conteo y su factor de conversión.

Tabla 2.2. Total de vehículos

TOTAL DE VEHÍCULOS DE DISEÑO			
TIPO DE VEHÍCULO	CONTEO	FACTOR DE CONVERSIÓN	VEHÍCULO DE DISEÑO
Livianos	2811	0,5	14056
Buses	168	1	168
Camiones	61	1,5	92
Tráileres	0	2,5	0
		TOTAL	1665
#DÍAS	7		

Fuente: Jefferson Suarez – Carlos Jordan

Utilizando la siguiente ecuación determinamos el T_A :

$$T_A = \frac{\text{total vehiculos}}{\# \text{ dias}} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$T_A = 238 \text{ veh/día}$$

- **Tráfico proyectado (T_p).**- Es aquel tráfico actual (T_A) cuyo valor se pronostica para un tiempo de vida útil (n) que se establecerá a la vía y de la tasa de crecimiento del tráfico (i) de la misma, a continuación tenemos la siguiente fórmula:

$$T_p = T_A * (1 + i)^n \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Para este proyecto se designó una vida útil de n=23 años y una tasa de crecimiento vehicular i=5%, entonces reemplazando los valores en la ecuación se obtiene que:

$$T_p = 731 \text{ veh/día}$$

- **Tráfico desarrollado (T_D).**- Es aquel que se genera a razón del incremento y explotación de tierras de nuevos sectores cercanos a la vía que se construirá. Para hallar este valor utilizamos la siguiente fórmula:

$$T_D = T_A * (1 + i)^{n-3} \text{ (Ec. 2.4)}$$

Entonces se tiene que $T_D = 631$ veh/día

- **Tráfico desviado (T_d).**- Es aquel generado por la construcción de la nueva vía, ya que esto atrae a vehículos que transitan por carreteras cercanas a la nueva ya sea por ahorrar tiempo, costo o distancia. La fórmula a emplear es la siguiente:

$$T_d = 0.20 * (T_p + T_D) \text{ (Ec. 2.5)}$$

Entonces el $T_d = 272$ veh/día

- **Tránsito generado (T_G).**- Es aquel que se da producto del desarrollo socio-económico de la nueva zona de influencia, que por lo general se produce dos años después de haber culminado la construcción de la vía.

Para ello se emplea la siguiente fórmula:

$$T_G = 0.25 * (T_p + T_D) \text{ (Ec. 2.6)}$$

Entonces $T_G = 340$ veh/día

- Una vez obtenido estos valores lo remplazamos en la ecuación 2.1

$$TPDA = T_p + T_D + T_d + T_G \text{ (Ec. 2.1)}$$

$$TPDA = 731 + 631 + 272 + 340$$

$$TPDA = 1974 \text{ veh/día}$$

- **Clasificación de la vía de Acuerdo al Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO)**

El MTO clasifica las vías según la cantidad del tráfico promedio diario anual (TPDA) obtenido en los cálculos realizados, de esta manera se sabrá a que categoría pertenece la vía.

En la tabla 2.3 se muestra la clasificación de las vías. En nuestro estudio de tráfico vehicular se obtuvo un TPDA de 1974 veh/día, lo que indica que la vía sería de categoría tipo II, es decir de segundo Orden.

Tabla 2.3. Clasificación de las vías basado en las normas del MTO

FUNCIÓN	CATEGORIA DE LA VÍA		TPDA Esperado
Corredor Arterial	R - I o R - II	(Tipo)	>800
	I	Todos	3000 - 8000
	II	Todos	1000 - 3000
Colectora	III	Todos	300 - 1000
	IV	5,5E,6 y 7	100 -300
Vecinal	V	4 y 4E	<100

Fuente: MTO

2.5. Determinación de Números de Ejes Equivalentes (ESALS)

Para el cálculo de Números de Ejes Equivalentes (ESALS) es de vital importancia conocer la carga y volumen de tráfico ya que estos influyen en el diseño

estructural del pavimento. El tráfico mixto de una carretera debe ser convertido en repeticiones de un eje de 18.180 libras.

La AASTHO ha desarrollado factores equivalentes los cuales utilizaremos para la conversión.

- **Configuración de ejes**

Las cargas de los vehículos son transmitidas hacia el pavimento por medio de los neumáticos, dispuestas en ejes, los cuales se clasifican de la siguiente manera:

- **Simple:** Tiene una sola línea de rotación, son de llanta sencilla cuando únicamente tiene dos llantas y de llanta doble cuando tiene cuatro llantas.
- **Tándem:** Está conformado por dos líneas de rotación, separadas entre 1 y 1.6 metros, es de llanta sencilla cuando está conformado solo por cuatro llantas, dos por cada línea de rotación.
- **Tridém:** Está conformado por tres líneas de rotación, están separadas por una distancia entre 2 y 3.2 metros, son de llanta sencilla cuando el conjunto es de 6 llantas, 2 por cada eje, de llanta doble, cuando el conjunto está conformado por 12 llantas y mixto cuando el conjunto tiene una combinación con llanta simple y llanta doble.

- **Clasificación de los vehículos**

La clasificación de los vehículos se la realiza mediante los valores que se muestran en la figura 2.1 mostrada a continuación.

Figura 2.1. Clasificación de los vehículos

TIPO	GRAFICO Y CAPACIDADES DE CARGA POR EJE (Ton.)	DESCRIPCION	PESOS MAXIMOS PERMITIDOS (Toneladas)		LONGITUDES MAXIMAS PERMITIDAS (METROS)		
			Peso Ecuador	Peso Pacto Andino	Largo	Ancho	Alto
2DA	 3 7	CAMION DE 2 EJES MEDIANOS	10.0	-	7.5	2.6	3.5
2DB	 6 12	CAMION DE 2 EJES GRANDES	18.0	17.0	12.0	2.6	4.1
3-A	 6 20	CAMION DE 3 EJES (TANDEM POSTERIOR)	26.0	26.0	12.2	2.6	4.1
4-C	 6 24	CAMION DE 4 EJES (TANDEM POSTERIOR)	30.0	30.0	12.2	2.6	4.1
2S1	 6 12 12	TRACTO CAMION DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	30.0	28.0	18.5	2.6	4.1
2S2	 6 12 20	TRACTO CAMION DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	38.0	37.0	18.5	2.6	4.1
3S1	 6 20 12	TRACTO CAMION DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	38.0	37.0	18.5	2.6	4.1
3S2	 6 20 20	TRACTO CAMION DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	46.0	46.0	18.5	2.6	4.1
3S3	 6 20 24	TRACTO CAMION DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	48.0	48.0	18.5	2.6	4.1
2R2	 6 12 12 12	CAMION REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES	38.0	39.0	18.5	2.6	4.1
2R3	 6 12 12 20	CAMION REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 3 EJES	48.0	48.0	18.5	2.6	4.1

Fuente: MTOP

- **Factores de carga equivalentes**

Los factores de carga equivalentes son calculados a través de las siguientes fórmulas, que son aplicadas para cada tipo de ejes:

- $$FQE_{SS} = \left(\frac{L_{SS}}{6,6}\right)^4 * \%(Eje Simple) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

- $FQE_{SD} = \left(\frac{L_{SD}}{8,2}\right)^4 * \%(Eje Simple con llanta doble)$ (Ec. 2.8)

- $FQE_{TD} = \left(\frac{L_{TD}}{15}\right)^4 * \%(Eje Tándem)$ (Ec. 2.9)

- $FQE_{TR} = \left(\frac{L_{TR}}{23}\right)^4 * \%(Eje Tridém)$ (Ec. 2.10)

En la siguiente tabla 2.4 se muestra el cálculo del factor de carga equivalente aplicado a cada uno de los ejes.

Tabla 2.4. Cálculo del factor de carga equivalente
CÁLCULO DE NUMEROS DE EJES EQUIVALENTES

TIPO DE VEHÍCULO	CARGA TOTAL (TON)	CARGA POR EJE (TON)		TOTAL SEMANAL	%	TRÁFICO PROMEDIO DIARIO	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRÁFICO DE DISEÑO	FACTOREQUIVALENTE DE EJES
Autos	2,5	0,75	SS	2721	90%	389	41,862	499195	0,018426347
		1,75	SS						
Camionetas y Camiones Ligeros	2,7	0,7	SS	90	3%	13	41,862	155193	0,000829179
		2	SS						
Buses	13.1	3,9	SS	168	6%	24	41,862	239883	0,359969306
		9,2	SD						
Camiones	18	6	SS	61	2%	9	41,862	105186	0,041608421
		12	SD						
TOTAL F.C.E									0,420833254

Fuentes: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Para hallar el total de Números de Ejes Equivalentes (**ESALS**) utilizamos los datos obtenidos en los cálculos anteriores como muestra la siguiente tabla 2.5 y aplicamos esta fórmula:

Tabla 2.5 Datos obtenidos

Dt=	0,5	
n=	23	Años
Ta (TPDAo) =	238	Veh/día
TOTAL F.C.E	0,420833254	
TPDAF =	1974	Veh/día

Fuentes: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

$$N_{(8.2 T)} = \frac{(TPDA_o + TPDA_f)}{2} + 365 \cdot Dt \cdot n \cdot F.C.E \quad (\text{Ec. 2.11})$$

De esta manera se obtiene como resultado el siguiente valor:

ESAL'S (23AÑOS) =	1.95E+06
--------------------------	-----------------

Ministerio de Transporte y Obras Pública, Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MTOP 001-F-2012, Tomo I, Capítulo 400

Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición 2000. Bogotá D. Capítulo 2 Estudio del Tránsito para Diseño de Pavimentos.

T.A.M.S. – ASTEC Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003. Capítulo III.

CAPÍTULO III

ESTUDIOS DE SUELOS

3.1. Introducción

En toda obra vial es primordial conocer cada uno de los parámetros del terreno o suelo donde se va a construir la vía, para ello se realizan estudios de suelos lo que nos garantiza la calidad del material en donde se va a construir, caso contrario de no realizar el respectivo estudio, la vía podría presentar fallas e incluso el colapso de la misma. En el presente capítulo daremos a conocer de forma sencilla la metodología y el fin de cada uno de los ensayos utilizados para el análisis de suelos aplicado a las vías de acceso a la ciudadela La Milina del cantón Salinas.

3.2 Toma de muestras previo al análisis de suelo

Previamente al análisis del suelo a las vías de acceso a la ciudadela La Milina del cantón Salinas se trabajó con una retroexcavadora realizando cuatro calicatas en diferentes puntos de la vía, recogiendo las muestras en sacos como se muestra en la figura 3.1 para ser llevados al laboratorio de suelos ubicado en la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Figura 3.1. Extracción de muestras del suelo



Fuentes: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

La excavación se la realizó a diferentes profundidades debido a que al llegar a determinada profundidad se encontraba el nivel freático como se muestra en la figura 3.2.

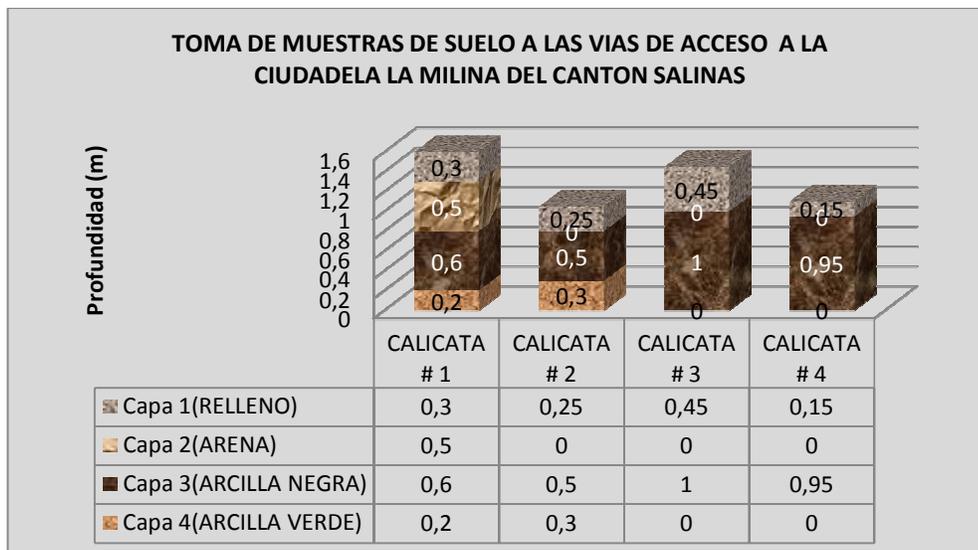
Figura 3.2. Excavación de Calicatas con presencia de Nivel Freático



Fuentes: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

A continuación mostramos la tabla 3.1 con los datos obtenidos de la toma de muestras.

Tabla 3.1. Datos obtenidos



Fuente: Jefferson Suarez– Carlos Jordan

3.3. Ensayos de laboratorio

3.3.1. Cuarteo de muestras

El cuarteo de muestras es considerada la etapa inicial para un ensayo de suelos, esto se logró una vez extraído cada uno de los materiales y llevados al laboratorio de suelos ubicado en la Universidad Estatal Península de Santa Elena tal y como se muestra en la figura 3.3.

Para realizar el cuarteo colocamos la muestra en una superficie plana y la esparcimos, de esta manera la dejamos secar al ambiente por unos días ya que contiene humedad y necesitamos que esté totalmente seca, luego con un mazo de madera disgregamos los grumos para no romper los cantos que pueda tener la muestra. Una vez disgregado mezclamos la muestra varias veces hasta obtener una muestra homogénea y la dividimos en cuatro partes igualmente representativas.

Figura 3.3. Proceso de cuarteo de muestra



Fuente: Jefferson Suárez - Carlos Jordan

Las cuatro divisiones que hacemos en cada muestra de suelo nos servirán posteriormente para el cada uno de los ensayos de laboratorio a realizar, los cuales se detallan a continuación:

- Ensayo Próctor Modificado20kg (hacemos 4 sacos de 5kg cada uno).
- Ensayo Próctor Estándar10kg (hacemos 4 sacos de 2,5kg cada uno).
- Ensayo C.B.R15 kg (hacemos 3 sacos de 5kg).
- Granulometría y límites5,3 kg (5kg para la granulometría y 300g para límites).

Una vez realizado todas las proporciones para los respectivos ensayos nos queda un material sobrante el cual nos servirá para sacar el contenido de humedad de cada material.

3.3.2. Contenido de humedad

Este ensayo nos permite determinar el porcentaje de agua que contiene el suelo, cuyo valor es el resultado de la relación entre el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra después de ser secada al horno.

- **Equipo a utilizar:**
- Balanza, espátula
- Horno a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{c}$.
- Recipientes pequeños y enumerados.
- Hojas para anotar los datos.

Los equipos utilizados para realizar el ensayo del contenido de humedad se muestran a continuación en la figura 3.4.

Figura 3.4. Balanza - Recipientes - Horno



Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Procedimiento:

- Una vez obtenidas las muestras de suelo, con la espátula sacamos una porción representativa de cada una de ellas.
- En la balanza pesamos el recipiente a utilizar (masa 1), registramos en la hoja de datos el número del recipiente y la masa del mismo.
- Colocamos la porción representativa en el recipiente para luego ser pesado en la balanza y registramos su peso (masa 2).
- Posteriormente llevamos el recipiente con la muestra al horno durante 24 horas.
- Retiramos la muestra y procedemos a registrar en la balanza su peso (masa 3).
- Los pasos anteriores se realizan con todas las muestras obtenidas para el presente trabajo de investigación.

Los resultados obtenidos de este ensayo están registrados en las siguientes figuras 3.5 – 3.8 como se indica a continuación.

Figura 3.5. Contenido de humedad Calicata #1

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA				
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL				
	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS				
	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS				
PROYECTO: DISEÑO DE PAVIMENTO O FLEXIBLE CON EL USO DE GEOSINTETICOS COMO REFUERZO EN LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTON SALINAS			UBICACIÓN: SALINAS "CIUDADELA LA MILINA"		
FECHA: 10 FEBRERO 2017			COORDENADAS:		
			CURSO:		
CALICATA Nº 1					
		R (1)	TN (2)	TN (3)	TN (4)
Nº de recipiente		W	A	K2	M
Peso de recipiente (Wr)		104,17	16,85	16,68	16,52
Peso de Rec. + Peso de Suelo hum. (W1)		878	110,32	93,44	137,8
Peso de Rec. + Peso de Suelo Seco (W2)		722	96,89	80,1	114,43
Peso de agua (Ww=W1-W2)		156	13,43	13,34	23,37
Peso de suelo seco (Ws=W2-Wr)		617,83	80,04	63,42	97,91
Contenido de humedad $\omega = (Ww/Ws) \times 100$		25,25	16,78	21,03	23,87

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

De acuerdo a la figura 3.5 el contenido de humedad para la Calicata 1 varía entre 16% y 25%.

Figura 3.6. Contenido de humedad Calicata #2

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA				
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL				
	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS				
	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS				
PROYECTO: DISEÑO DE PAVIMENTO O FLEXIBLE CON EL USO DE GEOSINTETICOS COMO REFUERZO EN LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTON SALINAS			UBICACIÓN: SALINAS "CIUDADELA LA MILINA"		
FECHA: 10 FEBRERO 2017			COORDENADAS:		
			CURSO:		
CALICATA Nº 2					
		R (1)	TN (2)	TN (3)	
Nº de recipiente		K	RG	J	
Peso de recipiente (Wr)		89,77	16,73	17,13	
Peso de Rec. + Peso de Suelo hum. (W1)		884	122,78	95,8	
Peso de Rec. + Peso de Suelo Seco (W2)		775	103,54	78,67	
Peso de agua (Ww=W1-W2)		109	19,24	17,13	
Peso de suelo seco (Ws=W2-Wr)		685,23	86,81	61,54	
Contenido de humedad $\omega = (Ww/Ws) \times 100$		15,91	22,16	27,84	

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Según la figura 3.6 el contenido de humedad para la Calicata 2 varía entre 15% y 27%.

Figura 3.7. Contenido de humedad Calicata #3

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA		
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS		
	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS		
PROYECTO: DISEÑO DE PAVIMENTO O FLEXIBLE CON EL USO DE GEOSINTETICOS COMO REFUERZO EN LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTON SALINAS			UBICACIÓN: SALINAS "CIUDADELA LA MILINA"
FECHA: 10 FEBRERO 2017			COORDENADAS:
			CURSO:
CALICATA Nº 3			
		R (1)	TN (2)
N° de recipiente		R	K
Peso de recipiente (Wr)		95,03	17,14
Peso de Rec. + Peso de Suelo hum. (W1)		763	105,04
Peso de Rec. + Peso de Suelo Seco (W2)		657	83,92
Peso de agua (Ww=W1-W2)		106	21,12
Peso de suelo seco (Ws=W2-Wr)		561,97	66,78
Contenido de humedad $\omega = (Ww/Ws) \times 100$		18,86	31,63

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

De acuerdo a la figura 3.7 el contenido de humedad para la Calicata 3 varía entre 18% y 31%.

Figura 3.8. Contenido de humedad Calicata #4

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA		
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		
	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS		
	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS		
PROYECTO: DISEÑO DE PAVIMENTO O FLEXIBLE CON EL USO DE GEOSINTETICOS COMO REFUERZO EN LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTON SALINAS			UBICACIÓN: SALINAS "CIUDADELA LA MILINA"
FECHA: 10 FEBRERO 2017			COORDENADAS:
			CURSO:
CALICATA Nº 4			
		R (1)	TN (2)
N° de recipiente		V1	R1
Peso de recipiente (Wr)		104,17	16,67
Peso de Rec. + Peso de Suelo hum. (W1)		837	113,42
Peso de Rec. + Peso de Suelo Seco (W2)		684	92,83
Peso de agua (Ww=W1-W2)		153	20,59
Peso de suelo seco (Ws=W2-Wr)		579,83	76,16
Contenido de humedad $\omega = (Ww/Ws) \times 100$		26,39	27,04

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

La figura 3.8 indica que el contenido de humedad para la Calicata 4 varía entre 26% y 27%.

3.3.3. Ensayo Proctor (Estándar y Modificado)

El ensayo Proctor tanto Estándar como el Modificado nos determina la humedad óptima que debemos utilizar para un suelo compactado a una fuerza determinada, en otras palabras la cantidad de agua necesaria para la cual la densidad del suelo es máxima con una energía concreta.

Equipo a utilizar:

- Martillo metálico (grande para Proctor modificado y el pequeño para Proctor estándar)
- Molde cilíndrico (grande para Proctor modificado y el pequeño para Proctor estándar)
- Balanza, espátula
- Regla metálica para enrasar
- Horno a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Recipientes pequeños y enumerados.
- Hojas para anotar los datos.

En la siguiente figura 3.9 mostramos el cilindro y martillo para Proctor estándar (más pequeño) y modificado (más grande).

Figura 3.9. Martillo y cilindro metálico (grande para Proctor modificado y el pequeño para Proctor estándar)



Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Procedimiento:

- Del cuarteo de muestras realizado se coge 4 o 5 fundas de cada material (5kg Proctor modificado y 2.5 Proctor estándar).
- Con la primera funda la esparcimos en la superficie metálica sin agregar agua, mezclamos la muestra con las manos y la dividimos en partes iguales (5 partes para Proctor modificado y en 3 partes Proctor estándar).
- Para las siguientes fundas realizamos el mismo procedimiento pero con diferentes humedades (T.N, 75 ml, 100 ml, 150 ml, 200 ml, 250 ml, 350 ml, etc.)
- Armamos los cilindros del Proctor modificado y estándar.
- Registramos el peso del cilindro y del martillo metálico.
- Para el Proctor modificado colocamos las 5 capas en el cilindro compactado con el martillo a 56 golpes cada capa, y para el estándar 3 capas de 25 golpes cada capa.

- Quitamos el collarín del cilindro, enrasamos con la regla metálica.
- Registramos el peso del cilindro, tomamos una pequeña cantidad del material y registramos en un recipiente su peso para posteriormente ser llevado al horno durante 24 horas.
- Sacamos las muestras del horno, registramos en la balanza su peso seco.
- En las tablas 3.2 y 3.3 que mostraremos a continuación están los valores fijos y variables (estos valores son ingresados a las tablas de Excel otorgado por la Universidad Estatal Península de Santa Elena Laboratorio de suelos de la Carrera Ingeniería Civil) que utilizamos para el cálculo de las densidades para cada muestra según el tipo de Proctor.

Tabla 3.2. Valores fijos (Proctor estándar y Proctor modificado)

MASA DEL CILINDRO (P7)	3729	MASA DEL CILINDRO (P7)	5380
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	943,32	VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	2707,68
MASA DEL MARTILLO (Kg.)	2,5	MASA DEL MARTILLO (Kg.)	4,54
ALTURA DE CAÍDA DEL MARTILLO (cm.)	30,48	ALTURA DE CAÍDA DEL MARTILLO (cm.)	45,72
TIPO DEL ENSAYO	Estándar	TIPO DEL ENSAYO	Modificado
# DE CAPAS	3	# DE CAPAS	5
# DE GOLPES POR CAPA	25	# DE GOLPES POR CAPA	56

Tabla 3.3. Valores variables (Proctor estándar y Proctor modificado)

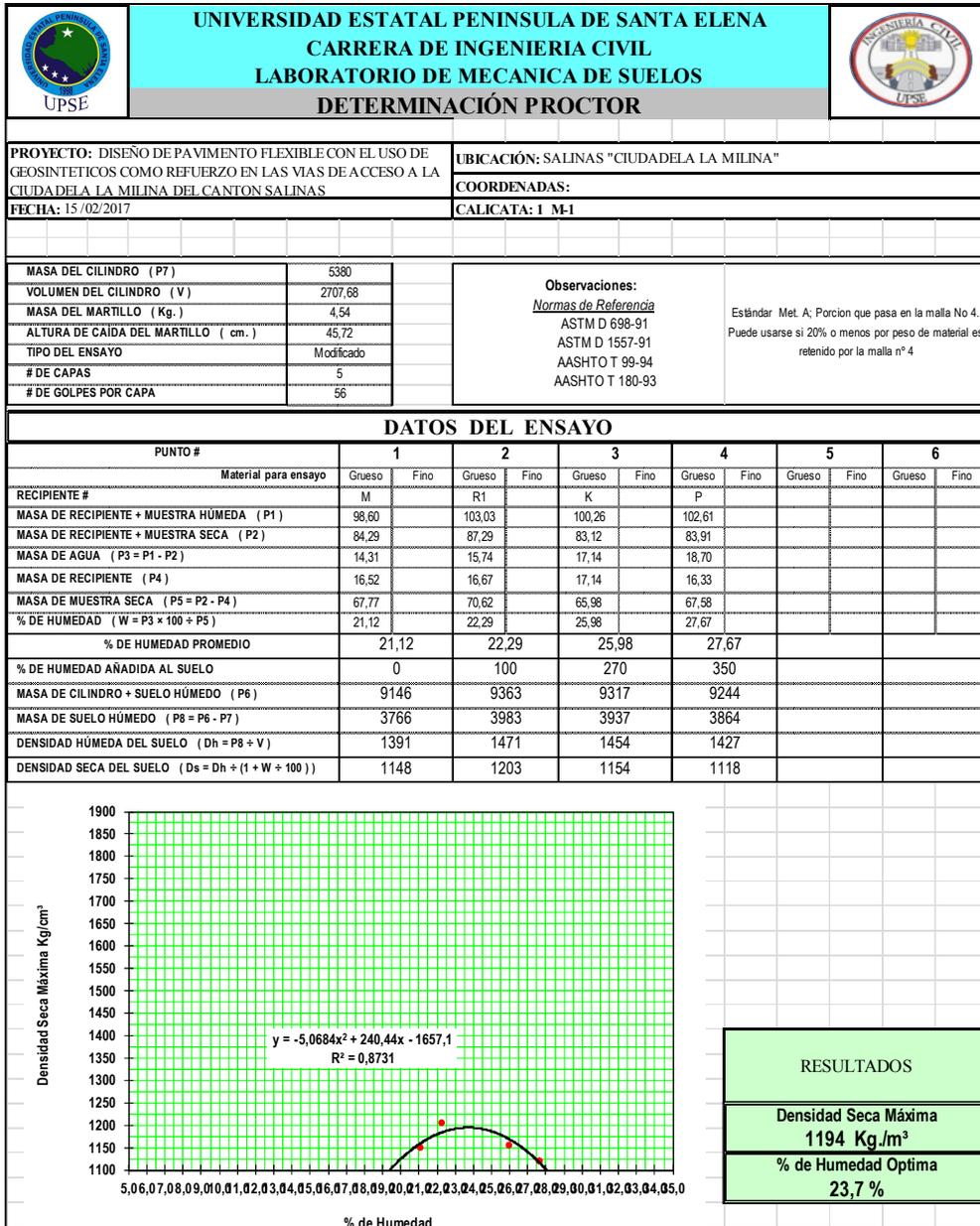
RECIPIENTE #
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)
MASA DE RECIPIENTE (P4)
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)
% DE HUMEDAD PROMEDIO
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO
MASA DE CILINDRO + SUELO HÚMEDO (P6)
MASA DE SUELO HÚMEDO (P8 = P6 - P7)
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (Dh = P8 ÷ V)
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds = Dh ÷ (1 + W ÷ 100))

Fuente: Upse Carrera de Ingeniería Civil - Laboratorio de Mecánica de Suelos

De esta manera hallamos las 4 densidades diferentes para cada muestra de suelo con sus respectivas humedades, estas humedades no son las óptimas, pero las utilizamos aplicando la interpolación en las tablas de Excel para luego obtener la humedad óptima y su densidad seca máxima.

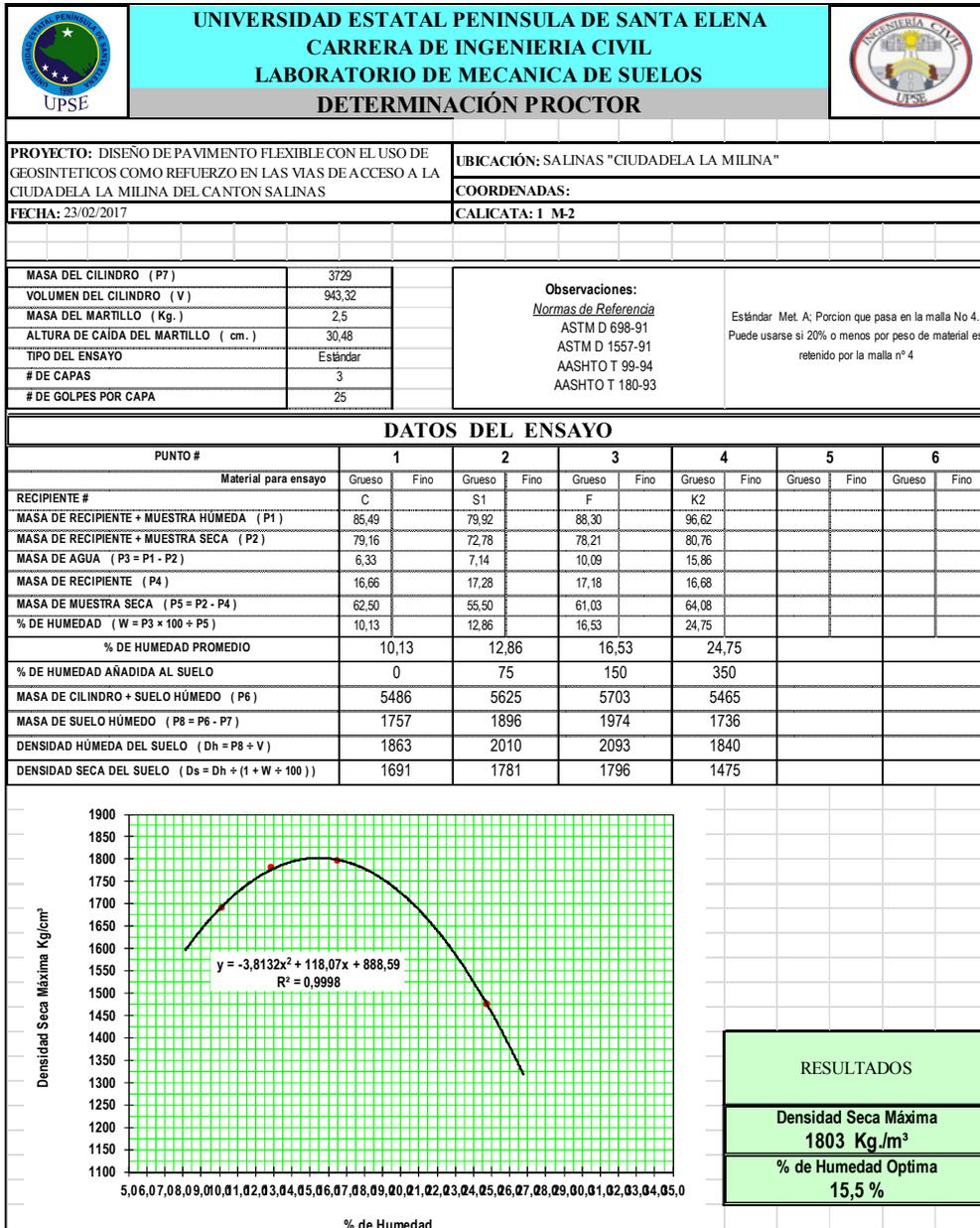
Finalmente los resultados obtenidos de la densidad seca máxima y del porcentaje de humedad óptima (recuadro verde) para cada suelo se indican en las siguientes figuras 3.10 – 3.20 mostradas a continuación:

Figura 3.10. Proctor Modificado Calicata 1 Material 1



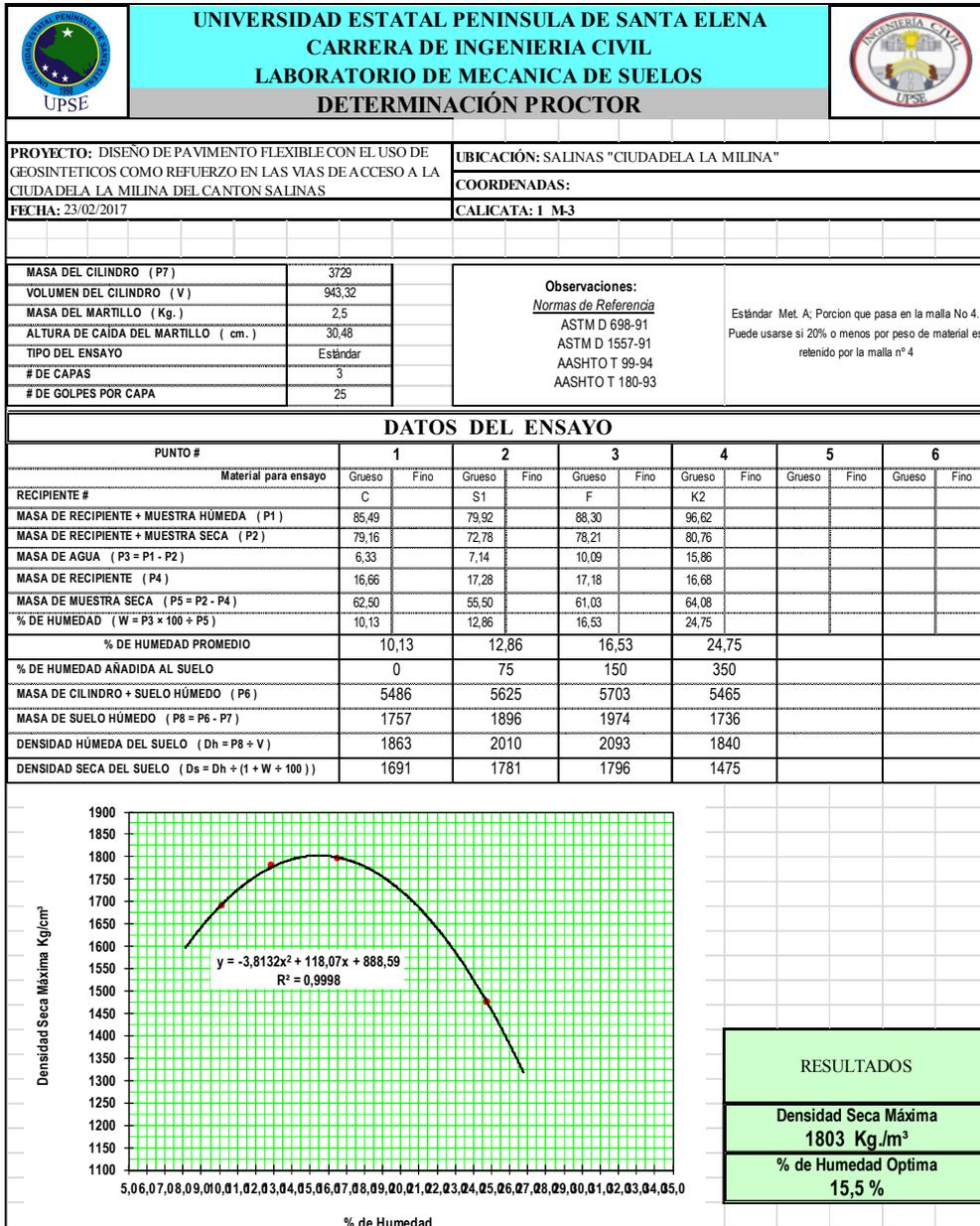
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.11. Proctor Estándar Calicata 1 Material 2



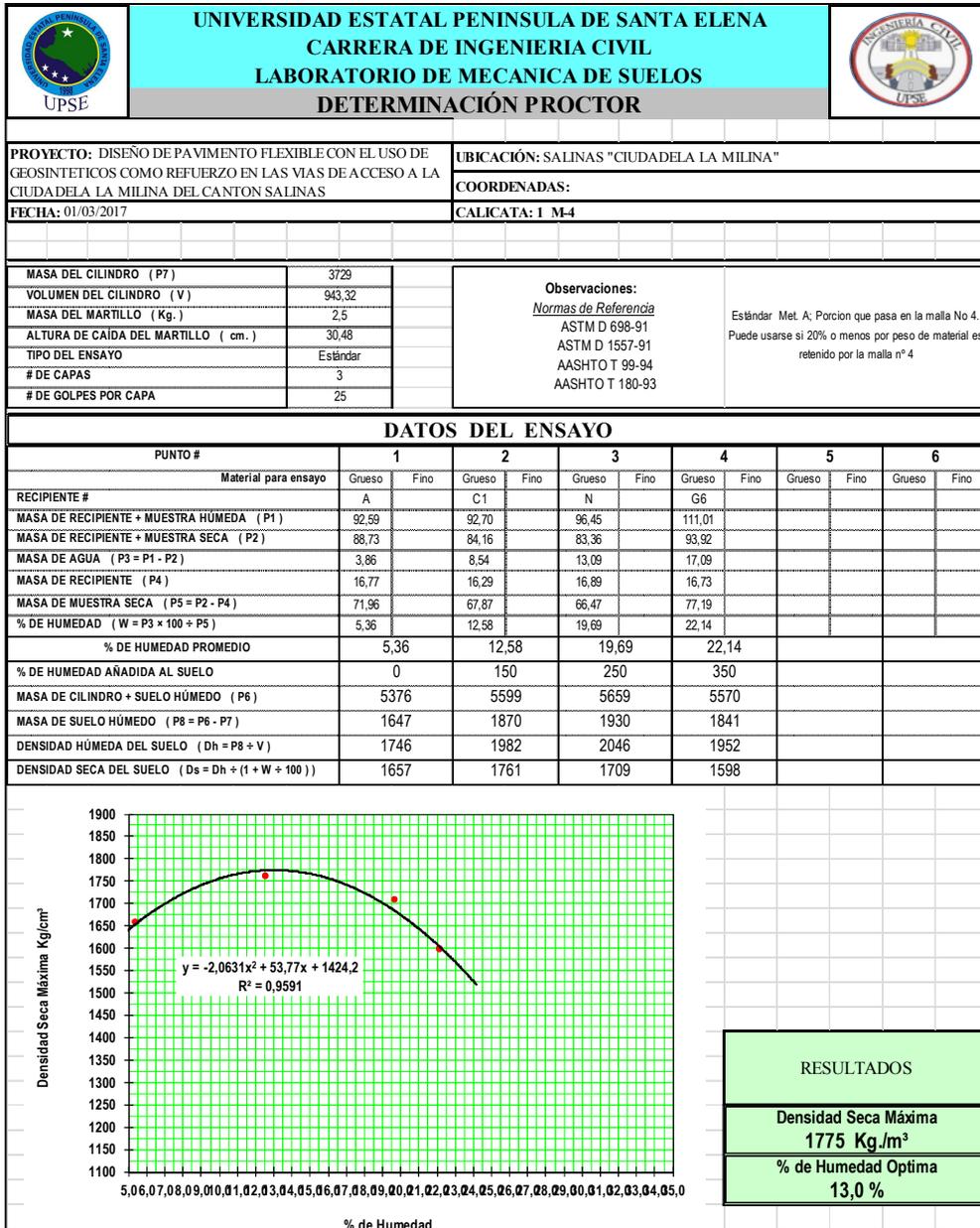
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.12. Proctor Estándar Calicata 1 Material 3



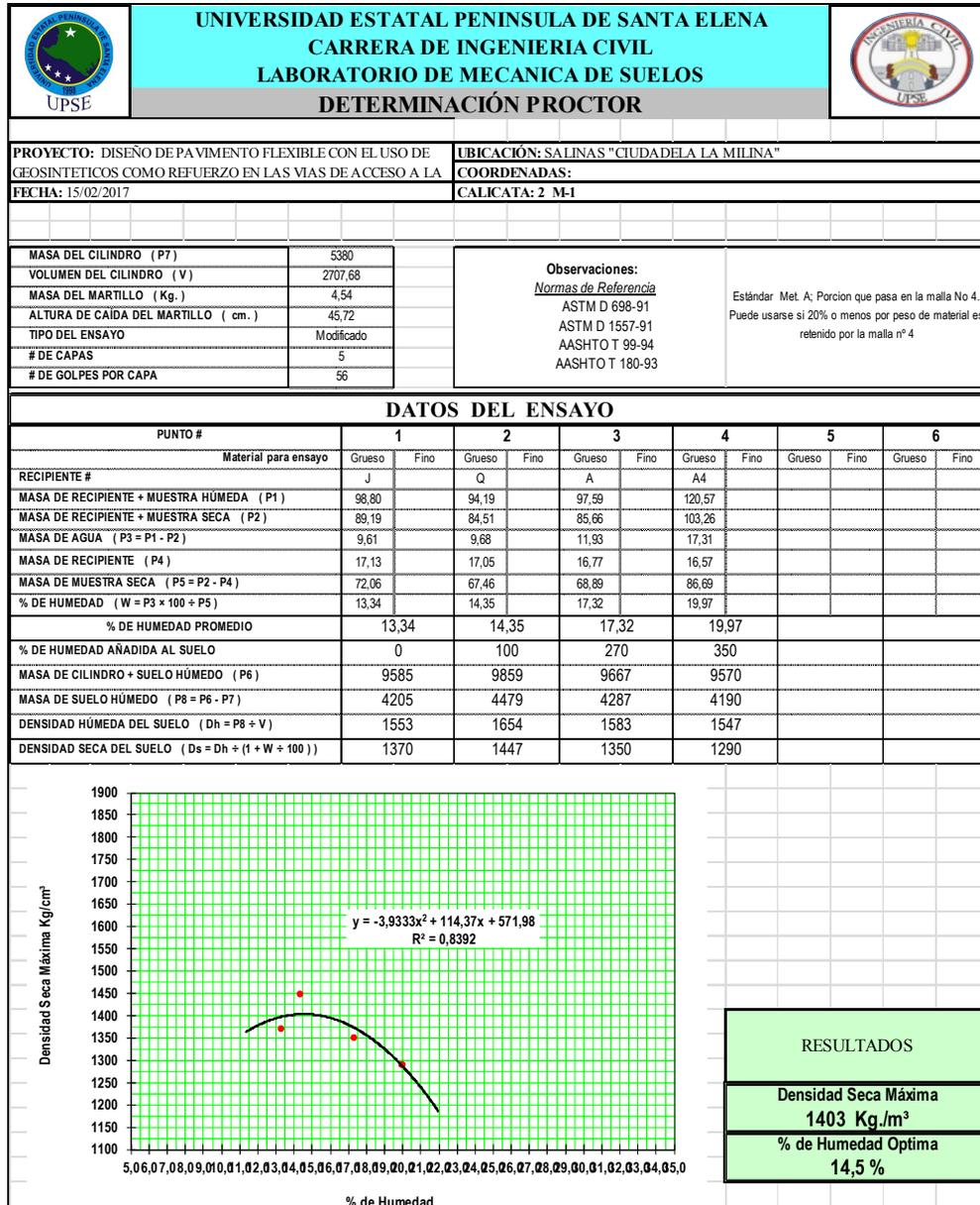
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.13. Proctor Estándar Calicata 1 Material 4



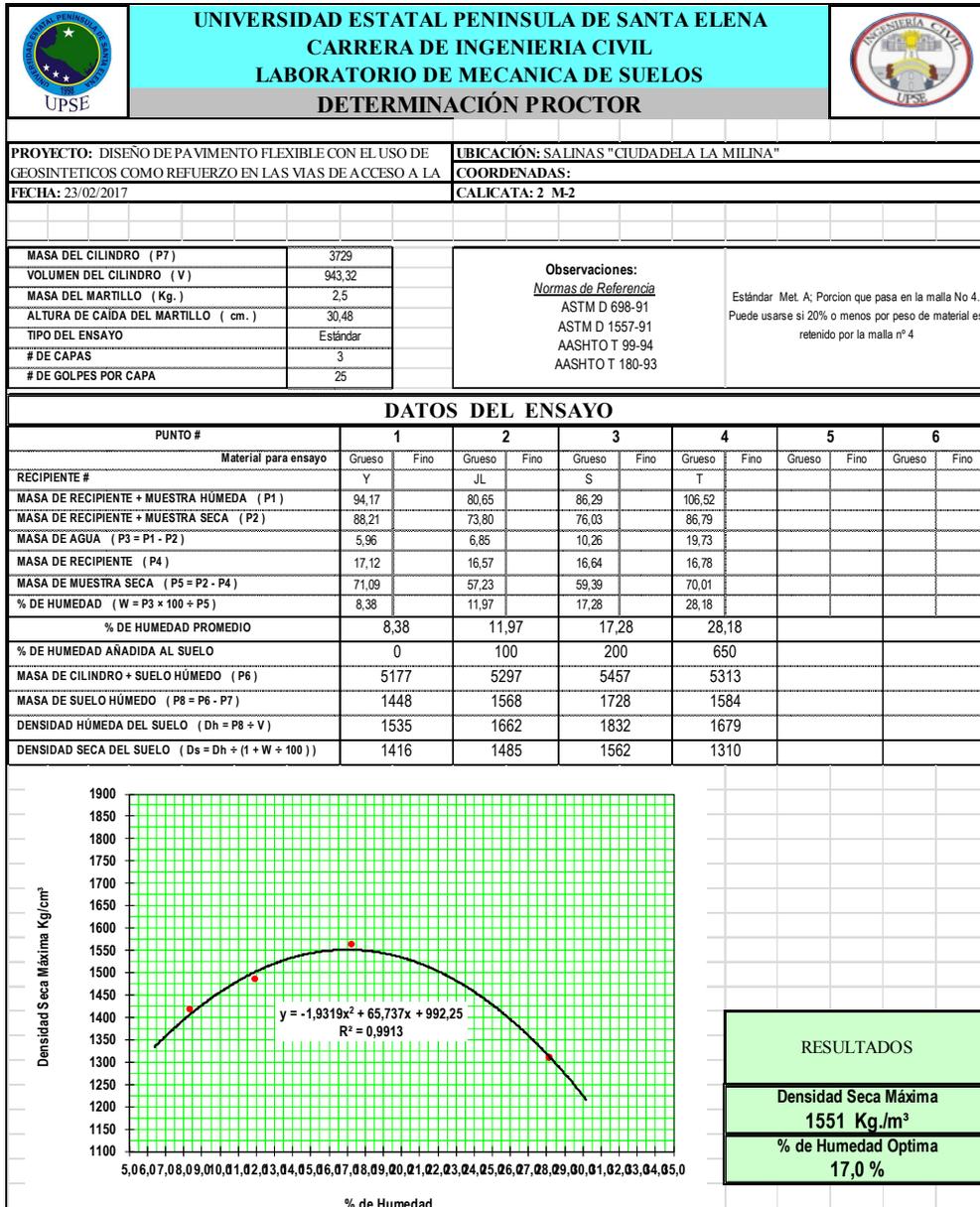
Fuente: Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.14. Proctor Modificado Calicata 2 Material 1



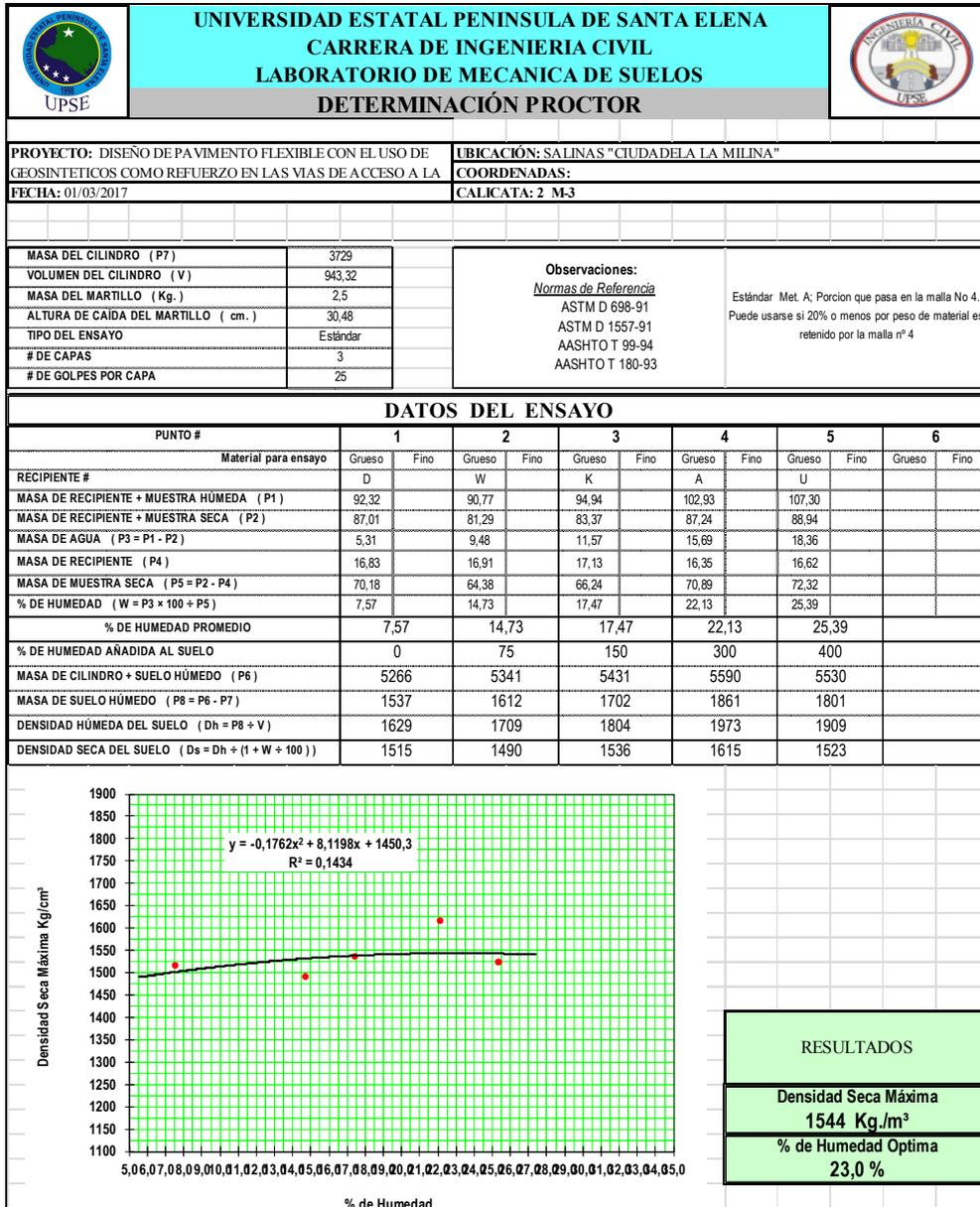
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.15. Proctor Estándar Calicata 2 Material 2



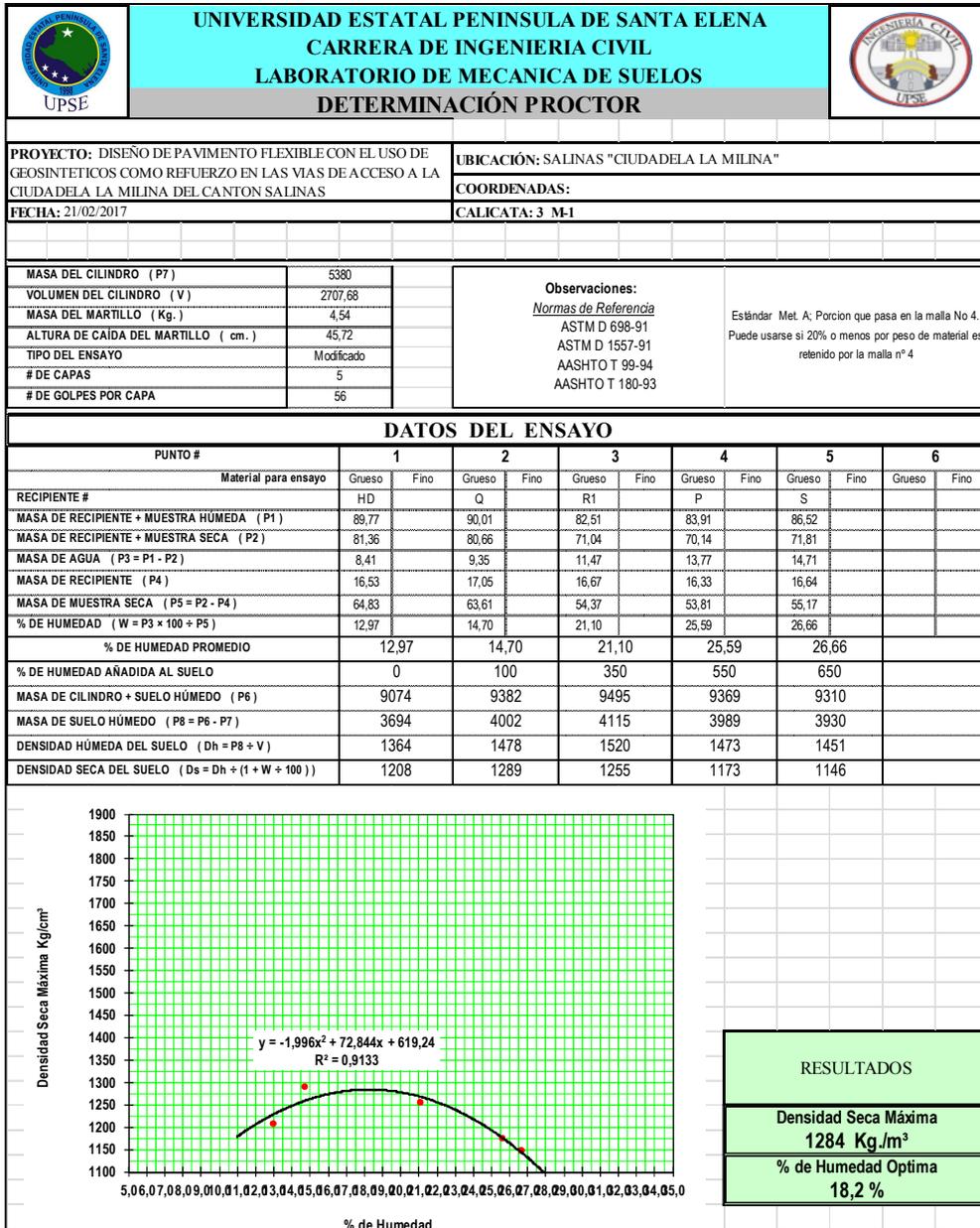
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.16. Proctor Estándar Calicata 2 Material 3



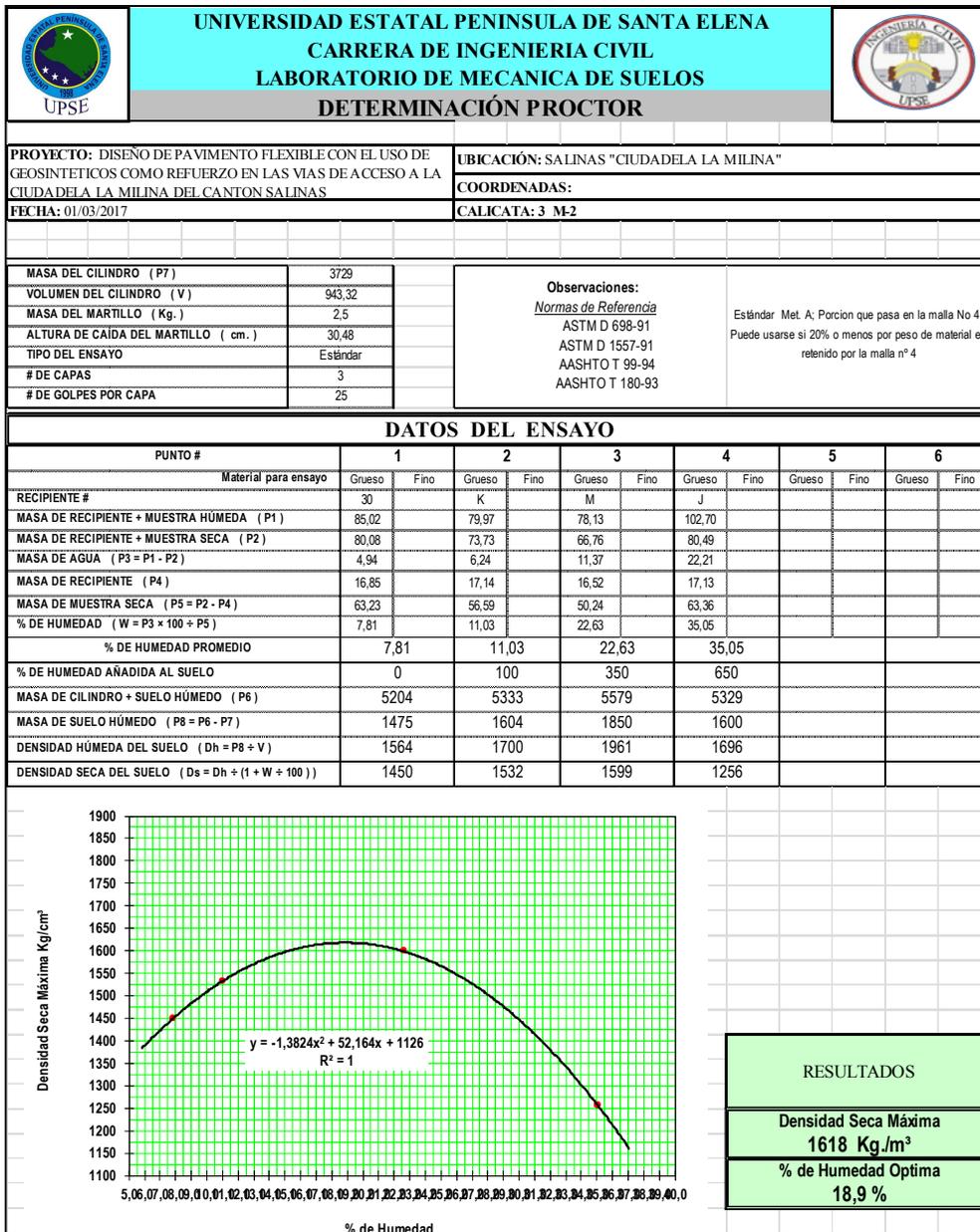
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.17. Proctor Modificado Calicata 3 Material 1



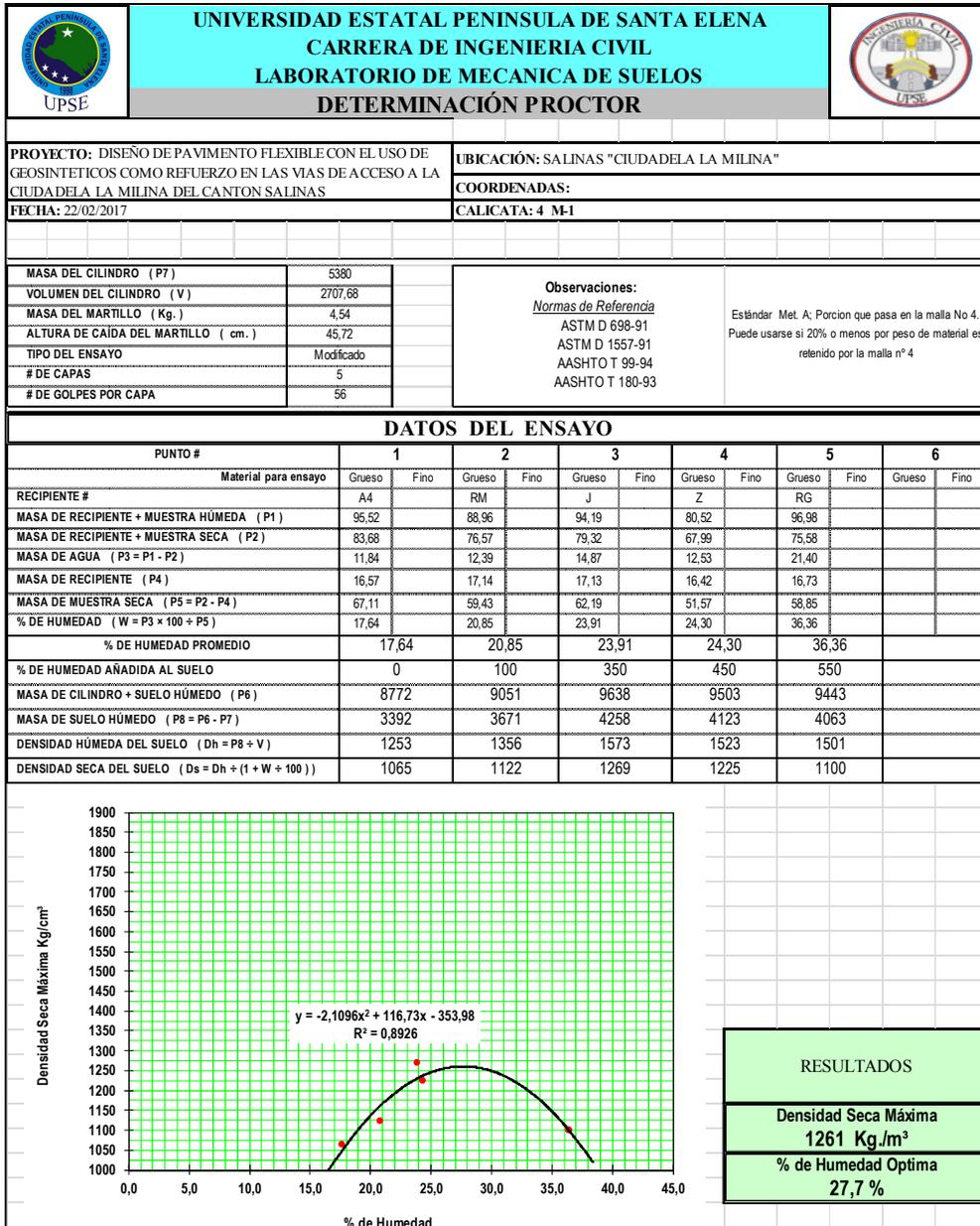
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.18. Proctor Estándar Calicata 3 Material 2



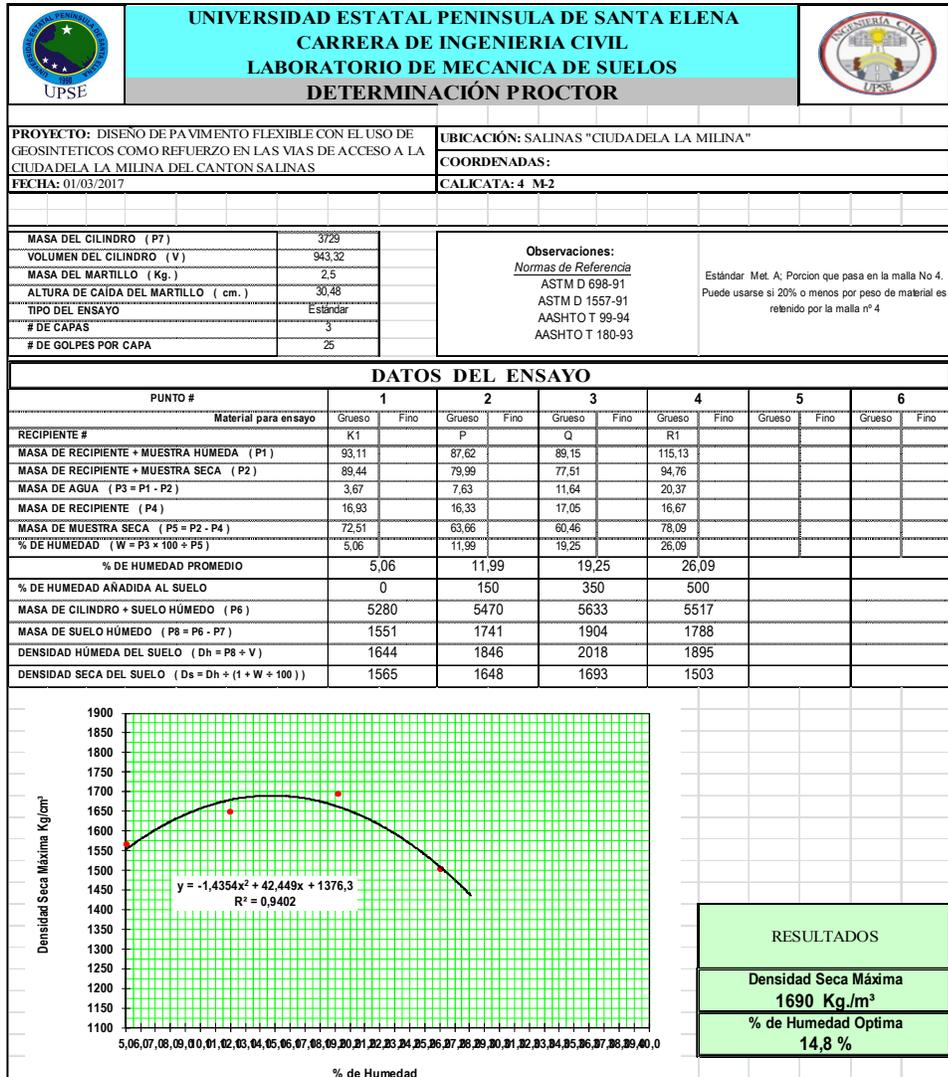
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.19. Proctor Modificado Calicata 4 Material 1



Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.20. Proctor Estándar Calicata 4 Material 2



Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Proctor Modificado: C1-M1 la densidad seca máxima fue de 1194 y 23,7% de humedad óptima.

Proctor Estándar: C1-M4 densidad seca máxima fue de 1775 y 13% de humedad óptima y C2-M3 densidad seca máxima fue de 1544 y 23% de humedad óptima con estos resultados se trabajara más adelante en el cálculo del C.B.R.

3.3.4. Ensayo California Bearing Ratio (CBR)

C.B.R es la relación entre la carga vs la penetración en un espécimen con una muestra de suelo con una humedad y densidad dada que podemos conseguir de un patrón (Proctor).

Con este método se puede medir la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada.

Equipo a utilizar:

- **Para la compactación:**
- Molde cilindro metálico de diámetro de = 6", altura de 7" a 8" y un collar de 2".
- Disco espaciador de acero diámetro 5 15/16" y una altura 2.5"
- Martillo con un peso de 10 lb. Y una altura de caída de 18".
- Trípode y dial deformímetro con aprox. 0.001".
- Pesas de anulares de 5 lbs. c/u (2 pesas).
- **Para la prueba de penetración:**
- Pistón sección circular diámetro de 2 pulg.
- Aparato para aplicar la carga: Prensa hidráulica. V= 0.05 pulg/min. Con anillo calibrado.

- Herramientas varias: balanza, tamices, cronómetro, papel filtro, horno, tanques para inmersión de muestra a saturar, etc.

Los equipos utilizados para realizar el ensayo C.B.R. se muestran a continuación en las figuras 3.21 y 3.22.

Figura 3.21. Molde metálico- Horno para ensayo C.B.R.



Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.22. Martillo metálico – Prensa hidráulica para ensayo C.B.R



Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

- **Procedimiento:**

Lo primero que haremos es preparar el material para el ensayo. Esta tal vez es la parte más importante del ensayo.

- Secar el material al sol, luego desmenuzar los terrones (podemos usar un mazo con cabeza de hule) debemos cuidar de no romper las partículas individuales en la muestra.
- Cuarteamos y conseguimos aproximadamente 20 kg. De material. (basado en una curva de 3 puntos).
- Tamizamos por el tamiz $\frac{3}{4}$ ".
- El material retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ " lo pesamos y reemplazamos por material retenido entre $\frac{3}{4}$ " y #4 (debemos tamizar aparte otra cantidad de material por el tamiz $\frac{3}{4}$ " y el #4 para tener material para reemplazar).
- Con la ayuda de una espátula ancha mezclamos todo muy bien.
- Llevamos el material a la condición de humedad óptima conseguida con el Proctor (la cantidad óptima a utilizar).

- **Moldeando las muestras**

- En el cilindro con su collar colocamos el espaciador y el papel filtro.
- Llenamos el molde en 5 capas compactamos con los golpes necesarios para cada espécimen, conservar material para verificar la humedad del espécimen. Tenemos que hacer uno con 12, 25,56 golpes por capa.
- Quitamos el collar y enrasamos bien, volteamos el molde. Quitamos el disco espaciador, registramos su peso en la balanza.

- Determinamos la densidad y la humedad de la muestra (cogemos parte de la muestra en un recipiente registramos su peso y número en la balanza y la llevamos a secar al horno por 24 horas para luego registrar su peso seco).
- Ponemos el filtro sobre la superficie enrasada y esta va a ser la parte inferior de la muestra.
- En la parte donde estaba el espaciador colocamos otro filtro y El plato con un vástago graduable.
- Sobre este plato se colocan las sobrecargas necesarias (mínimo 4.5 Kg)
- Se coloca el molde dentro de una piscina con agua suficiente para que pueda cubrir por completo el molde.
- Se monta el trípode con un extensómetro y se toma una lectura inicial y se tomará cada 24 horas.
- Después de 96 horas se toma la última lectura para calcular el hinchamiento.
 - **Resistencia a la penetración**
- Sujetamos bien el plato que pusimos sobre el espécimen y lo inclinamos para drenar la muestra por aproximadamente 15 minutos y removemos el plato disco, filtro y los contrapesos.
- Pesamos la muestra y registramos su peso.
- Se ponen los contrapesos necesarios para semejar el peso del pavimento.
- Colocamos el espécimen en la prensa y aplicamos una carga de 10 lb para asentar el pistón.

- Ajustamos el dial de carga y el deformímetro a cero.
- Iniciamos la penetración a una velocidad de 0.05"/min.
- Hacemos lecturas cada 0.025" de penetración y anotamos la carga que se ha conseguido en cada punto.
- Cuando lleguemos a 0.5" paramos de leer y soltamos la carga.
- Retiramos el espécimen de la prensa y determinamos la humedad (de la parte superior e inferior de la muestra cogemos parte en un recipiente, registramos su peso y número en la balanza y la llevamos a secar al horno por 24 horas para luego registrar su peso seco).
- Los pasos anteriores se realizaron únicamente con las muestras (Calicata 1 Material 1) (Calicata 1 Material 4) (Calicata 2 Material 3) obtenidas para el presente trabajo de investigación.

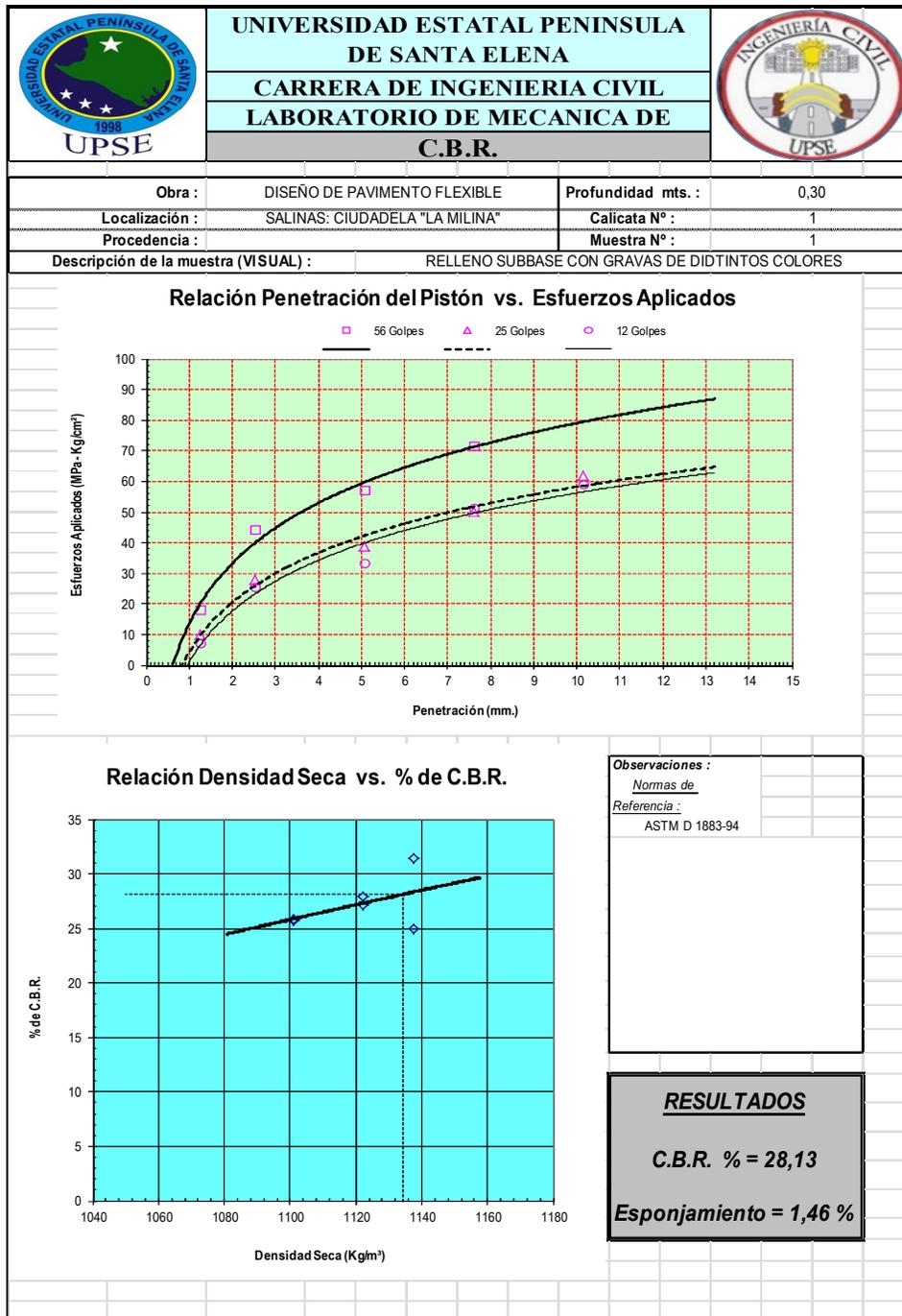
Los resultados obtenidos del ensayo de C.B.R están registrados en las siguientes figuras 3.23 – 3.28 como se muestran a continuación.

Figura 3.23. C.B.R Calicata 1 - Material 1

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA												
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL												
		LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS												
		C.B.R.												
Obra :		DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE		Profundidad mts. : 0,30										
Localización :		SALINAS: CIUDADELA "LA MILINA"		Calicata N° : 1										
Procedencia :				Muestra N° : 1										
Descripción de la muestra (VISUAL) : RELLENO SUBBASE CON GRAVAS DE DIDTINTOS COLORES														
Densidad Seca Máx. Kg/m ³ : 1194		Masa Martillo de Compactación (Kg) : 4,54		Proctor Tipo : Modificado										
% de Humedad Óptima : 23,7		Altura de Caída de Martillo (cm) : 45,72		C.B.R. al : 95%										
PROBETAS DEL ENSAYO														
Molde #	3			2			1							
# de Capas	5			5			5							
# de Golpes por Capa	56 Golpes			25 Golpes			12 Golpes							
Condiciones de la Muestra		Antes Saturación		Después Saturación		Antes Saturación		Después Saturación		Antes Saturación		Después Saturación		
Masa de muestra húmeda + Molde (gr.)		11512		11535		11683		11721		11357		11427		
Masa del Molde (gr.)		6875				7109				7035				
Masa de la muestra húmeda (gr.)		4637				4574				4322				
Masa de agua absorbida (gr.)		23				38				70				
% de agua absorbida		0,50				0,83				1,62				
Volumen de la muestra (cm ³)		3273				3273				3152				
Densidad Húmeda de la muestra (Kg/m ³)		1417				1398				1371				
Contenido de humedad		Arriba		Abajo		Arriba		Abajo		Arriba		Abajo		
Recipiente #		A		O		P		F		U		M2		
Masa de muestra húmeda + Recipiente (gr.)		95,6		101,2		93,3		98,1		89,6		97,4		
Masa de muestra seca + Recipiente (gr.)		79,7		85,3		77,1		81,7		75,8		81,8		
Masa del Recipiente (gr.)		16,8		15,7		16,3		17,1		16,6		17,3		
% de Humedad parcial		25,27		22,83		26,56		25,38		23,26		24,07		
% de Humedad promedio		24,56				24,56				24,56				
Densidad Seca de la muestra (Kg/m ³)		1138				1122				1101				
DATOS DE ESPONJAMIENTO														
Fecha y Hora de Lectura		Altura de Molde cm. = 11,62			Altura de Molde cm. = 11,65			Altura de Molde cm. = 11,64						
		Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%				
6-mar-17 13:00		0,240	0,00	0,00	0,280	0,00	0,00	0,290	0,00	0,00				
7-mar-17 12:35		0,320	0,08	0,69	0,300	0,02	0,17	0,300	0,01	0,09				
8-mar-17 12:30		0,320	0,08	0,69	0,320	0,04	0,34	0,310	0,02	0,17				
9-mar-17 12:40		0,410	0,17	1,46	0,390	0,11	0,94	0,370	0,08	0,69				
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Tiempo (min)	Penetración (mm.)	Cargas tipo (Kg/cm ²)	56 Golpes				25 Golpes				12 Golpes			
			Lectura Dial (Kg.)	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm ²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm ²)	C.B.R. Corregido (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm ²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm ²)	C.B.R. Corregido (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm ²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm ²)	C.B.R. Corregido (%)
0,5	0,63		249							55				
1,0	1,27		354	18,25				194	10,00			144	7,40	
1,5	1,90		614					300				325		
2,0	2,54	70,31	860	44,33	22,12	31,46	542	27,91	19,66	27,96	494	25,44	18,17	25,84
4,0	5,08	105,47	1113	57,35	26,29	24,93	754	38,87	28,68	27,19	647	33,32	27,11	25,70
6,0	7,62	133,59	1388	71,55			971	50,03			994	51,24		
8,0	10,16	161,71	1662				1200	61,83			1145	59,02		
10,0	12,70	182,81												
Observaciones :														
Normas de Referencia :														
ASTM D 1883-94														
AASHTO T 193-93														

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.24. C.B.R Calicata 1 - Material 1



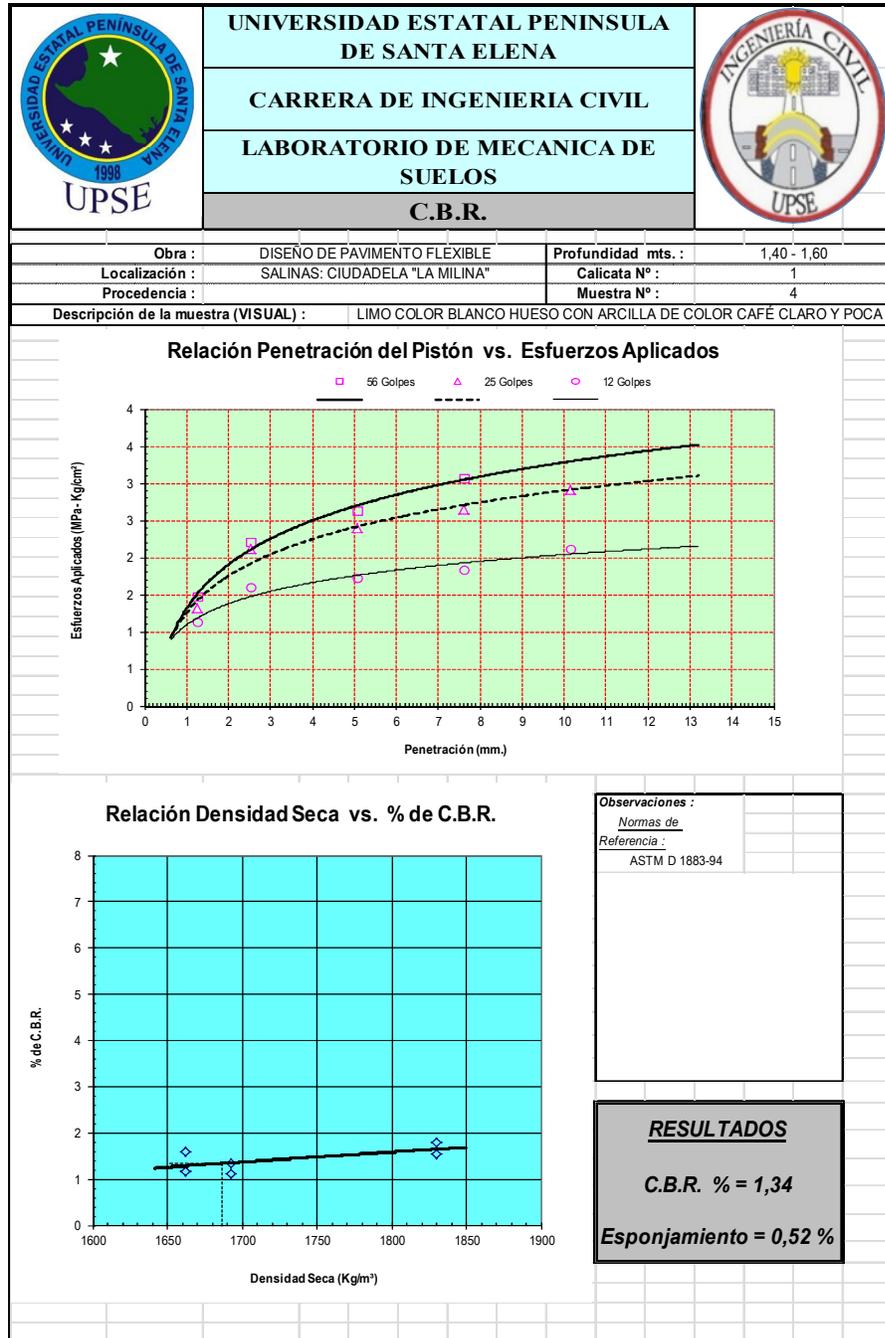
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.25. C.B.R Calicata 1 - Material 4

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA														
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL														
		LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS														
		C.B.R.														
Obra :	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE				Profundidad mts. :	1,40 - 1,60										
Localización :	SALINAS: CIUDADELA "LA MILINA"				Calicata N° :	1										
Procedencia :					Muestra N° :	4										
Descripción de la muestra (VISUAL) : LIMO COLOR BLANCO HUESO CON ARCILLA DE COLOR CAFÉ CLARO Y POCA GRAVA																
Densidad Seca Máx. Kg/m ³ :	1775	Masa Martillo de Compactación (Kg) :	4,54		Proctor Tipo :	Modificado										
% de Humedad Óptima :	13	Altura de Caída de Martillo (cm) :	45,72		C.B.R. al :	95%										
PROBETAS DEL ENSAYO																
Molde #	III			XVII			II									
# de Capas	5			5			5									
# de Golpes por Capa	56 Golpes			25 Golpes			12 Golpes									
Condiciones de la Muestra	Antes Saturación		Después Saturación		Antes Saturación		Después Saturación									
Masa de muestra húmeda + Molde (gr.)	10506		10532		11710		11739									
Masa del Molde (gr.)	5832				6516		5943									
Masa de la muestra húmeda (gr.)	4674				5194		4762									
Masa de agua absorbida (gr.)	26				29		34									
% de agua absorbida	0,56				0,56		0,71									
Volumen de la muestra (cm ³)	2344			2366			2345									
Densidad Húmeda de la muestra (Kg/m ³)	1994			2195			2031									
Contenido de humedad	Arriba		Abajo		Arriba		Abajo									
Recipiente #	A		C1		K		41									
Masa de muestra húmeda + Recipiente (gr.)	121,3		119,4		113,3		120,3									
Masa de muestra seca + Recipiente (gr.)	103,6		101,3		98,3		103,4									
Masa del Recipiente (gr.)	16,9		17,0		17,1		16,9									
% de Humedad parcial	20,51		21,40		18,49		19,50									
% de Humedad promedio	19,97				19,97		19,97									
Densidad Seca de la muestra (Kg/m ³)	1662				1830		1693									
DATOS DE ESPONJAMIENTO																
Fecha y Hora de Lectura	Altura de Molde cm. = 11,46			Altura de Molde cm. = 11,64			Altura de Molde cm. = 11,64									
	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%							
6-mar-17 13:00	0,190	0,00	0,00	0,210	0,00	0,00	1,210	0,00	0,00							
7-mar-17 12:35	0,210	0,02	0,17	0,220	0,01	0,09	1,220	0,01	0,09							
8-mar-17 12:30	0,220	0,03	0,26	0,230	0,02	0,17	1,250	0,04	0,34							
9-mar-17 12:40	0,230	0,04	0,35	0,250	0,04	0,34	1,270	0,06	0,52							
ENSAYO DE PENETRACIÓN																
Tiempo (min)	Penetración (mm.)	Cargas tipo (Kg/cm ²)	56 Golpes				25 Golpes			12 Golpes						
			Lectura Dial (Kg.)	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm ²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm ²)	C.B.R. Corregido (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm ²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm ²)	C.B.R. Corregido (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm ²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm ²)	C.B.R. Corregido (%)		
0,5	0,63		18					15				14				
1,0	1,27		29	1,47				26	1,31			22	1,13			
1,5	1,90		38					35				28				
2,0	2,54	70,31	43	2,22	1,12	1,60	41	2,11	1,26	1,80	31	1,60	0,94	1,34		
4,0	5,08	105,47	51	2,63	1,24	1,17	47	2,40	1,63	1,55	34	1,73	1,19	1,13		
6,0	7,62	133,59	60	3,07			52	2,65			36	1,83				
8,0	10,16	161,71	66				57	2,91			41	2,11				
10,0	12,70	182,81														
Observaciones :																
Normas de Referencia :																
ASTM D 1883-94																
AASHTO T 193-93																

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.26. C.B.R Calicata 1 - Material 4



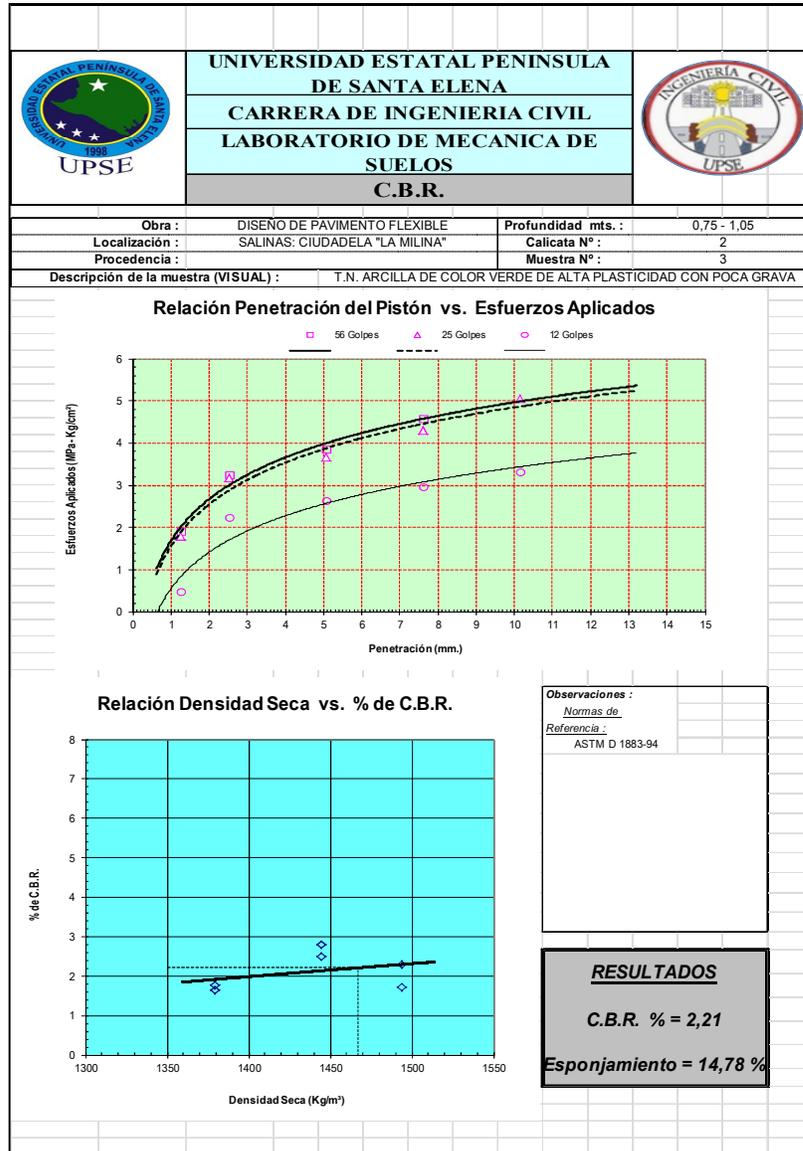
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.27. C.B.R Calicata 2 - Material 3

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS C.B.R.																	
Obra :	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE			Profundidad mts. :	0,75 - 1,05														
Localización :	SALINAS: CIUDADELA "LA MILINA"			Calicata N° :	2														
Procedencia :				Muestra N° :	3														
Descripción de la muestra (VISUAL) :		T.N. ARCILLA DE COLOR VERDE DE ALTA PLASTICIDAD CON POCA GRAVA																	
Densidad Seca Máx. Kg/m ³ :	1544	Masa Martillo de Compacción (Kg) :	4,54	Proctor Tipo :	Modificado														
% de Humedad Óptima :	23	Altura de Caída de Martillo (cm) :	45,72	C.B.R. al :	95%														
PROBETAS DEL ENSAYO																			
Molde #	XV				XIII		XIV												
# de Capas	5				5		5												
# de Golpes por Capa	56 Golpes				25 Golpes		12 Golpes												
Condiciones de la Muestra	Antes Saturación		Después Saturación		Antes Saturación		Después Saturación												
Masa de muestra húmeda + Molde (gr.)	11133		11297		11106		11288												
Masa del Molde (gr.)	6516				6668														
Masa de la muestra húmeda (gr.)	4617				4438														
Masa de agua absorbida (gr.)	164				182														
% de agua absorbida	3,55				4,10														
Volumen de la muestra (cm ³)	2366				2353														
Densidad Húmeda de la muestra (Kg/m ³)	1952				1886														
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo											
Recipiente #	RM	IA			M	X	J	K1											
Masa de muestra húmeda + Recipiente (gr.)	92,6	113,8			96,6	94,3	108,3	104,2											
Masa de muestra seca + Recipiente (gr.)	73,6	93,5			76,9	78,5	84,1	84,4											
Masa del Recipiente (gr.)	17,1	16,6			16,5	17,2	17,1	16,9											
% de Humedad parcial	33,59	26,47			32,49	25,68	36,19	29,31											
% de Humedad promedio	30,62				30,62														
Densidad Seca de la muestra (Kg/m ³)	1494				1444														
DATOS DE ESPONJAMIENTO																			
Fecha y Hora de Lectura	Altura de Molde cm. = 11,64			Altura de Molde cm. = 11,43			Altura de Molde cm. = 11,66												
	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%										
6-mar-17 13:00	0,400	0,00	0,00	0,470	0,00	0,00	0,110	0,00	0,00										
7-mar-17 12:35	1,460	1,06	9,11	1,200	0,73	6,39	0,900	0,79	6,78										
8-mar-17 12:30	1,880	1,48	12,72	1,520	1,05	9,19	1,330	1,22	10,47										
9-mar-17 12:40	2,120	1,72	14,78	1,710	1,24	10,85	1,570	1,46	12,53										
ENSAYO DE PENETRACIÓN																			
Tiempo (min)	Penetración (mm)	Cargas tipo (Kg/cm ²)	56 Golpes				25 Golpes				12 Golpes								
			Lectura Dial (Kg.)	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm ²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm ²)	C.B.R. Corregido (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm ²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm ²)	C.B.R. Corregido (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm ²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm ²)	C.B.R. Corregido (%)					
0,5	0,63		10						3										
1,0	1,27		37	1,91					35	1,80				10	0,49				
1,5	1,90		54						52					31					
2,0	2,54	70,31	63	3,25	1,61	2,30			62	3,17	1,96	2,79		44	2,24	1,24	1,76		
4,0	5,08	105,47	75	3,87	1,81	1,72			71	3,66	2,62	2,49		51	2,63	1,74	1,65		
6,0	7,62	133,59	89	4,59					84	4,30				58	2,96				
8,0	10,16	161,71	101						98	5,05				65	3,32				
10,0	12,70	182,81																	
Observaciones :																			
Normas de Referencia :																			
ASTM D 1883-94																			
AASHTO T 193-93																			

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.28. C.B.R Calicata 2 - Material 3



Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

En la figuras 3.26 y 3.28, se visualiza cada uno de los porcentajes de C.B.R en el cual presenta un material de baja capacidad portante con C.B.R. menores a 3%.

3.3.5. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico es un ensayo de laboratorio que nos permite saber la cantidad en masa de las diferentes granulometrías que presenta un suelo (áridos gruesos y áridos finos), es decir, con este análisis obtendremos el porcentaje de suelo que presenta cada intervalo granulométrico.

- **Equipo a utilizar:**
- Balanza
- Horno a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Recipientes medianos
- Tamices: en la siguiente tabla mostramos los tamices a utilizar.
- Tamizadora
- Hojas para tomar los datos

El equipo utilizado para realizar el análisis granulométrico se indica en la figura 3.29 mostrada a continuación.

Figura 3.29. Tamizadora - Tamices - Horno – Balanza para análisis granulométrico



Fuente: Jefferson Suárez - Carlos Jordan

La designación estándar de los Tamices esta dado en la tabla 3.4 indicada a continuación.

Tabla 3.4. Designación estándar de Tamices

DESIGNACIÓN ESTANDAR EN (mm)		PULGADAS
75	mm	3"
50	mm	2"
37.5	mm	1 1/2"
25	mm	1"
19	mm	3/4 "
13.2	mm	1/2 "
9.25	mm	3 /8 "
4.75	mm	Nº 4
2.36	mm	Nº 8
2	mm	Nº 10
0,425	mm	Nº 40
0,075	mm	Nº 200

Fuente: MTOP

- **Procedimiento:**

- Para realizar este ensayo tomamos la muestra inicial de 5kg (previamente secada al horno) y la separamos en finos (los que pasan por el tamiz No.10 y son retenidos por el tamiz No.200) de los gruesos (los que son retenidos por el tamiz No.4), y haremos el análisis de unos y otros por separado.
- Colocamos el material grueso en los tamices previamente armados de forma creciente es decir de mayor (parte superior) a menor (parte inferior) dispuestos en el siguiente orden número 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", No.4, pasante No.4.
- Después llevamos los tamices con el material a la tamizadora en el cual programamos 5 minutos para que se tamice.
- Pesamos en la balanza y anotamos la cantidad de suelo retenido por cada tamiz.
- Luego hacemos lo mismo con los finos usamos tamiz No.10, No.40, N.200.
- Los pasos anteriores se realizan solo con la primera capa de cada una de las calicatas obtenidas para el presente trabajo de investigación.

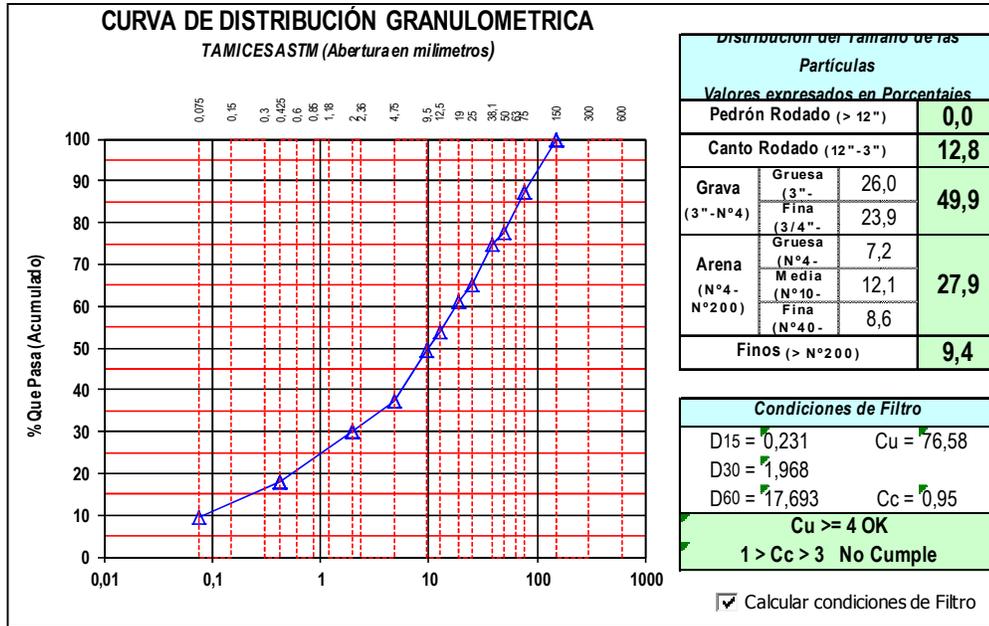
Los resultados obtenidos de este ensayo están registrados en las siguientes figuras 3.30 – 3.37 como se muestra a continuación.

Figura 3.30. Granulometría Calicata 1

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA																																																																																																																																																												
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL																																																																																																																																																												
	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																																																																																																																																																												
	GRANULOMETRIA																																																																																																																																																												
PROYECTO: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON EL USO DE GEOSINTETICOS COMO REFUERZO EN LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTON SALINAS			UBICACIÓN: SALINAS "CIUDADELA LA MILINA"																																																																																																																																																										
FECHA: 20 FEBRERO 2017			CALICATA: 1																																																																																																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Ensayo de Contenido de Humedad</th> <th colspan="2">Material Serie</th> </tr> <tr> <th>Gruesa</th> <th>Fina</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Recipiente N°</td> <td>M</td> <td>R</td> </tr> <tr> <td>Masa de Recipiente + Muestra Húmeda</td> <td>620,00</td> <td>532,00</td> </tr> <tr> <td>Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)</td> <td>543,00</td> <td>465,00</td> </tr> <tr> <td>Masa de Agua (P3 = P1 - P2)</td> <td>77,00</td> <td>67,00</td> </tr> <tr> <td>Masa del Recipiente (P4)</td> <td>93,99</td> <td>95,03</td> </tr> <tr> <td>Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)</td> <td>449,01</td> <td>369,97</td> </tr> <tr> <td>% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)</td> <td>17,15</td> <td>18,11</td> </tr> </tbody> </table>		Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie		Gruesa	Fina	Recipiente N°	M	R	Masa de Recipiente + Muestra Húmeda	620,00	532,00	Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	543,00	465,00	Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	77,00	67,00	Masa del Recipiente (P4)	93,99	95,03	Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	449,01	369,97	% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	17,15	18,11	OBSERVACIONES : <i>Normas de Referencia</i> INEN 154-1986 INEN 696-1982 INEN 697-1982 ASTM C 117-95 ASTM C 136-96a ASTM C 140-98 AASHTO T 11-91 AASHTO T 27-93																																																																																																																																	
Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie																																																																																																																																																												
	Gruesa	Fina																																																																																																																																																											
Recipiente N°	M	R																																																																																																																																																											
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda	620,00	532,00																																																																																																																																																											
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	543,00	465,00																																																																																																																																																											
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	77,00	67,00																																																																																																																																																											
Masa del Recipiente (P4)	93,99	95,03																																																																																																																																																											
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	449,01	369,97																																																																																																																																																											
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	17,15	18,11																																																																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">SERIE GRUESA</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Tamiz ASTM Abertura / N°.</th> <th colspan="2">Masa Retenida</th> <th rowspan="2">% Pasant e</th> <th rowspan="2"></th> </tr> <tr> <th>Parcial</th> <th>Acumulada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>600, mm. 24 "</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>300, mm. 12 "</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>150, mm. 6 "</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>75, mm. 3 "</td><td>1216</td><td>1038,0</td><td>87,22</td><td></td></tr> <tr><td>63, mm. 2 ½ "</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50, mm. 2 "</td><td>907</td><td>1812,2</td><td>77,68</td><td></td></tr> <tr><td>38,1 mm. 1 ½ "</td><td>279</td><td>2050,4</td><td>74,75</td><td></td></tr> <tr><td>25, mm. 1 "</td><td>903</td><td>2821,2</td><td>65,26</td><td></td></tr> <tr><td>19, mm. ¾ "</td><td>382</td><td>3147,3</td><td>61,24</td><td></td></tr> <tr><td>12,5 mm. 1/2 "</td><td>694</td><td>3739,7</td><td>53,95</td><td></td></tr> <tr><td>9,5 mm. 3/8 "</td><td>452</td><td>4125,5</td><td>49,20</td><td></td></tr> <tr><td>4,75 mm. No. 4</td><td>1126</td><td>5086,7</td><td>37,36</td><td></td></tr> <tr><td>Pasa No. 4</td><td>3583</td><td>3033,623613</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		SERIE GRUESA					Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasant e		Parcial	Acumulada	600, mm. 24 "					300, mm. 12 "					150, mm. 6 "					75, mm. 3 "	1216	1038,0	87,22		63, mm. 2 ½ "					50, mm. 2 "	907	1812,2	77,68		38,1 mm. 1 ½ "	279	2050,4	74,75		25, mm. 1 "	903	2821,2	65,26		19, mm. ¾ "	382	3147,3	61,24		12,5 mm. 1/2 "	694	3739,7	53,95		9,5 mm. 3/8 "	452	4125,5	49,20		4,75 mm. No. 4	1126	5086,7	37,36		Pasa No. 4	3583	3033,623613			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">SERIE FINA</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Tamiz ASTM Abertura / N°.</th> <th colspan="2">Masa Retenida</th> <th rowspan="2">% Pasant e</th> <th rowspan="2">% Pasant e</th> </tr> <tr> <th>Parcial</th> <th>Acumulada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,36 mm. No. 8</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2, mm. No. 10</td><td>49,18</td><td>49,18</td><td>80,64</td><td>30,13</td></tr> <tr><td>1,18 mm. No. 16</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,85 mm. No. 20</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,60 mm. No. 30</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,425 mm. No. 40</td><td>82,25</td><td>131,43</td><td>48,26</td><td>18,03</td></tr> <tr><td>0,3 mm. No. 50</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,15 mm. No. 100</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,075 mm. No. 200</td><td>58,59</td><td>190,02</td><td>25,19</td><td>9,41</td></tr> <tr><td>Pasa No. 200</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td colspan="5">Masa inicial del material para Lav 300 gr.</td></tr> <tr><td colspan="5">Masa final corregida por Humedad de los fi 254,0 gr.</td></tr> <tr><td colspan="5">Total del Material utilizados para el Ensayo 8120,3</td></tr> </tbody> </table>		SERIE FINA					Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasant e	% Pasant e	Parcial	Acumulada	2,36 mm. No. 8					2, mm. No. 10	49,18	49,18	80,64	30,13	1,18 mm. No. 16					0,85 mm. No. 20					0,60 mm. No. 30					0,425 mm. No. 40	82,25	131,43	48,26	18,03	0,3 mm. No. 50					0,15 mm. No. 100					0,075 mm. No. 200	58,59	190,02	25,19	9,41	Pasa No. 200					Masa inicial del material para Lav 300 gr.					Masa final corregida por Humedad de los fi 254,0 gr.					Total del Material utilizados para el Ensayo 8120,3				
SERIE GRUESA																																																																																																																																																													
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasant e																																																																																																																																																										
	Parcial	Acumulada																																																																																																																																																											
600, mm. 24 "																																																																																																																																																													
300, mm. 12 "																																																																																																																																																													
150, mm. 6 "																																																																																																																																																													
75, mm. 3 "	1216	1038,0	87,22																																																																																																																																																										
63, mm. 2 ½ "																																																																																																																																																													
50, mm. 2 "	907	1812,2	77,68																																																																																																																																																										
38,1 mm. 1 ½ "	279	2050,4	74,75																																																																																																																																																										
25, mm. 1 "	903	2821,2	65,26																																																																																																																																																										
19, mm. ¾ "	382	3147,3	61,24																																																																																																																																																										
12,5 mm. 1/2 "	694	3739,7	53,95																																																																																																																																																										
9,5 mm. 3/8 "	452	4125,5	49,20																																																																																																																																																										
4,75 mm. No. 4	1126	5086,7	37,36																																																																																																																																																										
Pasa No. 4	3583	3033,623613																																																																																																																																																											
SERIE FINA																																																																																																																																																													
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasant e	% Pasant e																																																																																																																																																									
	Parcial	Acumulada																																																																																																																																																											
2,36 mm. No. 8																																																																																																																																																													
2, mm. No. 10	49,18	49,18	80,64	30,13																																																																																																																																																									
1,18 mm. No. 16																																																																																																																																																													
0,85 mm. No. 20																																																																																																																																																													
0,60 mm. No. 30																																																																																																																																																													
0,425 mm. No. 40	82,25	131,43	48,26	18,03																																																																																																																																																									
0,3 mm. No. 50																																																																																																																																																													
0,15 mm. No. 100																																																																																																																																																													
0,075 mm. No. 200	58,59	190,02	25,19	9,41																																																																																																																																																									
Pasa No. 200																																																																																																																																																													
Masa inicial del material para Lav 300 gr.																																																																																																																																																													
Masa final corregida por Humedad de los fi 254,0 gr.																																																																																																																																																													
Total del Material utilizados para el Ensayo 8120,3																																																																																																																																																													

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.31. Granulometría Calicata 1



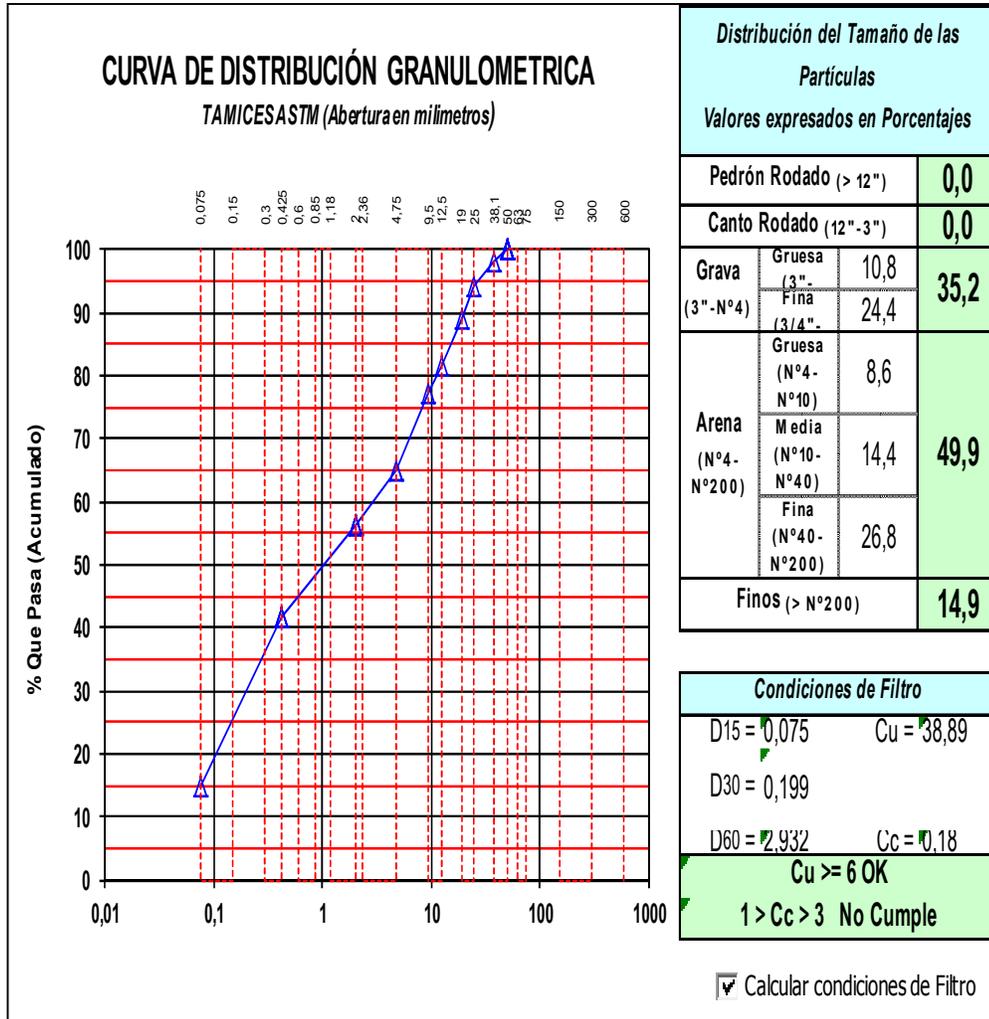
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.32. Granulometría Calicata 2

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA			
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL			
	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS			
	GRANULOMETRIA			
PROYECTO: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON EL USO DE GEOSINTETICOS COMO REFUERZO EN LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTON SALINAS			UBICACIÓN: SALINAS "CIUDADELA LA MILINA"	
FECHA: 22 FEBRERO 2017			COORDENADAS:	
FECHA: 22 FEBRERO 2017			CALICATA: 2	
Ensayo de Contenido de Humedad		Material Serie		OBSERVACIONES : <i>Normas de Referencia</i> INEN 154-1986 INEN 696-1982 INEN 697-1982 ASTM C 117-95 ASTM C 136-96a ASTM C 140-98 AASHTO T 11-91 AASHTO T 27-93
Recipiente N°		Gruesa	Fina	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda		461,00	559,00	
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2		425,00	514,00	
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)		36,00	45,00	
Masa del Recipiente (P4)		124,90	95,03	
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)		300,10	418,97	
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)		12,00	10,74	
SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM	Masa Retenida		% Pasant e	
Abertura / N°.	Parcial	Acumulada		
600, mm. 24 "				
300, mm. 12 "				
150, mm. 6 "				
75, mm. 3 "				
63, mm. 2 ½ "				
50, mm. 2 "				
38,1 mm. 1 ½ "	153	136,6	98,20	
25, mm. 1 "	346	445,6	94,13	
19, mm. 3/4 "	420	820,6	89,19	
12,5 mm. 1/2 "	647	1398,3	81,58	
9,5 mm. 3/8 "	378	1735,8	77,14	
4,75 mm. No. 4	1047	2670,6	64,82	
Pasa No. 4	5450	4921,409789		
SERIE FINA				
Tamiz ASTM	Masa Retenida		% Pasant e	
Abertura / N°.	Parcial	Acumulada	% Pasant e	
2,36 mm. No. 8				
2, mm. No. 10	36,14	36,14	86,66	
1,18 mm. No. 16				
0,85 mm. No. 20				
0,60 mm. No. 30				
0,425 mm. No. 40	60,33	96,47	64,39	
0,3 mm. No. 50				
0,15 mm. No. 100				
0,075 mm. No. 200	112,09	208,56	23,01	
Pasa No. 200				
Masa inicial del material para Lav 300 gr.				
Masa final corregida por Humedad de los fi 270,9 gr.				
Total del Material utilizados para el Ensayo 7592,0				

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.33. Granulometría Calicata 2



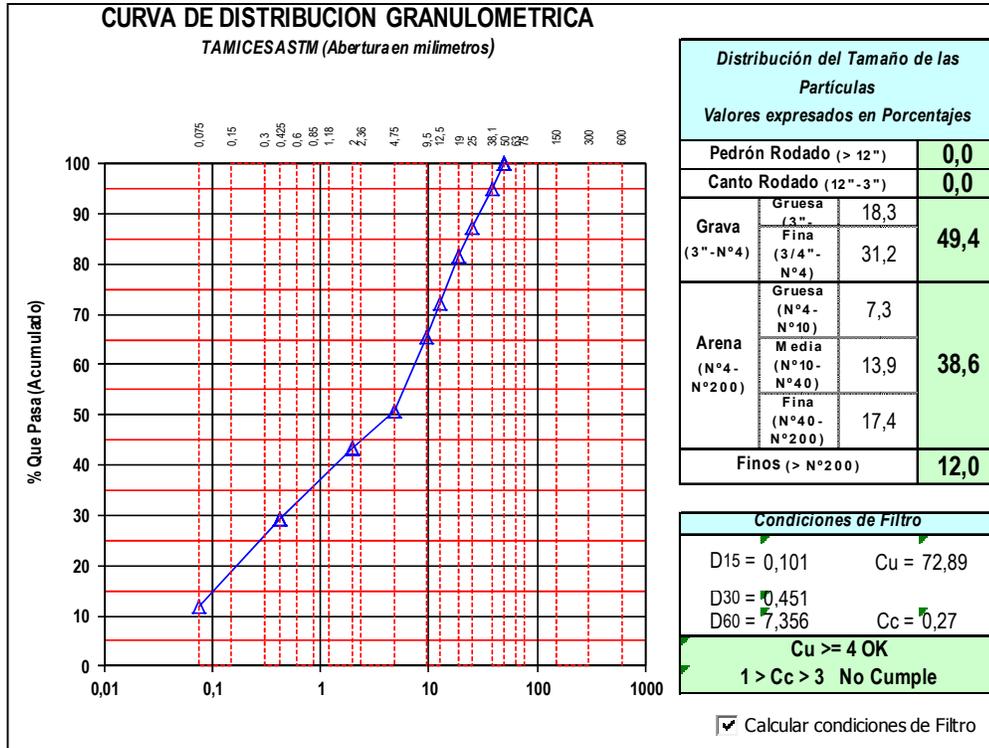
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.34. Granulometría Calicata 3

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA																																																																																																																														
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL																																																																																																																														
	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																																																																																																																														
	GRANULOMETRIA																																																																																																																														
PROYECTO: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON EL USO DE GEOSINTETICOS COMO REFUERZO EN LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTON SALINAS			UBICACIÓN: SALINAS "CIUDADELA LA MILINA"																																																																																																																												
FECHA: 2 MARZO 2017			COORDENADAS: CALICATA: 3																																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Ensayo de Contenido de Humedad</th> <th colspan="2">Material Serie</th> </tr> <tr> <th>Gruesa</th> <th>Fina</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Recipiente N°</td> <td>C</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Masa de Recipiente + Muestra Húmeda</td> <td>569,22</td> <td>640,90</td> </tr> <tr> <td>Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)</td> <td>505,00</td> <td>574,00</td> </tr> <tr> <td>Masa de Agua (P3 = P1 - P2)</td> <td>64,22</td> <td>66,90</td> </tr> <tr> <td>Masa del Recipiente (P4)</td> <td>58,22</td> <td>124,90</td> </tr> <tr> <td>Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)</td> <td>446,78</td> <td>449,10</td> </tr> <tr> <td>% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)</td> <td>14,37</td> <td>14,90</td> </tr> </tbody> </table>		Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie		Gruesa	Fina	Recipiente N°	C	2	Masa de Recipiente + Muestra Húmeda	569,22	640,90	Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	505,00	574,00	Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	64,22	66,90	Masa del Recipiente (P4)	58,22	124,90	Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	446,78	449,10	% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	14,37	14,90	OBSERVACIONES : <i>Normas de Referencia</i> INEN 154-1986 INEN 696-1982 INEN 697-1982 ASTM C 117-95 ASTM C 136-96a ASTM C 1140-98 AASHTO T 11-91 AASHTO T 27-93																																																																																																			
Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie																																																																																																																														
	Gruesa	Fina																																																																																																																													
Recipiente N°	C	2																																																																																																																													
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda	569,22	640,90																																																																																																																													
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	505,00	574,00																																																																																																																													
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	64,22	66,90																																																																																																																													
Masa del Recipiente (P4)	58,22	124,90																																																																																																																													
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	446,78	449,10																																																																																																																													
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	14,37	14,90																																																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">SERIE GRUESA</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Tamiz ASTM Abertura / N°.</th> <th colspan="2">Masa Retenida</th> <th rowspan="2">% Pasante</th> </tr> <tr> <th>Parcial</th> <th>Acumulada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>600, mm. 24 "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>300, mm. 12 "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>150, mm. 6 "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>75, mm. 3 "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>63, mm. 2 ½ "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50, mm. 2 "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>38,1 mm. 1 ½ "</td><td>563</td><td>492,2</td><td>94,91</td></tr> <tr><td>25, mm. 1 "</td><td>831</td><td>1218,8</td><td>87,39</td></tr> <tr><td>19, mm. 3/4 "</td><td>624</td><td>1764,4</td><td>81,75</td></tr> <tr><td>12,5 mm. 1/2 "</td><td>1057</td><td>2688,5</td><td>72,19</td></tr> <tr><td>9,5 mm. 3/8 "</td><td>739</td><td>3334,7</td><td>65,50</td></tr> <tr><td>4,75 mm. No. 4</td><td>1648</td><td>4775,6</td><td>50,59</td></tr> <tr><td>Pasa No. 4</td><td>5619</td><td>4890,490116</td><td></td></tr> </tbody> </table>		SERIE GRUESA				Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante	Parcial	Acumulada	600, mm. 24 "				300, mm. 12 "				150, mm. 6 "				75, mm. 3 "				63, mm. 2 ½ "				50, mm. 2 "				38,1 mm. 1 ½ "	563	492,2	94,91	25, mm. 1 "	831	1218,8	87,39	19, mm. 3/4 "	624	1764,4	81,75	12,5 mm. 1/2 "	1057	2688,5	72,19	9,5 mm. 3/8 "	739	3334,7	65,50	4,75 mm. No. 4	1648	4775,6	50,59	Pasa No. 4	5619	4890,490116		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">SERIE FINA</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Tamiz ASTM Abertura / N°.</th> <th colspan="2">Masa Retenida</th> <th rowspan="2">% Pasante</th> </tr> <tr> <th>Parcial</th> <th>Acumulada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,36 mm. No. 8</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2, mm. No. 10</td><td>37,56</td><td>37,56</td><td>85,61</td></tr> <tr><td>1,18 mm. No. 16</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,85 mm. No. 20</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,60 mm. No. 30</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,425 mm. No. 40</td><td>71,50</td><td>109,06</td><td>58,23</td></tr> <tr><td>0,3 mm. No. 50</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,15 mm. No. 100</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,075 mm. No. 200</td><td>90,04</td><td>199,10</td><td>23,75</td></tr> <tr><td>Pasa No. 200</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td colspan="4">Masa inicial del material para Lav 300 gr.</td></tr> <tr><td colspan="4">Masa final corregida por Humedad de los fi 261,1 gr.</td></tr> <tr><td colspan="4">Total del Material utilizados para el Ensayo 9666,1</td></tr> </tbody> </table>		SERIE FINA				Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante	Parcial	Acumulada	2,36 mm. No. 8				2, mm. No. 10	37,56	37,56	85,61	1,18 mm. No. 16				0,85 mm. No. 20				0,60 mm. No. 30				0,425 mm. No. 40	71,50	109,06	58,23	0,3 mm. No. 50				0,15 mm. No. 100				0,075 mm. No. 200	90,04	199,10	23,75	Pasa No. 200				Masa inicial del material para Lav 300 gr.				Masa final corregida por Humedad de los fi 261,1 gr.				Total del Material utilizados para el Ensayo 9666,1			
SERIE GRUESA																																																																																																																															
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante																																																																																																																												
	Parcial	Acumulada																																																																																																																													
600, mm. 24 "																																																																																																																															
300, mm. 12 "																																																																																																																															
150, mm. 6 "																																																																																																																															
75, mm. 3 "																																																																																																																															
63, mm. 2 ½ "																																																																																																																															
50, mm. 2 "																																																																																																																															
38,1 mm. 1 ½ "	563	492,2	94,91																																																																																																																												
25, mm. 1 "	831	1218,8	87,39																																																																																																																												
19, mm. 3/4 "	624	1764,4	81,75																																																																																																																												
12,5 mm. 1/2 "	1057	2688,5	72,19																																																																																																																												
9,5 mm. 3/8 "	739	3334,7	65,50																																																																																																																												
4,75 mm. No. 4	1648	4775,6	50,59																																																																																																																												
Pasa No. 4	5619	4890,490116																																																																																																																													
SERIE FINA																																																																																																																															
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante																																																																																																																												
	Parcial	Acumulada																																																																																																																													
2,36 mm. No. 8																																																																																																																															
2, mm. No. 10	37,56	37,56	85,61																																																																																																																												
1,18 mm. No. 16																																																																																																																															
0,85 mm. No. 20																																																																																																																															
0,60 mm. No. 30																																																																																																																															
0,425 mm. No. 40	71,50	109,06	58,23																																																																																																																												
0,3 mm. No. 50																																																																																																																															
0,15 mm. No. 100																																																																																																																															
0,075 mm. No. 200	90,04	199,10	23,75																																																																																																																												
Pasa No. 200																																																																																																																															
Masa inicial del material para Lav 300 gr.																																																																																																																															
Masa final corregida por Humedad de los fi 261,1 gr.																																																																																																																															
Total del Material utilizados para el Ensayo 9666,1																																																																																																																															

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.35. Granulometría Calicata 3



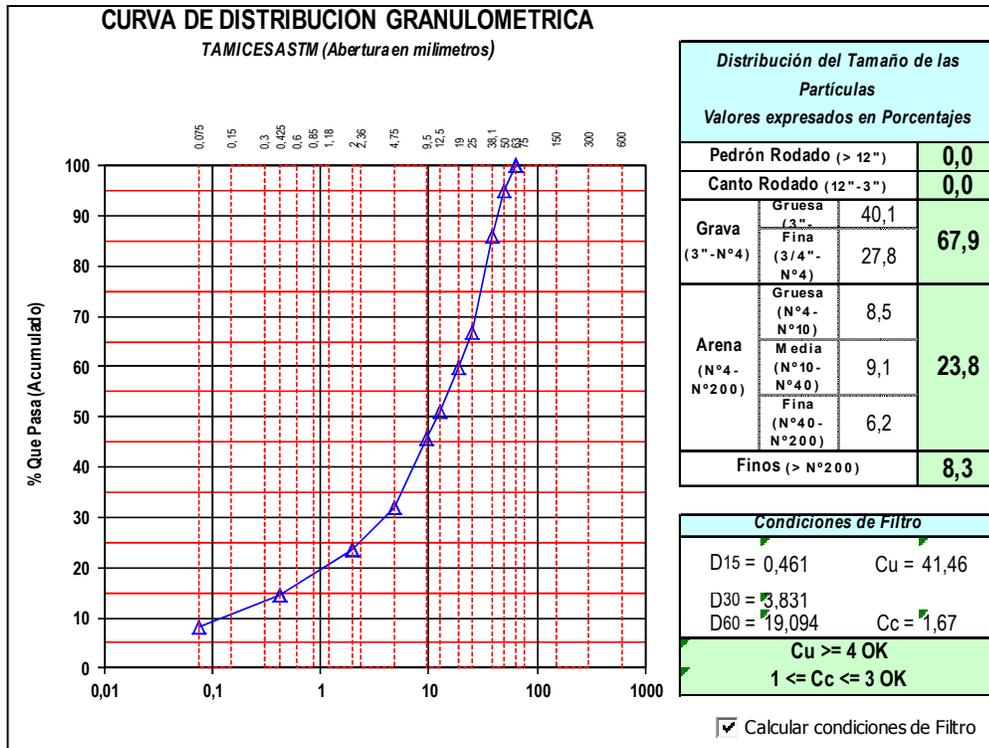
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.36. Granulometría Calicata 4

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA																																																																																																																																															
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL																																																																																																																																															
	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																																																																																																																																															
	GRANULOMETRIA																																																																																																																																															
PROYECTO: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON EL USO DE GEOSINTETICOS COMO REFUERZO EN LAS VIAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTON SALINAS			UBICACIÓN: SALINAS "CIUDADELA LA MILINA"																																																																																																																																													
FECHA: 22 FEBRERO 2017			COORDENADAS: CALICATA: 4																																																																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Ensayo de Contenido de Humedad</th> <th colspan="2">Material Serie</th> </tr> <tr> <th>Gruesa</th> <th>Fina</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Recipiente N°</td> <td>W</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Masa de Recipiente + Muestra Húmeda</td> <td>455,00</td> <td>205,00</td> </tr> <tr> <td>Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)</td> <td>396,00</td> <td>174,00</td> </tr> <tr> <td>Masa de Agua (P3 = P1 - P2)</td> <td>59,00</td> <td>31,00</td> </tr> <tr> <td>Masa del Recipiente (P4)</td> <td>93,99</td> <td>35,15</td> </tr> <tr> <td>Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)</td> <td>302,01</td> <td>138,85</td> </tr> <tr> <td>% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)</td> <td>19,54</td> <td>22,33</td> </tr> </tbody> </table>		Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie		Gruesa	Fina	Recipiente N°	W	12	Masa de Recipiente + Muestra Húmeda	455,00	205,00	Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	396,00	174,00	Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	59,00	31,00	Masa del Recipiente (P4)	93,99	35,15	Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	302,01	138,85	% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	19,54	22,33	OBSERVACIONES : <i>Normas de Referencia</i> INEN 154-1986 INEN 696-1982 INEN 697-1982 ASTM C 117-95 ASTM C 136-96a ASTM C 140-98 AASHTO T 11-91 AASHTO T 27-93																																																																																																																				
Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie																																																																																																																																															
	Gruesa	Fina																																																																																																																																														
Recipiente N°	W	12																																																																																																																																														
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda	455,00	205,00																																																																																																																																														
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	396,00	174,00																																																																																																																																														
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	59,00	31,00																																																																																																																																														
Masa del Recipiente (P4)	93,99	35,15																																																																																																																																														
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	302,01	138,85																																																																																																																																														
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	19,54	22,33																																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">SERIE GRUESA</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Tamiz ASTM Abertura / N°.</th> <th colspan="2">Masa Retenida</th> <th rowspan="2">% Pasante</th> </tr> <tr> <th>Parcial</th> <th>Acumulada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>600, mm. 24 "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>300, mm. 12 "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>150, mm. 6 "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>75, mm. 3 "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>63, mm. 2 ½ "</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50, mm. 2 "</td><td>216</td><td>180,7</td><td>95,01</td></tr> <tr><td>38,1 mm. 1 ½ "</td><td>385</td><td>502,8</td><td>86,13</td></tr> <tr><td>25, mm. 1 "</td><td>838</td><td>1203,8</td><td>66,78</td></tr> <tr><td>19, mm. 3/4 "</td><td>299</td><td>1454,0</td><td>59,88</td></tr> <tr><td>12,5 mm. 1/2 "</td><td>381</td><td>1772,7</td><td>51,08</td></tr> <tr><td>9,5 mm. 3/8 "</td><td>225</td><td>1960,9</td><td>45,89</td></tr> <tr><td>4,75 mm. No. 4</td><td>597</td><td>2460,4</td><td>32,10</td></tr> <tr><td>Pasa No. 4</td><td>1423</td><td>1163,282602</td><td></td></tr> </tbody> </table>		SERIE GRUESA				Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante	Parcial	Acumulada	600, mm. 24 "				300, mm. 12 "				150, mm. 6 "				75, mm. 3 "				63, mm. 2 ½ "				50, mm. 2 "	216	180,7	95,01	38,1 mm. 1 ½ "	385	502,8	86,13	25, mm. 1 "	838	1203,8	66,78	19, mm. 3/4 "	299	1454,0	59,88	12,5 mm. 1/2 "	381	1772,7	51,08	9,5 mm. 3/8 "	225	1960,9	45,89	4,75 mm. No. 4	597	2460,4	32,10	Pasa No. 4	1423	1163,282602		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">SERIE FINA</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Tamiz ASTM Abertura / N°.</th> <th colspan="2">Masa Retenida</th> <th colspan="2">% Pasante</th> </tr> <tr> <th>Parcial</th> <th>Acumulada</th> <th>Pasante</th> <th>Pasante</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,36 mm. No. 8</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2, mm. No. 10</td><td>64,64</td><td>64,64</td><td>73,64</td><td>23,64</td></tr> <tr><td>1,18 mm. No. 16</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,85 mm. No. 20</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,60 mm. No. 30</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,425 mm. No. 40</td><td>69,63</td><td>134,27</td><td>45,25</td><td>14,53</td></tr> <tr><td>0,3 mm. No. 50</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,15 mm. No. 100</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,075 mm. No. 200</td><td>47,63</td><td>181,90</td><td>25,83</td><td>8,29</td></tr> <tr><td>Pasa No. 200</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td colspan="5">Masa inicial del material para Lav 300 gr.</td></tr> <tr><td colspan="5">Masa final corregida por Humedad de los fi 245,2 gr.</td></tr> <tr><td colspan="5">Total del Material utilizados para el Ensayo 3623,6</td></tr> </tbody> </table>		SERIE FINA					Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante		Parcial	Acumulada	Pasante	Pasante	2,36 mm. No. 8					2, mm. No. 10	64,64	64,64	73,64	23,64	1,18 mm. No. 16					0,85 mm. No. 20					0,60 mm. No. 30					0,425 mm. No. 40	69,63	134,27	45,25	14,53	0,3 mm. No. 50					0,15 mm. No. 100					0,075 mm. No. 200	47,63	181,90	25,83	8,29	Pasa No. 200					Masa inicial del material para Lav 300 gr.					Masa final corregida por Humedad de los fi 245,2 gr.					Total del Material utilizados para el Ensayo 3623,6				
SERIE GRUESA																																																																																																																																																
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante																																																																																																																																													
	Parcial	Acumulada																																																																																																																																														
600, mm. 24 "																																																																																																																																																
300, mm. 12 "																																																																																																																																																
150, mm. 6 "																																																																																																																																																
75, mm. 3 "																																																																																																																																																
63, mm. 2 ½ "																																																																																																																																																
50, mm. 2 "	216	180,7	95,01																																																																																																																																													
38,1 mm. 1 ½ "	385	502,8	86,13																																																																																																																																													
25, mm. 1 "	838	1203,8	66,78																																																																																																																																													
19, mm. 3/4 "	299	1454,0	59,88																																																																																																																																													
12,5 mm. 1/2 "	381	1772,7	51,08																																																																																																																																													
9,5 mm. 3/8 "	225	1960,9	45,89																																																																																																																																													
4,75 mm. No. 4	597	2460,4	32,10																																																																																																																																													
Pasa No. 4	1423	1163,282602																																																																																																																																														
SERIE FINA																																																																																																																																																
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante																																																																																																																																													
	Parcial	Acumulada	Pasante	Pasante																																																																																																																																												
2,36 mm. No. 8																																																																																																																																																
2, mm. No. 10	64,64	64,64	73,64	23,64																																																																																																																																												
1,18 mm. No. 16																																																																																																																																																
0,85 mm. No. 20																																																																																																																																																
0,60 mm. No. 30																																																																																																																																																
0,425 mm. No. 40	69,63	134,27	45,25	14,53																																																																																																																																												
0,3 mm. No. 50																																																																																																																																																
0,15 mm. No. 100																																																																																																																																																
0,075 mm. No. 200	47,63	181,90	25,83	8,29																																																																																																																																												
Pasa No. 200																																																																																																																																																
Masa inicial del material para Lav 300 gr.																																																																																																																																																
Masa final corregida por Humedad de los fi 245,2 gr.																																																																																																																																																
Total del Material utilizados para el Ensayo 3623,6																																																																																																																																																

Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.37. Granulometría Calicata 4



Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Una vez concluido los ensayos granulométricos se procede a clasificar el tipo de suelo con los datos obtenidos en laboratorio, según el **S.U.C.S** (ver Anexo I pág. 130) estos materiales se clasifican de la siguiente manera:

Calicata 1 corresponde a Gravas Arcillosas (GM) y Gravas Limosas (GC)

Calicata 2 corresponde a Arenas Arcillosas(SM) y Arenas Limosas (SC)

Calicata 3 corresponde a Gravas Arcillosas (GM) y Gravas Limosas (GC)

Calicata 4 corresponde a Gravas Arcillosas (GM) y Gravas Limosas (GC)

3.3.6. Límite líquido, Límite plástico e Índice de plasticidad

Se entiende por Límite Líquido (**LL**) al contenido de agua que tiene un suelo, en el límite entre su comportamiento líquido y plástico.

Se entiende por Límite Plástico (**LP**) al contenido de agua que tiene un suelo, en el límite entre su comportamiento plástico y semisólido.

Se entiende por Índice de Plasticidad (**IP**) a la diferencia entre el Límite Líquido (**LL**) y Límite Plástico (**LP**).

- **Equipo a utilizar:**
- Balanza.
- Horno a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Recipientes pequeños.
- Copa de Casagrande.
- Acanalador de bronce.
- Tamiz n.40.
- Espátula.
- Botella que contenga agua destilada.
- Hoja de datos.

El equipo empleado para realizar los ensayos de Límite líquido, Límite plástico se muestran a continuación en la figura 3.38.

Figura 3.38. Balanza – Copa de Casa Grande para ensayos de límites



Fuente: Jefferson Suárez - Carlos Jordan

- **Procedimientos:**

Limite Líquido (LL)

- Se tamiza una cantidad representativa en el tamiz n.40 aproximadamente de 200 gr.
- Con la botella llena de agua destilada se procede a agregar poco a poco a la muestra y mezclamos en un recipiente hasta formar una pasta homogénea y moldeable.
- Colocamos con la espátula una porción de la pasta de suelo homogénea en la Copa Casagrande y la nivelamos paralelamente al nivel de la base.
- Usamos el acanalador de bronce para dividir en la mitad la muestra colocada en la Copa Casagrande.
- Giramos la manivela de la Copa Casagrande hasta que se unan las 2 mitades y se determina el número de golpes y registramos en la hoja de datos.
- Con la espátula cogemos una pequeña porción de la muestra justo donde se juntan los dos bordes en el canal y colocamos esta porción en un

recipiente pequeño, registramos el número y peso del recipiente y el peso del recipiente más la muestra.

- Regresamos lo que sobró de la muestra al recipiente donde se mezcló con el agua destilada y dependiendo del contenido de humedad agregamos más agua, de tal manera que el número de golpes estén comprendidos entre 0-10;10-20;20-30;30-40.
- Llevamos los recipientes pequeños con las muestras al horno durante 24 horas luego registramos el peso más la muestra seca.
- Los pasos anteriores se realizan con todas la muestras obtenidas para el presente trabajo de investigación.

Límite Plástico (LP)

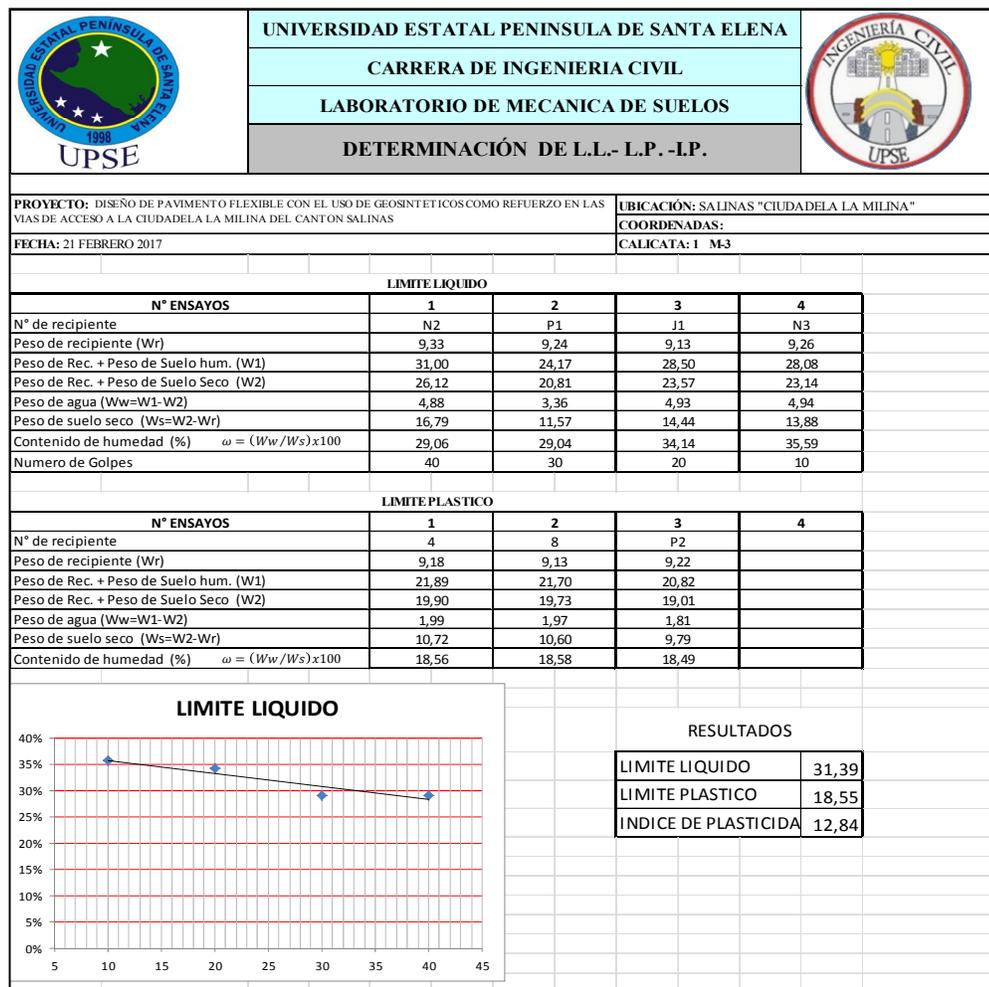
- Usamos el resto de la masa que hemos utilizado para calcular el límite líquido y con esta haremos unos cuantos fideos de barro.
- Colocamos los fideos de barro en tres pequeños recipientes, registramos el número y peso del recipiente y el peso del recipiente más la muestra.
- Llevamos las muestras al horno durante 24 horas luego las sacamos y registramos en la balanza su peso seco.
- Los pasos anteriores se realizan con todas la muestras obtenidas para el presente trabajo de investigación.

Índice de Plasticidad (IP)

- El Índice de Plasticidad lo obtenemos haciendo la diferencia entre el límite líquido y del límite plástico de cada una de las muestras.

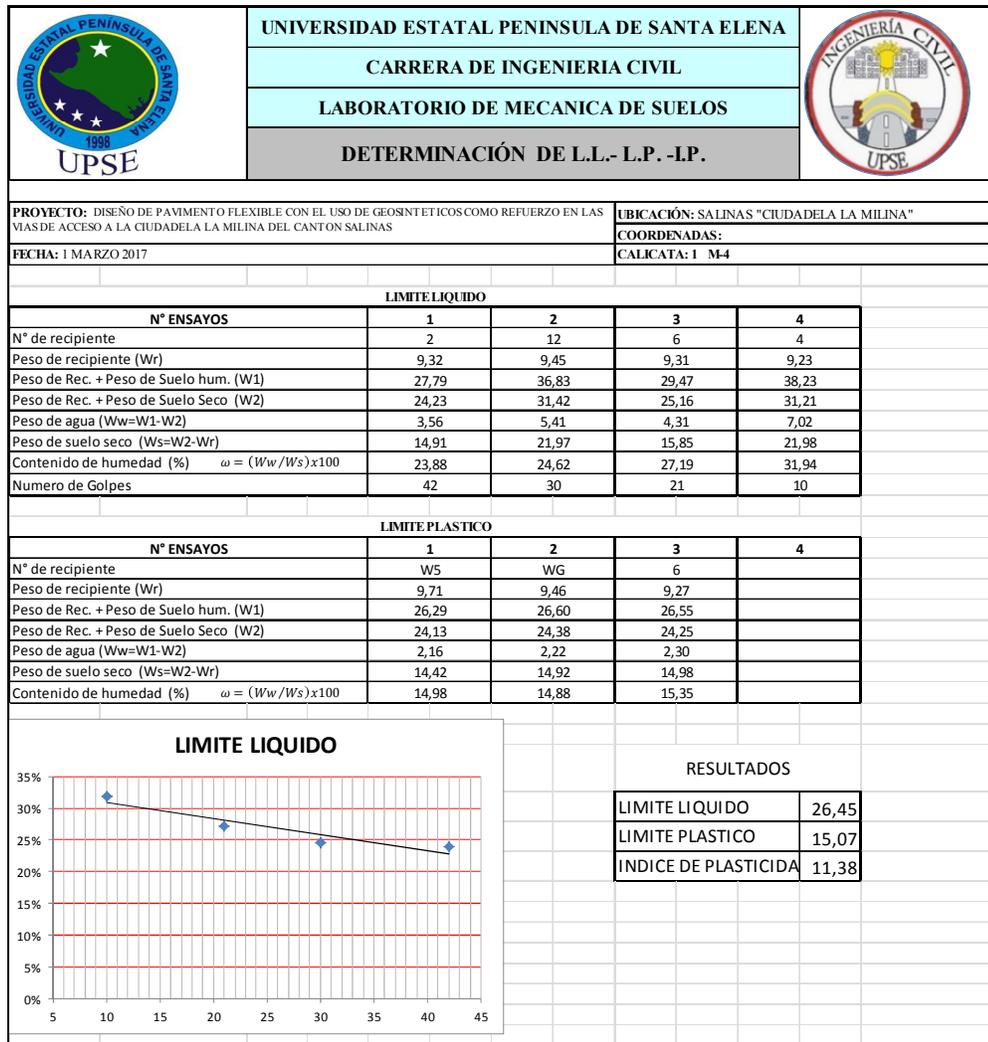
Los datos obtenidos en el laboratorio se muestran a continuación en las figuras 3.39 – 3.46.

Figura 3.39. LL- LP - IP Calicata 1 Material 3



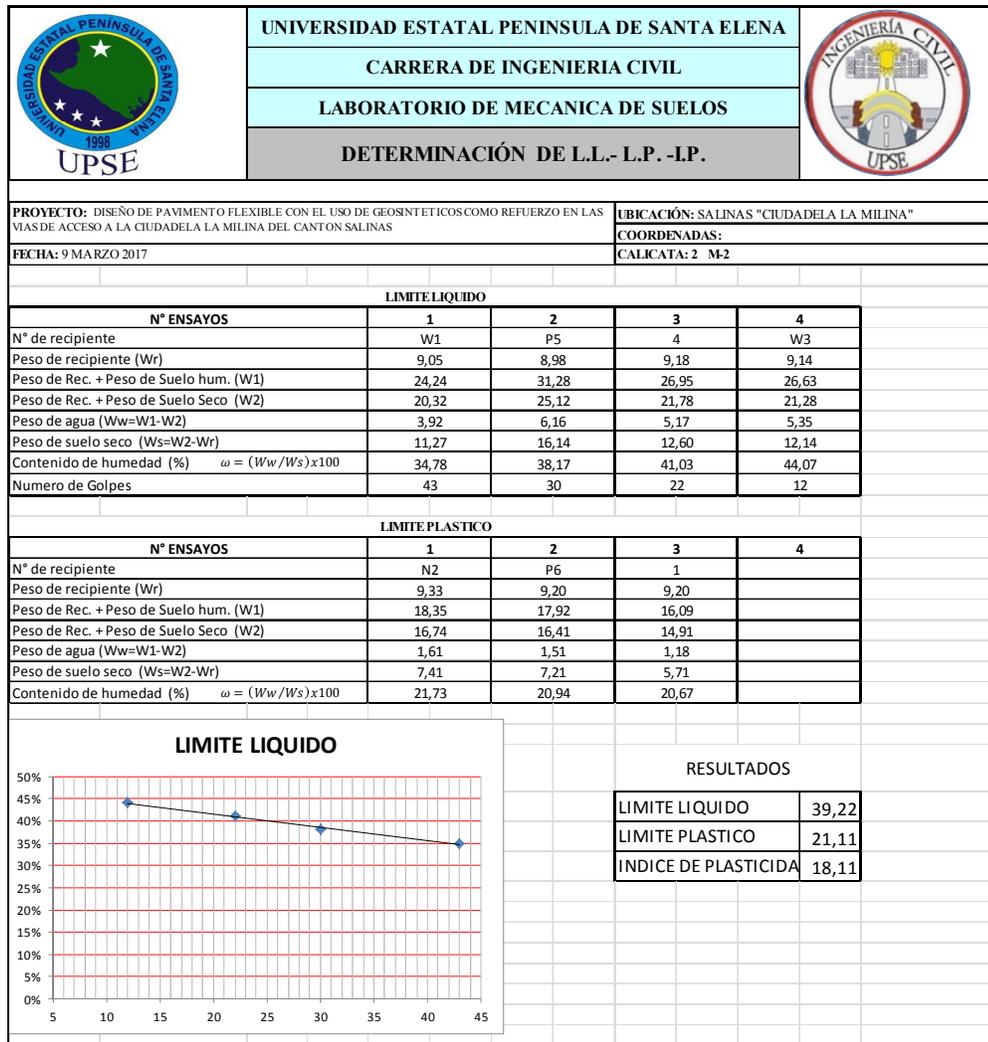
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.40. LL- LP - IP Calicata 1 Material 4



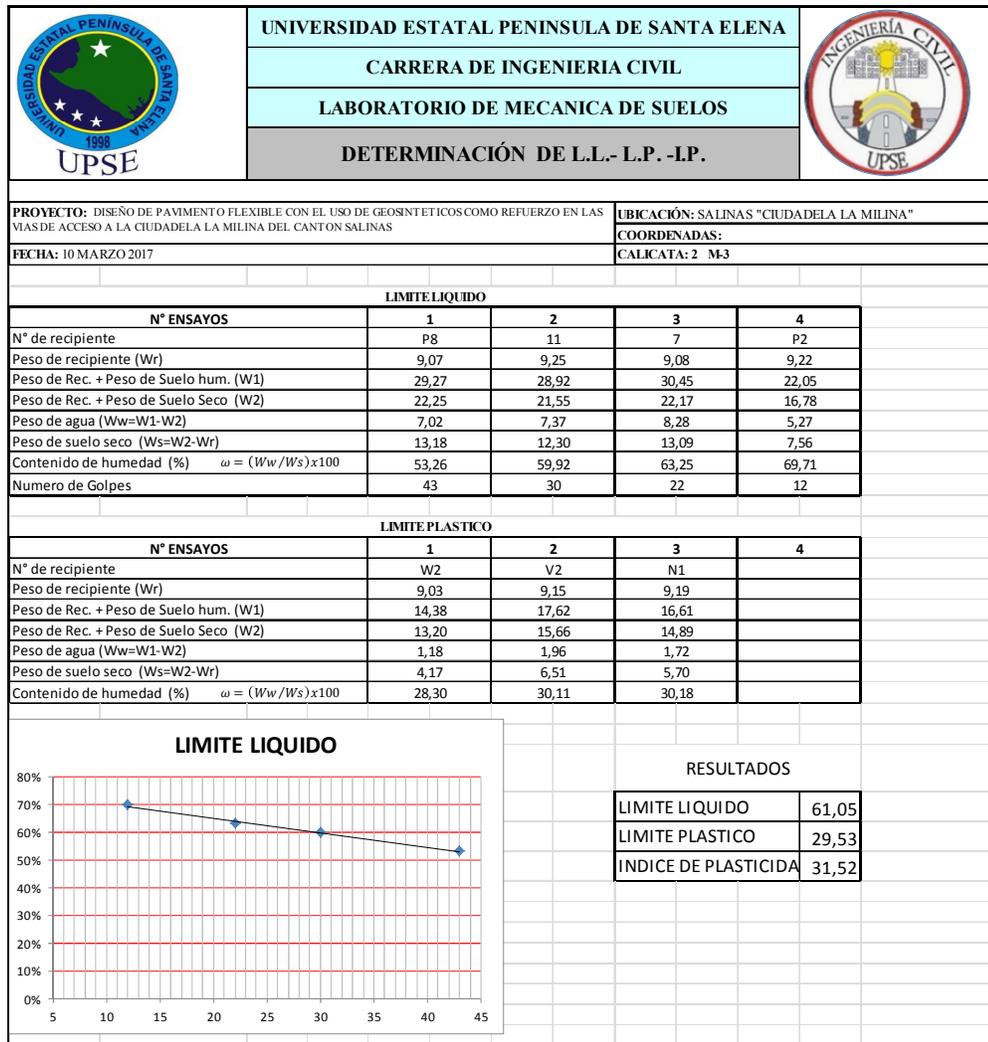
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.41. LL- LP - IP Calicata 2 Material 2



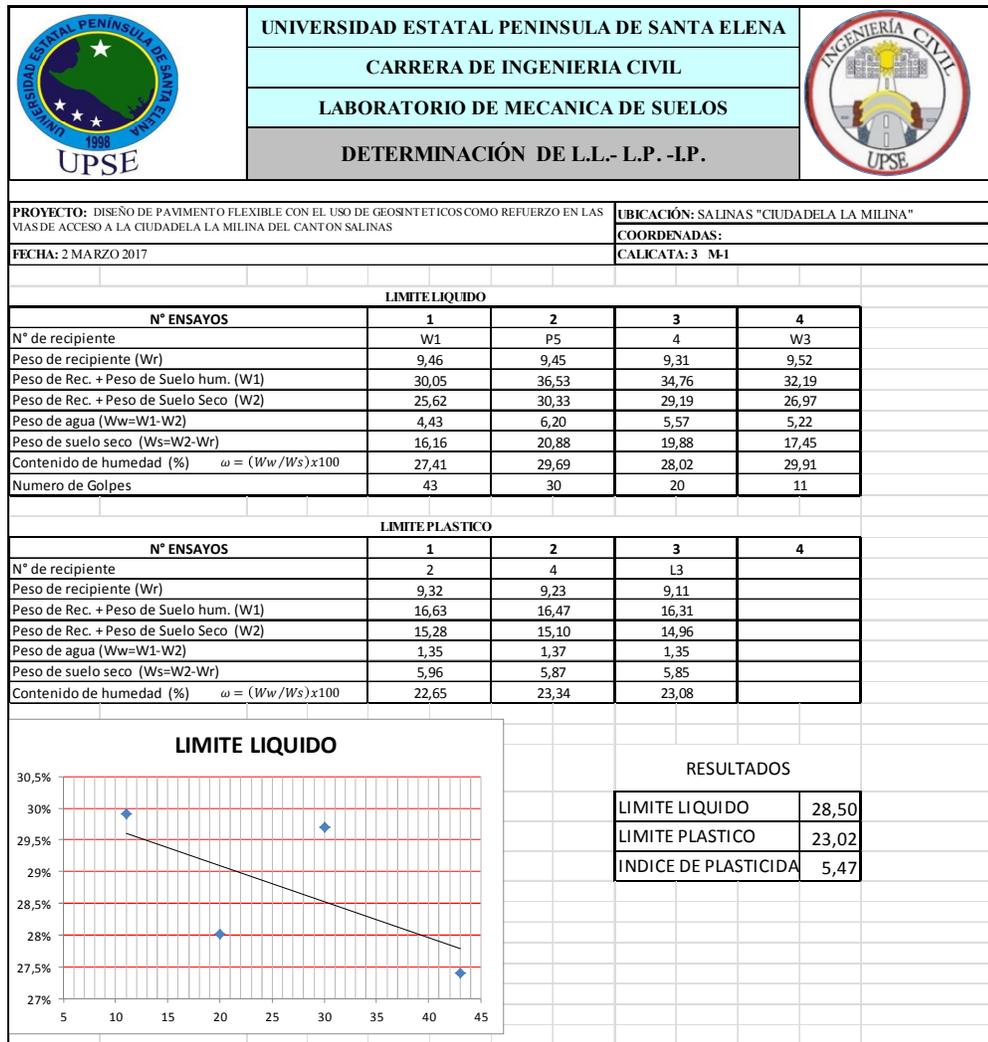
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.42. LL- LP - IP Calicata 2 Material 3



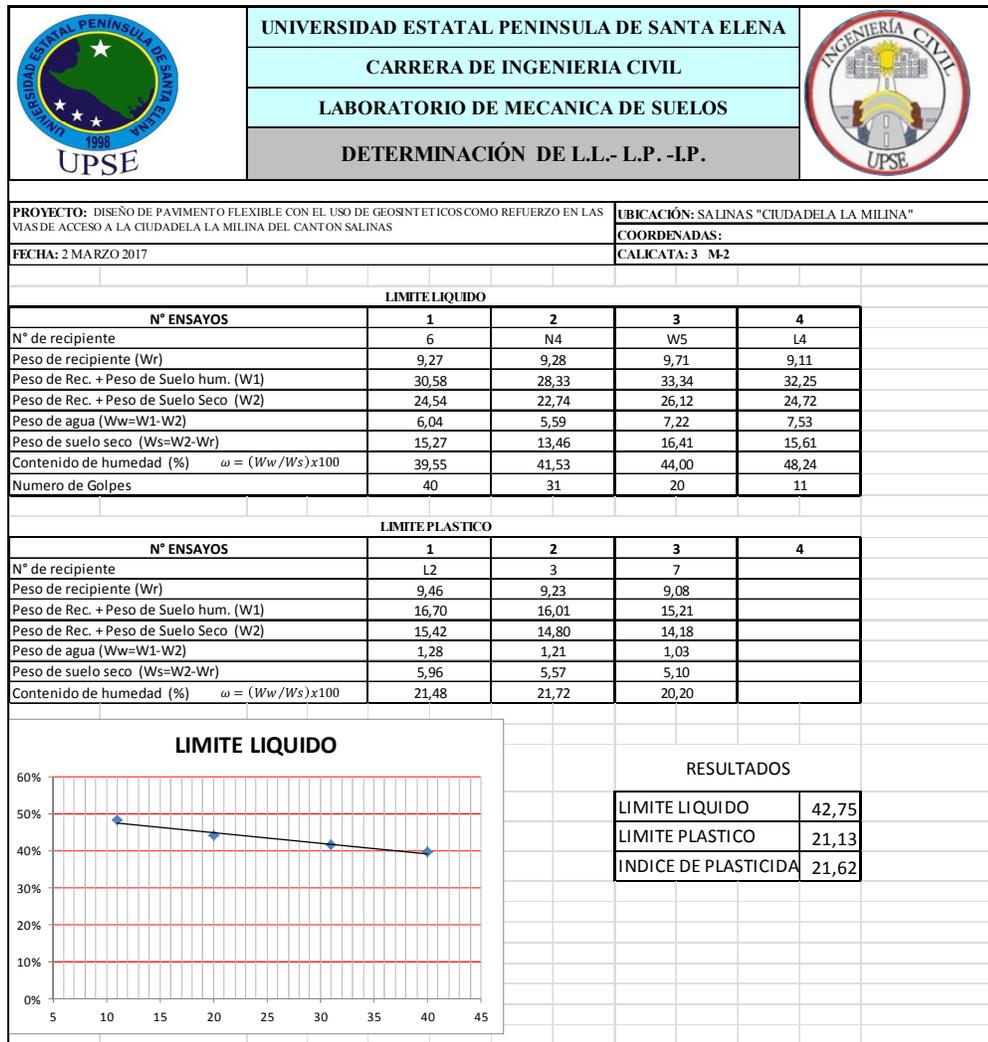
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.43. LL- LP - IP Calicata 3 Material 1



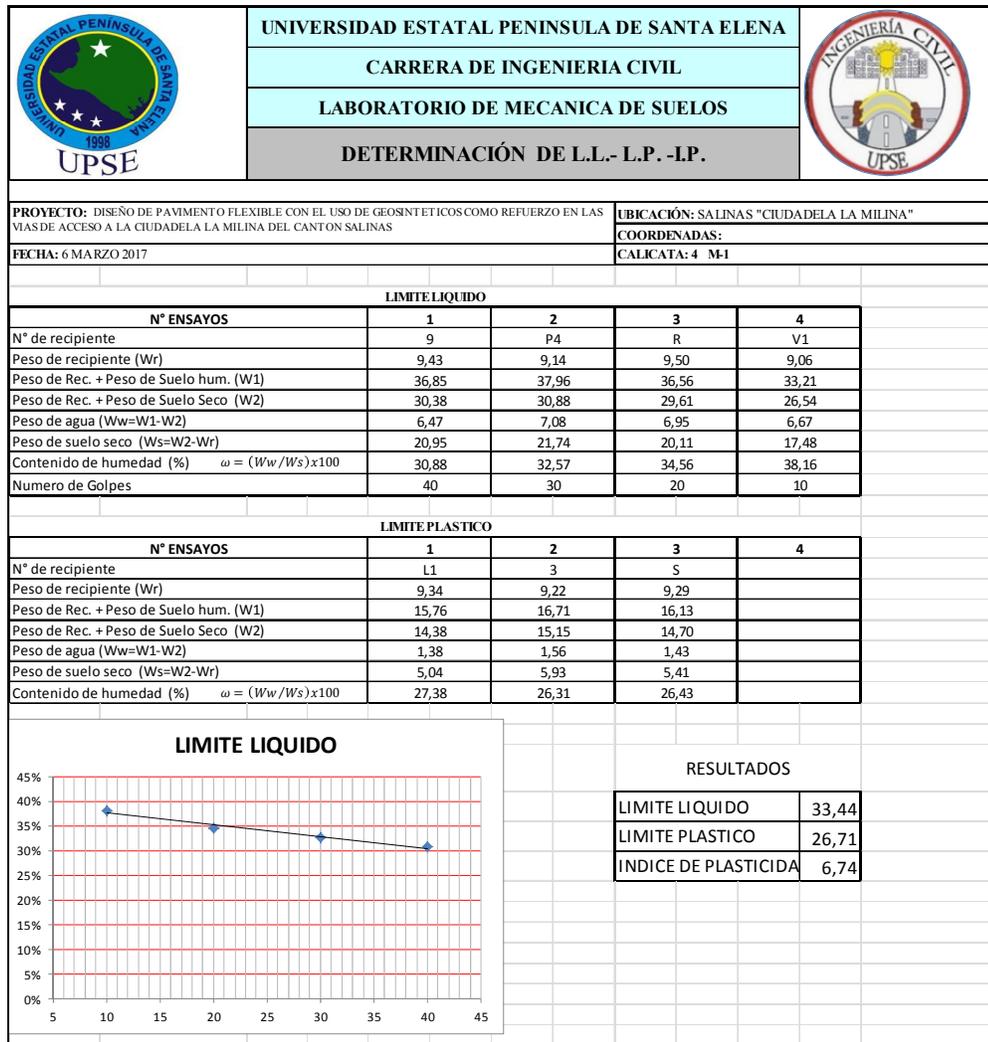
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.44. LL- LP - IP Calicata 3 Material 2



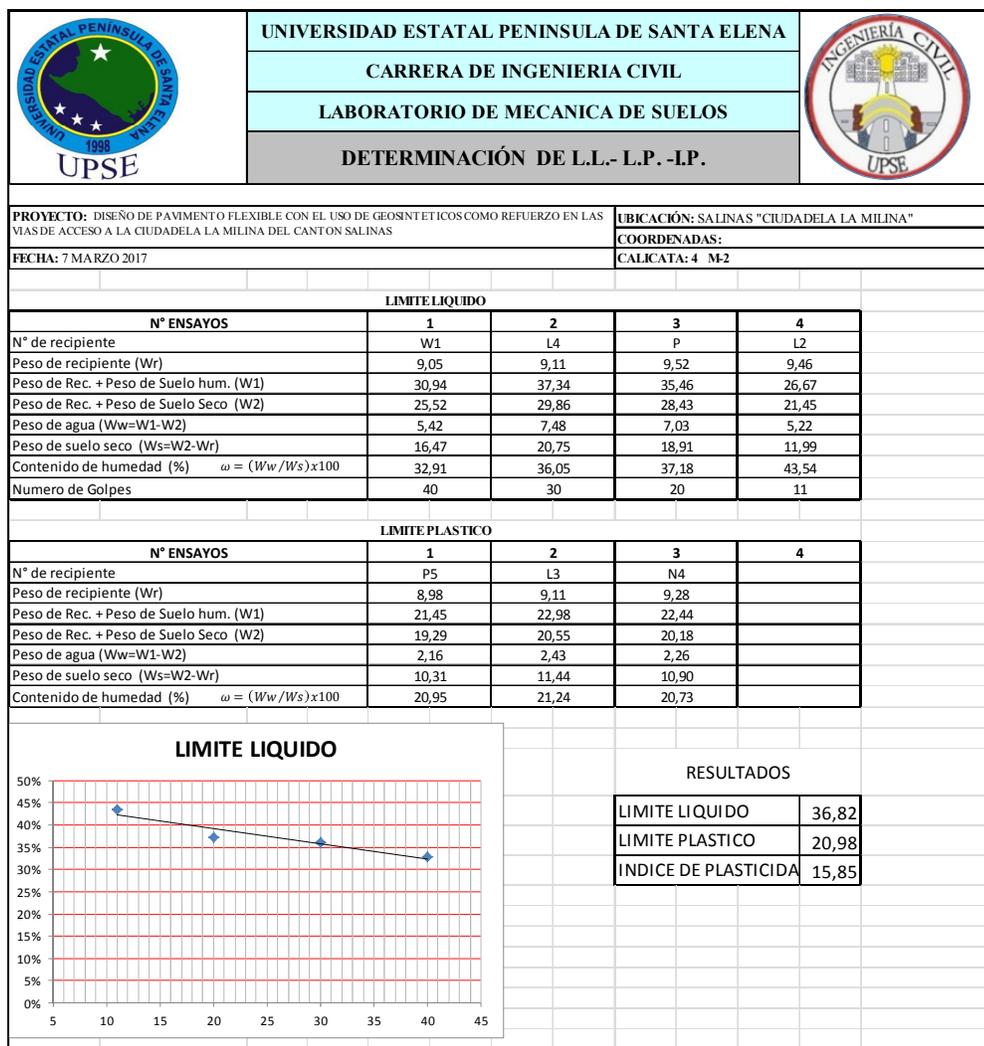
Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.45. LL- LP - IP Calicata 4 Material 1



Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Figura 3.46. LL- LP - IP Calicata 4 Material 2



Fuente: Jefferson Suárez – Carlos Jordan

Se determinó que este sector corresponde a suelos Blandos de alta plasticidad debido a que su Índice de Plasticidad es mayor al 6% según el S.U.CS. (Anexo I pag.130).

M.O.P.U. "Sistematización de los Medios de Compactación y su Control". 1987

Braja M. Das, "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Thomson Editores S.A, 2013, México, Capítulos I, II y III.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICADO EN LAS VÍAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTÓN SALINAS.

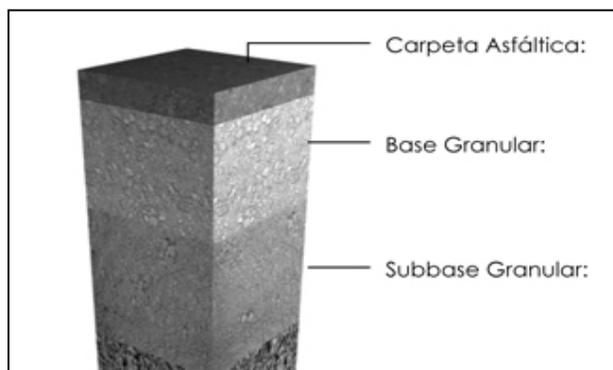
Para el presente proyecto de investigación se diseñará la estructura del pavimento flexible utilizando el método AASHTO 93, utilizando en los casos se crea necesario las recomendaciones dictadas por el Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador.

4.1. Pavimento Flexible

Se caracteriza por estar conformado en la superficie por una capa bituminosa o mezcla asfáltica que se apoya sobre capas de material granular, que generalmente van disminuyendo su calidad conforme se acercan más a la Subrasante, debido a que los esfuerzos que se producen por el tránsito van disminuyendo con la profundidad y por razones económicas.

La estructura del pavimento flexible que se diseñara, estará compuesta por Sub-base, Base y Carpeta asfáltica como se muestra a continuación en la figura 4.1.

Figura 4.1 Estructura del pavimento flexible



Fuente: Manual PAVCO

4.1.1. Especificaciones de la estructura del pavimento

4.1.1.1. Sub base

Son materiales que pueden ser cribados o triturados y se la colocará sobre la Subrasante para este estudio se utilizará Sub-base clase 3 ya que la forma granulométrica de sus agregados la hace perfecta para la trabazón de materiales con las Geomallas Coextruídas Bi- orientada.

- **Propiedades Geotécnicas**

- Capacidad portante será CBR igual o mayor del 30 %.
- Límite líquido menor a 25.
- Índice de plasticidad menor que 6.
- Desgaste máximo de agregados menor al 50%.

El porcentaje en peso que pasa a través de los tamices para la sub-base clase 3 está dado por la tabla 4.1 indicada a continuación.

Tabla 4.1. Porcentaje en peso que pasará a través de los tamices para la sub-base clase 3

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm)	--	--	100
2" (50.4 mm)	--	100	--
1 1/2 (38.1 mm)	100	70 – 100	--
Nº 4 (4.75 mm)	30 – 70	30 – 70	30 – 70
Nº 40 (0.425 mm)	10 – 35	15 – 40	..
Nº 200 (0.074 mm)	0 - 15	0 - 20	0 – 20

Fuente: MTOP

4.1.1.2. Base

Son materiales que pueden ser cribados o triturados y se la colocará sobre la Sub-base para este estudio se utilizara base clase 3, este material estará compuesto por fragmentos de roca o grava trituradas y el agregado grueso será triturado al menos al 25% de su peso.

- **Propiedades Geotécnicas**

- Capacidad portante será CBR igual o mayor del 80 %.
- Límite líquido menor a 25.
- Índice de plasticidad menor que 6.
- Desgaste máximo de agregados menor al 40%.

El porcentaje en peso que pasa a través de los tamices para la base clase 3 está dado por la tabla 4.2 indicada a continuación.

Tabla 4.2 Porcentaje en peso que pasará a través de los tamices para base clase 3

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
¾" (19.0 mm)	100
Nº4 (4.76 mm)	45 – 80
Nº10 (2.00 mm)	30 – 60
Nº40 (0.425 mm)	20 – 35
Nº 200 (0.075 mm)	3 – 15

Fuente: MTOP

4.1.1.3. Carpeta asfáltica

Está compuesta por cemento asfáltico y agregados bien graduados mezcladas y colocadas en caliente, y emplazada encima de una base debidamente preparada debiendo cumplir con las especificaciones y requisitos normados descritos a continuación en la tabla 4.3 y tabla 4.4 respectivamente.

Tabla 4.3. Porcentaje en peso que pasará a través de los tamices para agregados de la carpeta asfáltica

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4 “	1/2 “	3/8“	Nº4
1” (25.4 mm)	100	--	--	--
3/4 “ (19.0 mm)	90 - 100	100	--	--
1/2 “ (12.7 mm)	--	90 - 100	100	--
3/8“ (9.50 mm)	56 - 80	--	90 - 100	100
Nº4 (4.75 mm)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº8 2.36 mm)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº16 (1.18 mm)	--	--	--	40 - 80
Nº30 (0.60 mm)	--	--	--	25 - 65
Nº50 (0.30 mm)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº100 (0.15 mm)	--	--	--	3 - 20
Nº200 (0.075 mm)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: MTOP

Tabla 4.4. Criterios Marshall para hormigón asfáltico

TIPO DE TRÁFICO	Muy Pesado	Pesado	Medio	Liviano
CRITERIOS MARSHALL	Min. Max.	Min. Max.	Min. Max.	Min. Max.
N° De golpes/Cara	75	75	50	50
Estabilidad (libras)	2200 --- -	1800 --- -	1200 --- -	1000 2400
Flujo (pulgada/100)	8 14	8 14	8 16	8 16
% de vacios en mezcla				
-Capa de Rodadura	3 5	3 5	3 5	3 5
-Capa Intermedia	3 8	3 8	3 8	3 8
-Capa de base	3 9	3 9	3 9	3 9
% Vacios agregados				
Relación filler/berún	0.8 1.2	0.8 1.2		
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente				
-Capa de Rodadura	70 --	70 --		
-Intermedia o base	60 --	60 --		

Fuente: MTOP

4.2. Diseño estructural del Pavimento (Método AASHTO 93)

Los parámetros utilizados para el diseño de la estructura del pavimento se describen a continuación:

- Tráfico.
- Número de Cargas Equivalentes.
- Características y resistencia de los materiales: Sub-Rasante, Sub-Base, Base y Carpeta Asfáltica.

4.2.1. Variables de diseño

El método que se utilizará toma consideraciones que influyen notablemente en el diseño de la estructura del pavimento flexible y estos son: Variables de tiempo, tránsito, confiabilidad, niveles de Serviciabilidad, propiedades de los materiales y el drenaje.

4.2.1.1. Variables de tiempo

Las variables que se toman en cuenta son el período de análisis o diseño y vida útil del pavimento como se indica en la siguiente tabla 4.5.

Tabla 4.5 Período de análisis ¹

Tipo de camino	Período de análisis (años)
Alto volumen Urbano	30 a 50
Alto volumen Rural	20 a 50
Bajo volumen pavimentado	15 a 25

AASHTO 1993

¹Fuente: Universidad Nacional San Juan, Curso de actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO, 1998, Diseño de Pavimentos Flexibles, Variables de tiempo, Pág. 159

En este trabajo de tesis para el diseño de la estructura del pavimento flexible de las vías de acceso a la ciudadela La Milina se tomará como periodo de análisis, el mismo tiempo de vida útil y por lo tanto será el tiempo para la cual se diseñará la estructura del pavimento escogiéndose un período de 23 años de vida útil, tomando en cuenta la categoría de la vía.

4.2.1.2. Tránsito (ESALS)

Es el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips, y se la realiza a través de conversiones de carga mediante la utilización de los factores equivalentes de carga, este valor se indica en la tabla 4.6, detallándose esta variable en el capítulo II del estudio de tránsito.

Tabla 4.6. Resumen de números de ejes equivalentes

Tramo	ESALS (23 años)
Ciudadela La Milina	1.95 E + 06

4.2.1.3. Confiabilidad (R)

Es la probabilidad que el diseño de la estructura del pavimento flexible en las vías de acceso a la ciudadela La Milina cumpla la función prevista de su vida útil.

La confiabilidad usada en el diseño de un pavimento flexible estará dada por la utilización que se le dé al pavimento y estará dado por la tabla 4.7 indicada a continuación tomando en cuenta que un nivel de confianza más alto representaría un costo alto al inicio pero pasará más tiempo para que se realice una reparación en cambio un nivel de confianza menor representaría costos iniciales menores pero así mismo pasará menos tiempo para que se realice una intervención por lo tanto aumentaría los costos de mantenimiento y reparación.

Tabla 4.7. Nivel de confianza recomendado ²

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	NIVEL DE CONFIANZA RECOMENDADO	
	URBANO	RURAL
Interestatal y Autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80- 99	75 - 95
Calles colectoras	80 - 95	75 - 95
Calles locales	50 - 80	50 - 80

Por lo tanto se asume un nivel de confianza para arterias principales del **90%** por cruzar por centros urbanos de alta densidad poblacional.

² Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Variables para el Diseño, Confiabilidad, Pág. 264.

4.2.1.4. Desviación normal estándar (Zr)

Procedemos a determinar la Desviación Normal Estándar (Zr) mediante la siguiente tabla 4.8 indicada a continuación:

Tabla 4.8. Valores de (Zr) - Nivel de confianza (R) ³

CONFIABILIDAD %	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr)	CONFIABILIDAD %	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr)
50	0.00	92	-1.405
60	-0.253	93	-1.476
70	-0.524	94	-1.555
75	-0.674	95	-1.645
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090

AASHTO 1993

Por lo tanto se tendrá un **nivel de confianza (R)** del 90 % con un valor de **Desviación normal estándar (Zr)** de **-1,282**.

Rango de desviación estándar total (So) para Pavimentos Flexibles:

So=0, 40 a 0,50

Se toma un valor de **desviación Estándar total (So)** de **0.49** para pavimentos flexibles considerando la varianza del tránsito futuro.

³ Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería, Experimento Vial de la AASHTO y las Guías de Diseño AASHTO, 2010, Nicaragua, Diseño de Pavimentos I, Método AASHTO 93 en el Diseño de Pavimentos Flexibles, Variables Generales de Diseño, Confiabilidad Pág. 3-10

4.2.1.5. Niveles de Serviciabilidad (Po y Pt)

La Serviciabilidad será la capacidad del pavimento de servir al tipo de tránsito que circulará en la vía.

- **Serviciabilidad Inicial (Po):** Es el estado que tiene un pavimento al inicio su construcción. Los valores recomendados por el método AASHTO 93 se indica en la tabla 4.9 detallada a continuación:

Tabla 4.9. Serviciabilidad inicial (Po)⁴

SERVICIABILIDAD INICIAL (P_o)	
RÍGIDO	4,5
FLEXIBLE	4,2

- **Serviciabilidad Final (Pt):** La Serviciabilidad final tiene que ver con el estado que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil. Los valores que recomienda el método se encuentran en las tablas 4.10 y 4.11 que se muestran a continuación:

⁴ Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Criterios de Comportamiento, Serviciabilidad, Pág. 265.

Tabla 4.10. Serviciabilidad final (Pt) por el tipo de vía ⁵

SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)		
Autopistas	Carreteras de Importancia Media	Carreteras de Importancia Baja
3	2,5	2

AASHTO 93

Tabla 4.11 Serviciabilidad final (Pt) ⁶

SERVICIABILIDAD	
Final (Pt)	Característica
5	Muy Bueno
4	Regular
3	Regular
2	Malo
1	Muy Malo
0	

AASHTO 93

⁵ Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Criterios de Comportamiento, Serviciabilidad, Pág. 265.

⁶ Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Criterios de Comportamiento, Serviciabilidad, Pág. 265.

4.2.1.6 Propiedades de los materiales

El método AASTHO 1993, reemplaza el CBR de la sub-rasante, base y subbase por el Módulo resiliente (Mr), que es un módulo de deformación dinámico.

Una vez obtenidos los resultados de C.B.R o de la capacidad portante del suelo de fundación del pavimento mediante los ensayos de Laboratorio de Suelos realizados y especificados en el Capítulo III procedemos a determinar el valor de CBR de Diseño mediante un promedio de los valores obtenidos, como se muestra a continuación en la tabla 4.12.

- **C.B.R. de Diseño**

Tabla 4.12 CBR de Diseño

	CBR
	1.34
	2.21
PROMEDIO	1.775

En el Ecuador no existe experiencia ni equipos suficientes para determinar el Módulo resiliente (Mr) de la sub-rasante, ante esto se recurre a la siguiente relación con el C.B.R.:

$$\text{MR.} = 1500 * \text{CBR (psi)} \text{ SI } \text{CBR} < 7.2\%$$

$$\text{C.B.R} = 1.775$$

$$\text{Mr} = 2663 \text{ psi}$$

Entonces para el diseño de la estructura del pavimento en las vías de acceso a la ciudadela La Milina obtenemos un valor de C.B.R. de diseño **1.775 %**, y por lo tanto un Módulo Resiliente (M_r) de **2663 psi**.

4.2.1.7. Coeficientes estructurales (a_i)

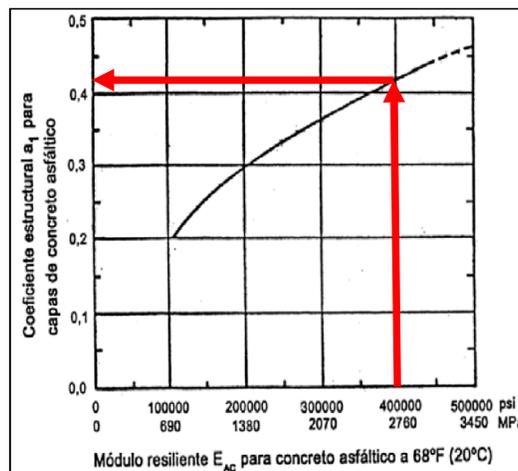
Los materiales que usaremos para el diseño de las vías de acceso a la ciudadela La Milina en cada una de sus respectivas capas de la estructura del pavimento flexible, tienen un coeficiente estructural " a_i ". Este coeficiente representa la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitantes.

Los valores de estos coeficientes los obtendremos en correlaciones obtenidas a partir del Método AASHTO 93, indicado a continuación.

- **Coeficiente de capa para carpeta asfáltica (a_1)**

En base al Módulo Elástico del concreto asfáltico de **400.000 psi** a una temperatura de 20°C , calculamos mediante la figura 4.2, dando como resultado un coeficiente de capa $a_1 = 0.425$.

Figura 4.2. Coeficiente de capa para carpeta asfáltica (a_1)⁷



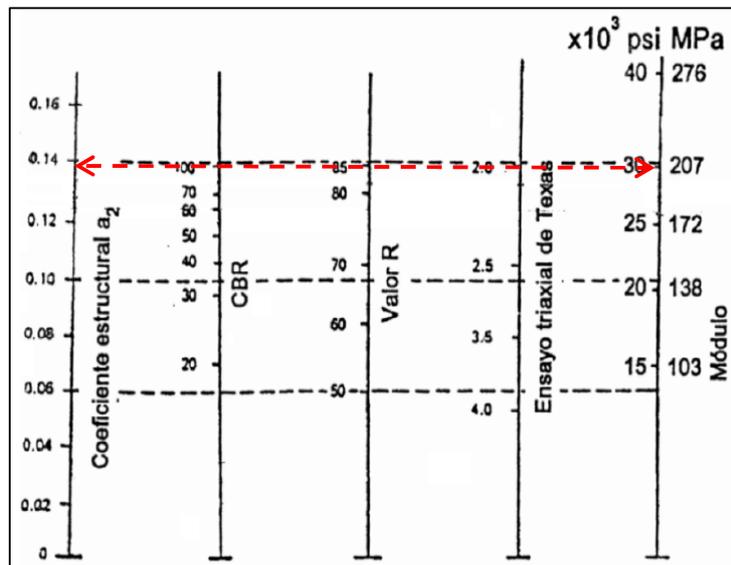
⁷ Fuente: Alfonso Montejó Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C., Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Coeficientes de Capa, Pág. 268.

- **Coefficiente de capa para base granular (a_2)**

Para la base granular se utilizará un valor de C.B.R. de 100 %, con un módulo elástico de **30.000 psi** o **30 ksi** y utilizando la siguiente figura 4.3 mostrada a continuación dando como resultado un $a_2 = 0,139$.

Figura 4.3. Coeficiente de capa para la base granular (a_2)⁸

Relación entre el módulo elástico para la base granular y distintos parámetros resistentes



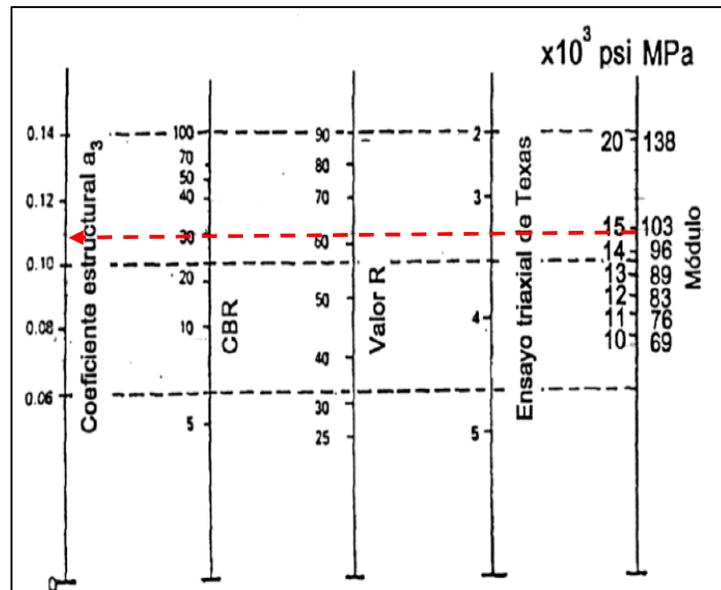
- **Coefficiente de capa para sub-base granular (a_3)**

Para la sub-base granular se utilizará un valor de C.B.R de 30 % con un Módulo Elástico de **15.000 psi** o **15 ksi**, y el valor se determina utilizando la figura 4.4 indicada a continuación por lo que resulta un $a_3 = 0,107$.

⁸ Fuente: Alfonso Montejó Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Coeficientes de Capa, Base, Pág. 269.

Figura 4.4. Coeficiente de capa para la sub base granular (a_3)⁹

Relación entre el módulo elástico para la base granular y distintos parámetros resistentes



4.2.1.8. Drenaje (m_i)

Son las condiciones de drenaje que tendrán las diferentes capas de la estructura del pavimento flexible, y el tiempo en que la sub-rasante estará expuesta a niveles de saturación para este estudio se tomará como condiciones en base de 1 semana al 5% al 25% de la saturación, este coeficiente fue tomado en base a las tablas 4.13 y 4.14 descritas a continuación.

⁹ Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C., Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Coeficientes de Capa, Sub-base, Pág. 273

Tabla 4.13. Condiciones de drenaje ¹⁰

Drenaje	Agua eliminada en
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	(el agua no drena)

Tabla 4.14. Valores del coeficiente (m_i) ¹¹

CALIDAD DEL DRENAJE		El % del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cerca a la saturación			
CONDICIÓN	EXTRACCIÓN DEL AGUA	MENOR QUE 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	MAYOR QUE 25%
Excelente	2 horas	1,40 - 1,35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1 día	1,25 - 1,25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Regular	1 semana	1,25 - 1,15	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.8
Malo	1 mes	1,15 - 1,05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy Malo	No drena	1,05 - 0,95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

¹⁰ Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Características Estructurales del Pavimento, Drenaje, Pág. 271.

¹¹ Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Características Estructurales del Pavimento, Drenaje, Pág. 271.

En este estudio del “Diseño de Pavimento Flexible” para las vías de Acceso la ciudadela La Milina se caracteriza que está ubicado en una zona costera, con presencia de lluvias moderadas en los meses de invierno y escasas precipitaciones del resto del año, salvo en eventos como el “Fenómenos del Niño”, la topografía es típicamente plana, y por las características de la zona y en base a las tablas 4.13 y 4.14 indicadas anteriormente se adopta un coeficiente de drenaje de **1** para la carpeta asfáltica; **0.90** para base y para sub-base **0.90** estimando que la vía será totalmente nueva.

4.2.2. Calculo del Número Estructural (SN)

El número estructural de un pavimento es el que determinará los espesores de capa, en base a los coeficientes de capa y drenaje de cada material a ser colocado, así como también los espesores mínimos sugeridos por AASHTO.

Mediante la siguiente expresión podemos determinar el número estructural .¹²

$$\text{Log}W_{18} = Z_r \cdot S_o + 9.36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \text{Log}M_r - 8.07$$

DONDE:

W_{18} = Número previsto de 80 KN (18.000 lb.) ESAL

NE = Número estructural

Z_r = Desviación normal estándar

S_o = Valores de desviación estándar

P_t = Serviciabilidad final

M_r = Módulo de resiliencia

¹² Fuente: Alfonso Montejó Fonseca, “Ingeniería de Pavimentos para Carreteras”, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Diseño Estructural del Pavimento, Pág. 274.

Para un cálculo del Número Estructural (SN) más exacto se utilizó la herramienta desarrollada por el MSc. Luis R. Vázquez de la Universidad Nacional de Colombia indicada en la figura 4.5 que calcula el SN por medio de la ecuación AASTHO siendo este un valor abstracto y será con el que se va a trabajar para dimensionar la estructura del pavimento de las vías de acceso de la ciudadela La Milina, para los 23 años.

Los datos de entrada con que se calculara el número estructural del suelo de fundación mediante el modulo resiliente de la sub rasante se describirán en la tabla 4.15 que se indica a continuación.

Tabla 4.15. Datos de entrada para el cálculo del Numero Estructural (SN)

Datos de Entrada	
ESAL's 23 AÑOS	1.95 E + 06
Confiabilidad (R)	90%
Desviación normal estándar (Zr)	-1.282
Desviación estándar So	0.49
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.20
Serviciabilidad Final (Pt)	2.50
CBR sub-rasante	1.775%
Módulo resiliente (Mr)	2663 psi

Figura 4.5. Cálculo del Número Estructural (SN)¹³

¹³ MSc. Luis R. Vázquez Herramienta Ecuación AASHTO 93

El Número Estructural (SN) calculado utilizando el Modulo resiliente de la Subrasante se muestra en la tabla 4.16 descrita a continuación.

Tabla 4.16 Resultado Número estructural (SN)

PERÍODO DE DISEÑO	SN
CIUDELA LA MILINA	
DISEÑO A 23 AÑOS	5.62

4.2.3. Determinación de los espesores de la estructura del pavimento flexible por análisis de capas, aplicado a las vías de acceso a La Ciudadela la Milina.

La estructura del pavimento flexible que se diseñara será un sistema multicapa, donde se determinan los números estructurales necesarios de la base, sub-base y sub-rasante, utilizando los valores de resistencia de cada uno respectivamente y así determinar la distribución correcta de los espesores de tal manera que la estructura sea viable estructural y económicamente.

Los valores calculados del Numero Estructural (SN) de la Sub-base Granular y Base Granular se indican a continuación en las figuras 4.6 y 4.7 respectivamente.

Figura 4.6. Número estructural de la Sub-base Granular¹⁴

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 90 % Zr=-1.282 So 0.49

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.20 PSI final 2.50

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr 15000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 = 1.95E6**
 Calcular W18

Número Estructural
SN = 3.04

Calcular Salir

Figura 4.7. Numero estructural de la Base Granular¹⁵

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 90 % Zr=-1.282 So 0.49

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.20 PSI final 2.50

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr 30000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 = 1.95E6**
 Calcular W18

Número Estructural
SN = 2.33

Calcular Salir

¹⁴ MSc. Luis R. Vázquez Herramienta Ecuación AASHTO 93

¹⁵ MSc. Luis R. Vázquez Herramienta Ecuación AASHTO 93

Los datos necesarios para el cálculo de los espesores de cada capa de la estructura del pavimento flexible se describen en la tabla 4.17 indicada a continuación.

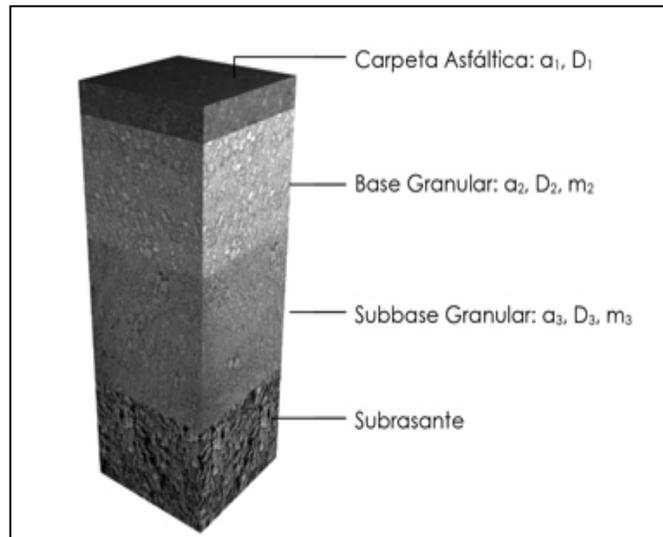
Tabla 4.17. Resumen de datos de entrada para el diseño de la estructura del pavimento

COEFICIENTE DE CAPA	COEFICIENTES ESTRUCTURALES (a_i)	COEFICIENTES DE DRENAJE (m_i)	MÓDULOS DE ELASTICIDAD	NÚMEROS ESTRUCTURALES
Carpeta Asfáltica	0.425	1.00	400000	
Base	0.139	0.90	30000	2.33
Sub - base	0.107	0.90	15000	3.04
Sub - rasante			2663	5.62

AASHTO 93

Los coeficientes de capa de la estructura del pavimento flexible se indican a continuación en la figura 4.8.

Figura 4.8 Estructura del pavimento con sus respectivos coeficientes de capa



Fuente: Manual PAVCO

1. Con el Número Estructural (SN_1) obtenido para la base granular a través del módulo resiliente de la misma, determinamos el **Espesor de la Carpeta Asfáltica** con la ayuda de la ecuación: ¹⁶

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$D_1 = \frac{2.33}{0.425}$$

$$D_1 = 5.482 \quad \text{adoptamos un valor de 6}$$

2. Calculado y adoptado el espesor a utilizarse de la carpeta asfáltica se vuelve recalcular el número estructural: ¹⁶

$$SN_1 = a_1 D_1$$

$$SN_1 = 0.425 \times 6$$

$$SN_1 = 2.55$$

3. Determinamos el número estructural de la Base Granular para calcular el espesor de la misma mediante la siguiente ecuación. ¹⁶

$$SN_2 = SN_{2\ SUB\ BASE} - SN_{1\ RECALCULADO}$$

$$SN_2 = 3.04 - 2.55$$

$$SN_2 = 0.49$$

4. Procedemos a calcular el espesor de la **Base Granular**.¹⁶

$$D_2 = \frac{SN_2}{a_2 m_2}$$

$$D_2 = \frac{0.49}{0.139 \times 0.90}$$

$$D_2 = 3.916 \text{ adaptamos un valor de } 4$$

5. Calculado y adoptado el espesor a utilizarse se vuelve a recalcular el número estructural.¹⁶

$$SN_2 = a_2 m_2 D_2$$

$$SN_2 = 0.139 \times 0.90 \times 4$$

$$SN_2 = 0.50$$

6. Determinamos el número estructural de la Sub-base Granular para poder calcular el espesor de la misma mediante la siguiente ecuación.¹⁶

$$SN_3 = SN_{SUBRASANTE} - (SN_{1RECALCULADO} + SN_{2RECALCULADO})$$

$$SN_3 = 5.62 - (2.55 + 0.50)$$

$$SN_3 = 5.62 - 3.05$$

$$SN_3 = 2.57$$

7. Procedemos a calcular el espesor de la **Sub-base Granular**.¹⁶

$$D_3 = \frac{SN_3}{a_3 m_3}$$

$$D_3 = \frac{2.57}{0.107 \times 0.90}$$

$$D_3 = 26.68 \text{ adoptamos un valor de } 27$$

8. Calculado y adoptado el espesor a utilizarse se vuelve a recalcular el número estructural.¹⁶

$$SN_3 = a_3 m_3 D_3$$

$$SN_3 = 0.107 \times 0.90 \times 27$$

$$SN_3 = 2.60$$

9. Verificamos lo calculado con la siguiente ecuación.¹⁶

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN$$

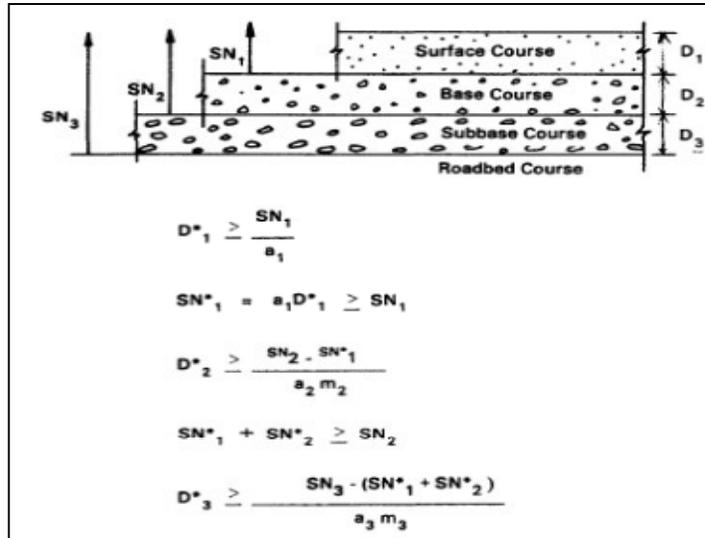
$$2.55 + 0.50 + 2.60 \geq 5.62$$

$$5.65 \geq 5.62 \text{ Ok.}$$

Por lo tanto se diseño la estructura del pavimento donde se controla capa por capa con la ayuda de sus respectivos números estructurales, de tal manera que se pueda tener una estructura del pavimento adecuada, segura, y durable como se muestra en el esquema de la figura 4.9 indicada a continuación.

¹⁶ Fuente: Universidad Nacional San Juan, "Curso de actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO", 1998, Diseño de Pavimentos Flexibles, Pág. 163 – 164 – 165

Figura 4.9. Esquema del análisis por capas ¹⁷



A continuación en la tabla 4.18 se muestran los espesores mínimos para carpetas asfálticas y bases granulares recomendados por la AASHTO.

Tabla 4.18 Espesores mínimos para carpetas asfálticas y bases granulares ¹⁸

Minimum Thickness (inches)		
Traffic, ESAL's	Asphalt Concrete	Base
Less than 50,000	1.0 (or surface treatment)	4
50,001 - 150,000	2.0	4
150,001 - 500,000	2.5	4
500,000 - 2.000,00	3.0	6
2.000,001 - 7.000,00	3.5	6
Greater than 7.000,00	4	6

AASHTO

¹⁷ Fuente: Universidad Nacional San Juan, "Curso de actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO", 1998, Diseño de Pavimentos Flexibles, Pág. 164

¹⁸ Fuente: Alfonso Montejó Fonseca, "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Diseño Estructural del Pavimento, Selección de los Espesores de Capas, Pág. 277.

Teniendo en cuenta que por motivos constructivos, disponibilidad de materiales y el aspecto económico ya que el concreto asfáltico es más costoso que el material granular, se propone reducir la carpeta asfáltica y aumentar los espesores granulares, sin afectar el desempeño estructural de tal manera que satisfaga la ecuación del número estructural (SN) como se muestra a continuación:

1. Por motivos constructivos se tomará un valor para la **Carpeta Asfáltica** de 4 pulgadas satisfaciendo la tabla de espesores mínimos que se describió anteriormente en la tabla 4.18:

$$D_1 = 4$$

2. Adoptado el espesor a utilizarse de la carpeta asfáltica se vuelve recalcular el número estructural:

$$SN_1 = a_1 D_1$$

$$SN_1 = 0.425 \times 4$$

$$SN_1 = 1.7$$

3. Determinamos el número estructural de la Base Granular para calcular el espesor de la misma mediante la siguiente ecuación.

$$SN_2 = SN_{2\ SUB\ BASE} - SN_{1\ RECALCULADO}$$

$$SN_2 = 3.04 - 1.7$$

$$SN_2 = 1.34$$

4. Procedemos a calcular el espesor de la **Base Granular**.

$$D_2 = \frac{SN_2}{a_2 m_2}$$

$$D_2 = \frac{1.34}{0.139 \times 0.90}$$

$$D_2 = 10.71 \text{ adaptamos un valor de } 11$$

5. Calculado y adoptado el espesor a utilizarse se vuelve a recalcular el número estructural.

$$SN_2 = a_2 m_2 D_2$$

$$SN_2 = 0.139 \times 0.90 \times 11$$

$$SN_2 = 1.38$$

6. Determinamos el número estructural de la Sub-base Granular para calcular el espesor de la misma mediante la siguiente ecuación.

$$SN_3 = SN_{SUBRASANTE} - (SN_{1RECALCULADO} + SN_{2RECALCULADO})$$

$$SN_3 = 5.62 - (1.7 + 1.38)$$

$$SN_3 = 5.62 - 3.08$$

$$SN_3 = 2.54$$

7. Procedemos a calcular el espesor de la **Sub-base Granular**.

$$D_3 = \frac{SN_3}{a_3 m_3}$$
$$D_3 = \frac{2.54}{0.107 \times 0.90}$$

$$D_3 = 26.37 \text{ adoptamos un valor de } 27$$

8. Calculado y adoptado el espesor a utilizarse se vuelve a recalcular el número estructural.

$$SN_3 = a_3 m_3 D_3$$
$$SN_3 = 0.107 \times 0.90 \times 27$$
$$SN_3 = 2.60$$

9. Verificamos lo calculado con la siguiente ecuación.

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN$$
$$1.7 + 1.38 + 2.60 \geq 5.62$$

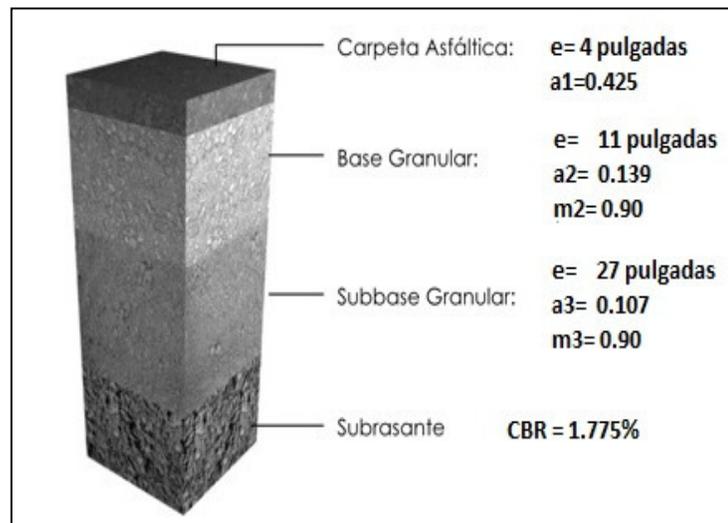
$$5.68 \geq 5.62 \text{ Ok.}$$

En la tabla 4.19 se procede a mostrar 2 alternativas de diseño de la estructura del pavimento para las vías de acceso a la ciudadela La Milina cumpliendo cada una con los requerimientos de espesores mínimos y estructurales pero por motivos constructivos y económicos queda descartada la alternativa 1, como condición que las capas inferiores tendrán mayor espesor que las superiores, los espesores de la estructura del pavimento se indican en la figura 4.10

Tabla 4.19. Alternativas de diseño método AASHTO 93

	ALTERNATIVAS	
	1	2
CAPA	PULGADAS	
CARPETA ASFÁLTICA	6	4
BASE Clase 3	4	11
SUBBASE Clase 3	27	27
SN	5.65	5.68

Figura 4.10. Espesores de la estructura del pavimento flexible

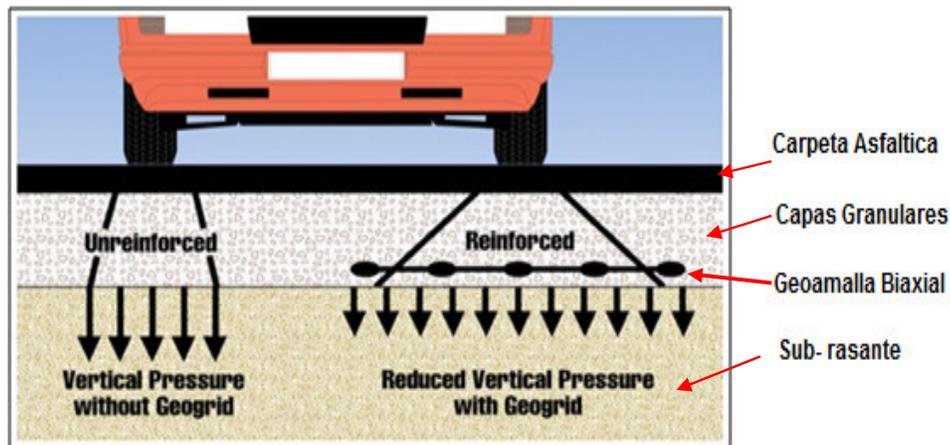


4.2.4. Determinación de los espesores de la estructura del pavimento flexible utilizando Geomallas Biaxiales como refuerzo, aplicado a las vías de acceso a La Ciudadela la Milina.

El método utilizando las Geomallas tiene óptimos resultados para mejorar la Subrasante con CBR menores al 3% ya que con CBR mayores el costo y beneficio ya no es significativo y puede ser ineficiente el uso de este material.

Para diseñar la estructura del pavimento reforzada con Geomalla se basará en el método de la AASHTO 93, el cual ha sido adaptado para explicar la contribución estructural de las mismas como se indica en la figura 4.11 y poder aplicar este método usando Geomallas Coextruídas Bi-orientadas o Biaxiales.

Figura 4.11. Ubicación de la Geomalla Biaxial en el pavimento flexible



Fuente: <http://www.geosai.com/geomalla/>

Para estudio se ha elegido la alternativa 2 de la tabla 4.19 indicada anteriormente y el tipo de Geomallas Coextruídas que usaremos serán Biaxiales TIPO A P-BX11 con valores de esfuerzos y módulos de resistencia altos cuya resistencia a la tensión es de 20 KN/m.

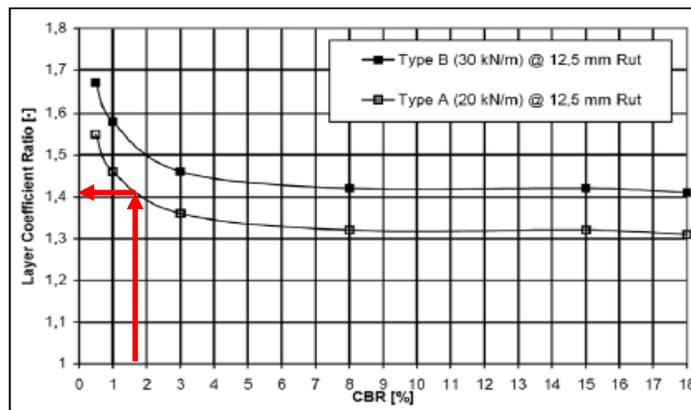
A continuación en la tabla 4.20 se detalla los datos necesarios para la estimación del número estructural requerido y el diseño de la estructura usando las ecuaciones del método AASHTO para pavimentos flexibles, y la introducción del Layer Coefficient Ratio (LCR) de la Geomalla Bi- Orientada, el cual cuantifica la contribución estructural de la misma a la estructura del pavimento.

Tabla 4.20. Datos necesarios para el cálculo de los espesores de la estructura del pavimento utilizando Geomallas Biaxiales

COEFICIENTE DE CAPA	COEFICIENTES ESTRUCTURALES (ai)	COEFICIENTES DE DRENAJE (mi)	MÓDULOS DE ELASTICIDAD	NUMEROS ESTRUCTURALES
Carpeta Asfáltica	0.425	1.00	400000	
Base	0.139	0.90	30000	2.63
Sub - base	0.107	0.90	15000	3.04

1. Calculamos el coeficiente de aporte de la Geomalla Biaxial tipo TIPO A P-BX11 (20kN/m) a la estructura del pavimento, para aquello se utiliza figura 4.12 que nos ayuda a determinar el valor de LCR (Layer Coefficient Ratio), para una sub-rasante con CBR = 1.775 %.¹⁹

Figura 4.12 Cálculo del L.C.R (LCR VS % CBR)



De la cual se obtuvo un valor de L.C.R de 1.406

2. Para incluir el aporte de la Geomalla dentro de la estructura del pavimento y obtener una disminución de los espesores, se debe mantener constante a través de los cálculos realizados el valor inicial del número estructural.¹⁹

$$SN_{\text{reforzado}} = SN_{\text{sin reforzar}}$$

$$SN = 5.68$$

3. Se procede a calcular el nuevo espesor D_{3r} de la capa granular con el refuerzo incluido como parte integral de la estructura.¹⁹

$$SN_r = a_1 D_1 + a_3 LCR D_{3r} m_3$$

$$D_{3r} = \frac{SN_r - (a_1 D_1)}{a_3 LCR m_3}$$

$$D_{3r} = \frac{5.68 - (0.425 \times 4)}{0.107 \times 1.406 \times 0.90}$$

$$D_{3r} = 29.394$$

4. Una vez que hayamos el nuevo espesor de la capa granular, a través de la utilización de la Geomalla, procedemos a calcular el número estructural de la misma.¹⁹

$$SN_{GR} = a_3 D_{3r} m_3$$

$$SN_{GR} = 0.107 \times 29.394 \times 0.90$$

$$SN_{GR} = 2.83$$

5. Como la conformación de las capas granulares se mantendrá de la misma manera de base y sub base, calculamos los nuevos espesores de base y sub-base granular, en función del número estructural de la capa de sub-base ya obtenido.¹⁹

Para darle solución a la ecuación porque se tienen dos incógnitas se procede a colocar un espesor de base mediante la tabla de espesores mínimos recomendados por el método y en este va a ser 6 pulgadas o 15 cm, de acuerdo a la tabla de mínimos espesores o se mantiene constante el valor obtenido del diseño tradicional, y se despeja el espesor reforzado para la Sub-base.

$$D_{2r} = 6 \text{ acuerdo a espesores mínimos recomendados}$$

$$SN_{GR} = a_2 D_{2r} m_2 + a_3 D_{3r} m_3$$

$$D_{3r} = \frac{SN_{GR} - a_2 D_{2r} m_2}{a_3 m_3}$$

$$D_{3r} = \frac{2.83 - 0.7506}{0.0963}$$

$$D_{3r} = 21.59$$

$$D_{3r} = 22$$

6. Para que la estructura de nuestro pavimento flexible en este caso aplicado a las vías de acceso a la ciudadela La Milina sea constructivamente y económicamente viable, el número estructural de las capas granulares debe ser en lo posible igual al número estructural obtenido en el paso 4, ya que los espesores calculados por lo general son modificados para facilitar su proceso constructivo

Por lo tanto verificamos que la variación de estos no altere el desempeño de la estructura.¹⁹

$$SN_{GR} = a_2 D_{2r} m_2 + a_3 D_r m_3$$
$$2.83 = 0.7506 + 0.107 \times 22 \times 0.90$$
$$2.83 = 2.86$$

A continuación en Tabla 4.21 y en las figuras 4.13 – 4.14 se muestran los resultados finales de los espesores de la estructura del pavimento flexible sin refuerzo método AASHTO 93 y con refuerzo utilizando las Geomallas Biaxiales.

¹⁹Fuente: PAVCO-MEXICHEM, “Manual de Diseño con Geosintéticos”, Diseño y Diagramación Norte Grafico, Novena Edición, 2012, Bogotá DC, Refuerzo en Vías con Geomallas Biaxiales Coextruídas, Ejemplo de Diseño, Pág. 156-159

Tabla 4.21. Resultados de la estructura del pavimento flexible sin refuerzo método AASHTO 93 y con refuerzo de Geomallas Biaxiales

ALTERNATIVAS		
	SIN REFUERZO	CON REFUERZO
	Método AASHTO 93	Geomalla Biaxial
CAPA	PULGADAS	
CARPETA ASFÁLTICA	4	4
BASE CLASE 3	11	6
SUB-BASE CLASE 3	27	22
TOTAL PULGADAS	42	32

Figura 4.13. Diseño sin refuerzo método AASHTO

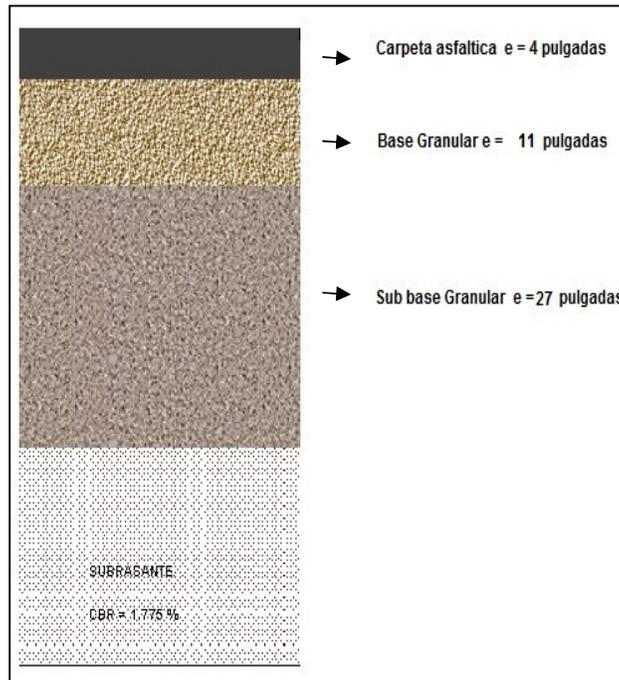
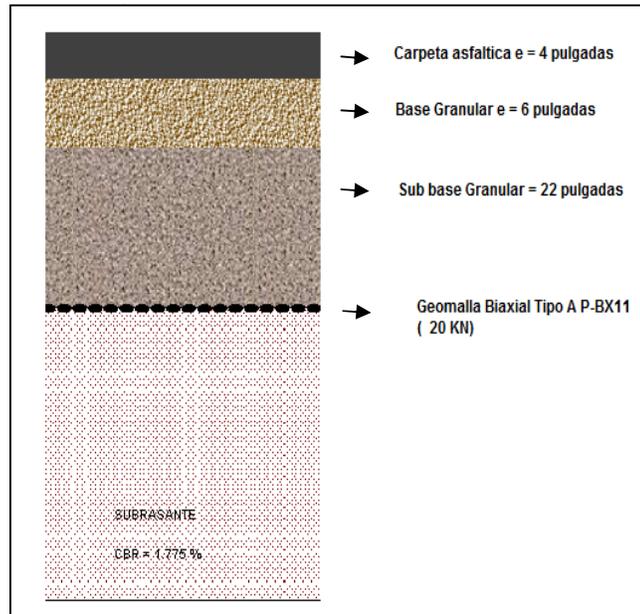


Figura 4.14. Diseño con refuerzo de Geomallas Biaxiales



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- * En la ciudadela La Milina donde se realizaron los estudios de suelo; se concluye que son suelos blandos con presencia de nivel freático superficial siendo estas características las más representativas de la zona.
- * Mediante los ensayos de C.B.R. se determinó que los suelos de la ciudadela La Milina presentan baja capacidad portante, por lo tanto el suelo indicado para el estudio con Geosintéticos presentan C.B.R menores al 3%.
- * Se utilizó para el diseño del pavimento flexible como refuerzo y mejoramiento de la sub-rasante la Geomalla TIPO A P-BX11 (20kN/m) por consiguiente esto ocasionó una mejora significativa de la capacidad portante del suelo blando y de la resistencia de las diferentes capas y la respectiva reducción de espesores del pavimento flexible. Este material cumple con las especificaciones técnicas para carreteras y puentes del MTOP y norma ASTM
- * En la comparación de diseño que se realizó entre la estructura del pavimento tradicional sin reforzar y con refuerzo se consiguió una reducción de espesores de materiales a un orden del 24 % y por consiguiente es una alternativa más viable y económica de diseño de la estructura del pavimento que se aplico en las vías de acceso a la ciudadela la Milina mediante la incorporación de Geosinteticos.

5.2. RECOMENDACIONES

- * Aplicar la Geomalla Biaxial a nivel de la Subrasante para garantizar la resistencia y la estabilidad de la estructura.

- * Utilizar Geotextiles sobre la Subrasante para evitar la contaminación y segregación de materiales garantizando la vida útil del pavimento.

- * Utilizar la Geomalla con la que se realizo el diseño para reforzar la estructura del pavimento.

- * Utilizar Geomallas Coextruídas Bi-Orientadas para garantizar un ahorro significativo en mano de obra y tiempo en el sector de la construcción.

BIBLIOGRAFIA

- * M.O.P.U. “Sistematización de los Medios de Compactación y su Control”. 1987
- * Braja M. Das, “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, Thomson Editores S.A, 2013, Mexico
- * T.A.M.S. – ASTEC, “Normas de Diseño Geométrico de Carreteras”, 2003. PAVCO- MEXICHEM, “Manual de Diseño con Geosintéticos”, Diseño y Diagramación Norte Grafico, Novena Edición, 2012, Bogotá DC.
- * Universidad Nacional de San Juan, “Curso de actualización de Diseño estructural de Caminos Método AASHTO”, Septiembre de 1998.
- * Alfonso Montejo Fonseca, “Ingeniería de Pavimentos para Carreteras”, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C
- * Ministerio de transporte y Obras Publicas, “Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes”, MTOP - 001-F 2002
- * Universidad Nacional de Ingeniería, Experimento Vial de la AASHTO y las Guías de Diseño AASHTO, 2010, Nicaragua.
- * VASQUES VARELA, LUIS RICARDO, “AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures (1993)”. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. 2002.
- * Maccaferri, Design of Flexiable Pavement to AASTHO GUIDE FOR DESING OF PAVEMENT STRUCTURES”, Officine Maccaferri Spa, Bologna.

- * Instituto Boliviano Del Cemento y el Hormigón, “Diseño de Pavimentos AASHTO – 93 Y DIPAV – 2”, Adaptación del Curso del Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.

ANEXOS

ANEXO A

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS GEOMALLAS COEXTRUIDAS BI - ORIENTADAS

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	P-BX11 ¹	P-BX12 ¹
Resistencia a la tensión 2% deformación (SL / ST) ²	ASTM D 6637	(4.1 / 6.6) kN/m	(6.0 / 9.0) kN /m
Resistencia a la tensión 5% deformación (SL / ST) ²	ASTM D 6637	(8.5 / 13.4) kN/m	(11.8 / 19.6) kN /m
Resistencia a la tensión pico (SL / ST) ²	ASTM D 6637	(12.4 / 19.0) kN/m	(19.2 / 28.8) kN /m
Eficiencia en los nodos ³	GRI GG2	93%	93%
Rigidez flexural ⁴	ASTM D 1388	250 mg - cm x 1000	750 mg - cm x 1000
Rigidez torsional (J) ⁵	US ARMY COE	3.2 kg - cm / deg	6.5 kg - cm / deg

PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	P-BX11	P-BX12
Tamaño de abertura (SL / ST) ²	Medido	(25 / 33) mm	(25/ 33) mm
Espesor de costillas (SL / ST) ²	ASTM D 1777	(0.76 / 0.76) mm	(1.27/ 1.27) mm
Área abierta	CW 02215	75%	80%
Resistencia a los daños de instalación ⁶	ASTM D 6637	(>90) % SC/ %SW /%GP	(>90) % SC/ %SW /%GP
Resistencia a la degradación a largo plazo ⁷	ASTM D4355-05	>100%	>100%

PRESENTACIÓN	NORMA	P-BX11	P-BX12
Ancho del rollo	Medido	4.0 m	4.0 m
Longitud del rollo	Medido	75 m	50 m
Área del rollo	Medido	300m ²	200 m ²

ANEXO B

AFORO VEHICULAR

		CUIDADELA LA MILLINA AFOROS VEHICULARES										REVISION					
Fecha (D.M.A):		20/03/2017										Esquema: <table border="1" style="width: 100%; height: 40px; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 25px; height: 20px;"></td><td style="width: 25px; height: 20px;"></td><td style="width: 25px; height: 20px;"></td><td style="width: 25px; height: 20px;"></td></tr></table>					
Condición Climática:		Movimientos Aforados :															
Aforador: Jefferson Suarez				Hora inicial		07:00		Hora final		19:00							
Coordinador: Carlos Jordan																	
PER	MOV	TAXIS	AUTOS	Camiones Ligeros	BUSETA	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	2C6	Motos	OBSERVACIONES					
		28	31	5	3	2											
		25	37	2	5	1											
		19	41	5	4	1											
		20	39	3	5	1											
		21	36	2	4	2											
		10	43	5	3	2											
		123	227	22	24	9											

ANEXO C

AFORO VEHICULAR

		CIUDADELA LA MILINA										REVISION
		AFOROS VEHICULARES										
		Movimientos Aforados :										
		Esquema										
		Hora inicial 07:00 Hora final 19:00										
		Coordinador: Carlos Jordan										
		Aforador: Jefferson Suarez										
		Fecha (D/M/A): 21/03/2017										
		Condición Climática:										
PER	MOV	TAXIS	AUTOS	Camiones Ligeros	BUSETA	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	ZC6	Motos	
		26	30	4	3	1						
		23	39	0	5	1						
		18	41	2	4	1						
		20	38	3	4	1						
		21	35	0	4	0						
		11	42	1	2	2						
119 225 10 22 6												
OBSERVACIONES												

ANEXO F

AFORO VEHICULAR

		CIUDADELA LA MILINA AFOROS VEHICULARES										REVISION	
Fecha (D.M.A.):		24/03/2017										Esquema:	
Condición Climática:												<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Aforador:		Movimientos Aforados:											
Aforador: Carlos Jordan		Hora inicial		07:00		Hora final		19:00					
PER	MOV	TAXIS	AUTOS	Camiones Ligeros	BUSETA	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	≥C6	Motos	OBSERVACIONES	
		13	38	2	3	1							
		19	41	1	4	0							
		25	39	3	4	2							
		26	45	1	5	0							
		18	43	2	4	1							
		23	30	1	4	2							
		124	236	10	24	6							

ANEXO H

AFOROS VEHICULAR

CIUDAD DE LA MILINA												
AFOROS VEHICULARES												
REVISION												
Fecha (D/M/A): 28/03/2017												
Condición Climática: Movimientos Aforados:												
Aforador: Jefferson Suarez												
Coordinador: Carlos Jordan												
Hora inicial: 07:00												
Hora final: 19:00												
Esquema:												
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>												
PER	MOV	TAXIS	AUTOS	Camiones Ligeros	BUSETA	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	ZC6	Motos	OBSERVACIONES
		27	50	3	4	1						
		29	53	2	3	3						
		35	51	3	4	1						
		36	57	3	5	2						
		28	55	2	3	3						
		33	42	2	5	2						
188 308 15 24 12												

ANEXO I

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (S.U.C.S)

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Cu= $D_{60}/D_{10}>4$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% >GW,GP,SW,SP. >12% >GM,GC,SM,SC. 5 al 12% >casos límite que requieren usar doble símbolo.	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Cu= $D_{60}/D_{10}>6$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP <4. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan	
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		
			Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML		Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plásticidad.
				CL		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.				
	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.				
	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.				
	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.				
Suelos muy orgánicos		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.			