

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**APLICACIÓN DE CAL EN LA SUB RASANTE PARA  
EVALUAR LA TRANSITABILIDAD EN EL DISTRITO DE  
ROSARIO - ACOBAMBA - HUANCVELICA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JUAN BARRIENTOS SEDANO**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2020**

# HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

---

**Dr. RUBÉN DARÍO TAPIA SILGUERA**  
**PRESIDENTE**

---

**Ing. JAVIER AMADOR NAVARRO VELIZ**  
**JURADO**

---

**Ing. RANDO PORRAS OLARTE**  
**JURADO**

---

**Ing. CHRISTIAN MALLAUPOMA REYES**  
**JURADO**

---

**MG. MIGUEL ANGEL CARLOS CANALES**  
**SECRETARIO DOCENTE**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo dedico a mis familias, a mis amigos, quienes me han apoyado y a todos los que me prestaron ayuda, moralmente y económicamente para el desarrollo de la investigación.



## **AGRADECIMIENTO**

A la Municipalidad distrital de Rosario, por el apoyo incondicional al desarrollo del informe técnico y al ingeniero residente de obra y el ing. Supervisor de obra, quienes colaboraron de forma desinteresada para la elaboración y culminación de todo el informe, mediante alcances de los manuales, especificaciones técnicas del expediente técnico y otros.

## INDICE

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
INTRODUCCION .....	6
CAPITULO I.....	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
1.1.Problema .....	7
1.1.1.Problema general .....	7
1.1.2.Problema especifico .....	7
1.2.Objetivo .....	8
1.2.1.Objetivo general.....	8
1.2.2.Objetivo especifico.....	8
1.3.Justificación .....	8
1.3.1. Practica .....	8
1.3.2. Metodológica.....	8
1.4.Delimitación .....	9
1.4.1. Espacial .....	9
1.4.2. Temporal.....	12
1.4.3. Económica .....	12
CAPITULO II.....	13
MARCO TEORICO .....	13
2.2.Marco conceptual .....	21
2.2.1. Carretera de primera clase.....	21
2.2.2. Carretera de segunda clase .....	21
2.2.3. Subrasante.....	21
2.2.4. Suelos Inadecuados.....	22
2.2.5. Características de suelos inadecuados .....	23
2.2.6. Pavimento .....	23
2.2.7. Análisis granulométrico de suelos por tamizado MTC E 107 .....	23
2.2.8. Determinación del contenido de humedad de un suelo MTC E 108 .....	26

2.2.9. Determinación de limite liquido de los suelos MTC E 110 .....	27
2.2.10. Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P) MTC E 111 .....	28
2.2.11. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado) MTC E 115 .....	29
2.2.12. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía estándar (Proctor estándar) MTC E 116 .....	30
2.2.13. CBR de suelos (laboratorio) MTC E 132 .....	31
2.2.14. Estabilización de suelos .....	33
2.2.15. Compresibilidad del suelo .....	34
2.2.16. Clasificación de suelos .....	35
2.2.17. Suelos expansivos .....	42
2.2.18. Método de AASHTO 93 .....	42
2.2.19. Módulo de Resiliencia (MR) .....	44
2.2.20. Índice de Serviciabilidad .....	45
2.2.21. Confiabilidad y Desviación estándar .....	45
2.2.22. Coeficiente de drenaje (Cd) .....	47
2.2.23. Mejoramiento de suelos de subrasante .....	48
2.2.24. Modelo de BOUSSINESQ .....	49
2.2.25. Módulo de Elástico (E) .....	52
2.2.26. Esfuerzo vertical admisible ( $\sigma$ ) .....	53
2.2.27. Recomendaciones del Estado de Colorado (USA) .....	54
CAPITULO III .....	56
METODOLOGIA .....	56
3.1. Tipo de estudio .....	56
3.2. Nivel de estudio .....	56
3.3. Diseño de estudio .....	56
3.4. Técnica e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	57
3.4.1. Técnica de recolección de datos .....	57
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos .....	57
3.4.3. Análisis de datos .....	57
CAPITULO IV .....	58
DESARROLLO DEL INFORME .....	58
4.1. Resultados .....	59

<b>4.1.1. Materiales equipos y recursos empleados para el análisis de suelos .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.2. Evaluación estructural de la vía existente a nivel de subrasante ..</b>	<b>59</b>
<b>4.1.3. Determinación de los sectores para el cálculo de espesores .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1.4. Análisis granulométrico .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.5. Resultados de análisis de CBR y limite consistencia .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1.6. Costos de la dosificación de Cal .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2. Discusión de resultados .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.1 Objetivo N° 1 .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.2 Objetivo N° 2 .....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.3 Objetivo N° 3 .....</b>	<b>67</b>
<b>4.2.4 Objetivo N° 3 .....</b>	<b>67</b>
CONCLUSIONES .....	69
RECOMENDACIONES .....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	71
ANEXOS.....	72



## INDICE DE GRAFICOS

Grafico N° 01: Ubicación de la Obra .....	16
Grafico N° 02: Plano clave de ejecución .....	17
Grafico N° 03: Coeficientes estructurales Método AASHTO 93 .....	20
Grafico N° 04: Ubicación Geográfica del tramo de ejecución .....	29
Grafico N° 05: Carta de plasticidad .....	45
Grafico N° 06: Abaco de diseño AASHTO para pavimento flexibles .....	53
Grafico N° 07: Difusión de esfuerzo $\sigma_z$ .....	60

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Resultados de CBR del proyecto .....	20
Tabla N° 02: Parámetros del proyecto .....	21
Tabla N° 03: Espesores de mejoramiento según esfuerzos admisibles .....	22
Tabla N° 04: Espesores de mejoramiento según CBR <6% .....	22
Tabla N° 05: Espesores de mejoramiento según compresibilidad .....	22
Tabla N° 06: Espesores de mejoramiento según expansibilidad .....	23
Tabla N° 07: Espesores de mejoramiento según contenido de humedad .....	23
Tabla N° 08: Sectores de mejoramiento total .....	24
Tabla N° 09: Resultados de ensayos de calicatas .....	26
Tabla N° 10: Características de suelos inadecuados .....	27
Tabla N° 11: Resumen de espesores de mejoramiento .....	27
Tabla N° 12: Tamices para granulometría .....	31
Tabla N° 13: Relación tamaño – peso .....	32
Tabla N° 14: Tamices hasta N° 04 .....	32
Tabla N° 15: Tabla de penetración para laboratorios .....	40
Tabla N° 16: Clasificación de la subrasante según CBR .....	40
Tabla N° 17: Clasificación de la subrasante C.B.R. – (MTC) .....	41
Tabla N° 18: Tabal de índice de consistencia .....	43
Tabla N° 19: Clasificación de suelos según – AASHTO .....	45
Tabla N° 20: Clasificación de suelos según – S.U.C.S. ....	45
Tabla N° 21: Símbolos de grupos según S.U.C.S. ....	47
Tabla N° 22: Nombres de grupos según S.U.C.S. – Suelo grano grueso .....	48
Tabla N° 23: Nombres de grupos según S.U.C.S. – Suelo grano fino inorgánico .....	49
Tabla N° 24: Nombres de grupos según S.U.C.S. – Suelo grano fino orgánico...50	
Tabla N° 25: Criterio de suelos expansivos .....	51
Tabla N° 26: Índice de serviciabilidad .....	55
Tabla N° 27: Valores de nivel de confianza R de acuerdo al tipo de camino ....	55

Tabla N° 28: Factores de desviación estándar .....	56
Tabla N° 29: Capacidad de drenaje .....	57
Tabla N° 30: Valores “m” para modificar los coeficientes estructurales o de capa de base y subbase sin tratamiento en pavimento flexibles .....	58
Tabla N° 31: Valores para coeficiente estructural .....	59
Tabla N° 32: Espesor para tratamiento de suelos expansivos – carreteras principales .....	66
Tabla N° 33: Espesor para tratamiento de suelos expansivos – carreteras secundarias .....	66

## INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01: Características técnicas de la obra .....	19
Cuadro N° 02: Estructura del pavimento .....	19
Cuadro N° 03: Resumen de calicatas .....	70
Cuadro N° 04: Resumen de ensayos general .....	73
Cuadro N° 05: Sectores de mejoramiento – CBR < 6% .....	76
Cuadro N° 06: Resumen de espesores de mejoramiento – METODO AASHTO 93 .....	79
Cuadro N° 07: Resumen de espesores de mejoramiento – METODO DE BOUSSINESQ .....	82
Cuadro N° 08: Resumen de espesores de mejoramiento – METODO DE LSO ABACOS DEL ESTADO DE COLORADO (USA) .....	84
Cuadro N° 09: Análisis y comparación de resultados .....	88

## RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional se planteó el siguiente problema general: ¿Cuál es el resultado de la aplicación de cal en la sub rasante para evaluar la transitabilidad en el distrito de Rosario - Acobamba – Huancavelica 2019?, cuyo objetivo general fue: Evaluar el resultado de la aplicación de cal en la sub rasante para evaluar la transitabilidad en el distrito de Rosario - Acobamba – Huancavelica 2019.

El tipo de estudio es el aplicado de nivel descriptivo correlacional, de diseño experimental.

Como conclusión se establece: Con la dosificación de cal se logró mejorar la capacidad portante del suelo de la capa de la subrasante; de acuerdo a los resultados de la mecánica de suelos que realizamos nos muestran que el límite líquido es de 18.37, su índice de plasticidad = 5.79, densidad máxima = 1.719, humedad = 10.30 y su CBR AL 100% =16.50, CBR AL 95% = 12.07.

**Palabras claves:** Aplicación de cal, sub rasante, transitabilidad

## ABSTRACT

The present work of professional sufficiency posed the following general problem: What is the result of the application of lime in the subgrade to evaluate the walkability in the district of Rosario - Acobamba – Huancavelica 2019 ?, whose general objective was: To evaluate the Result of the application of lime in the subgrade to evaluate the passability in the district of Rosario - Acobamba - Huancavelica 2019.

The type of study is the applied descriptive correlational level, experimental design.

As a conclusion it is established: With the dosage of lime it was possible to improve the bearing capacity of the soil of the subgrade layer; According to the results of the soil mechanics that we carry out, they show us that the liquid limit is 18.37, its plasticity index = 5.79, maximum density = 1.719, humidity = 10.30 and its CBR AL 100% = 16.50, CBR AL 95% = 12.07.

**Keywords:** Lime application, subgrade, passability

## INTRODUCCION

El presente trabajo de suficiencia profesional titulado: APLICACIÓN DE CAL EN LA SUB RASANTE PARA EVALUAR LA TRANSITABILIDAD EN EL DISTRITO DE ROSARIO - ACOBAMBA – HUANCVELICA, pretende analizar el estudio es un terreno con presencia de arcilla, la cual se encuentra en un estado deteriorado y abandonado, esta vía se hace intransitable en épocas de lluvia, el paso del tiempo y la falta de actividades de mantenimiento a la vía; hacen que esta situación se agudice aún más en la temporada de invierno, que se produce entre los meses de octubre a marzo, y en donde las frecuentes precipitaciones terminan por convertirla en zona inaccesible para el transporte vehicular por el abundante lodo y fango que cubre la vía producidos al combinarse la tierra con las aguas que inundan las superficie de rodadura de la vía, lo que podría evitarse con adecuadas obras de arte y drenaje junto a un adecuado afirmado con material resistente al agua en toda la superficie de rodadura.

Para un mejor entendimiento el presente trabajo se ha desarrollado en cuatro capítulos los cuales son los siguientes:

**En el capítulo I:** Se dio a conocer el planteamiento del problema, el problema general y específico, así como los objetivos tanto general como específico, de igual manera se da a conocer la justificación practica y metodológica, y para finalizar se resalta la delimitación espacial temporal y económica.

**En el capítulo II:** En esta capitulo se referencia los antecedentes nacionales e internacionales, el marco conceptual.

**En el capítulo III:** Esta referida para la metodología, donde abordamos el tipo de estudio, nivel y diseño, así como las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

**En el capítulo IV:** Se da a conocer el desarrollo del informe, estudio de suelo, diseño de la estructura del pavimento.

Finalmente se exponen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

**Bach. Juan Barrientos Sedano**

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1. Planteamiento del problema**

La vía urbana materia del presente estudio es un terreno con presencia de arcilla, la cual se encuentra en un estado deteriorado y abandonado, esta vía se hace intransitable en épocas de lluvia, el paso del tiempo y la falta de actividades de mantenimiento a la vía; hacen que esta situación se agudice aún más en la temporada de invierno, que se produce entre los meses de octubre a marzo, y en donde las frecuentes precipitaciones terminan por convertirla en zona inaccesible para el transporte vehicular por el abundante lodo y fango que cubre la vía producidos al combinarse la tierra con las aguas que inundan las superficie de rodadura de la vía, lo que podría evitarse con adecuadas obras de arte y drenaje junto a un adecuado afirmado con material resistente al agua en toda la superficie de rodadura.

#### **1.1. Problema**

##### **1.1.1 Problema general**

¿Cuál es el resultado de la aplicación de cal en la subrasante para evaluar la transitabilidad en el distrito de Rosario - Acobamba – Huancavelica 2019?

##### **1.1.2 Problema específico**

a) ¿Cuál es el resultado del estudio de la mecánica de suelos de la subrasante para evaluar la transitabilidad?



- b) ¿Cuál es el porcentaje de dosificación de la cal en el suelo de la subrasante para evaluar la transitabilidad?
- c) ¿Cuánto es el espesor de la subrasante con la dosificación de cal para evaluar la transitabilidad?
- d) ¿A cuánto asciende el costo de la dosificación de la cal en el suelo de la subrasante para evaluar la transitabilidad?

## **1.2. Objetivo**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar el resultado de la aplicación de cal en la subrasante para evaluar la transitabilidad en el distrito de Rosario - Acobamba – Huancavelica 2019

### **1.2.2 Objetivo específico**

- a) Realizar el estudio de la mecánica de suelos de la subrasante para evaluar la transitabilidad.
- b) Determinar el porcentaje de la dosificación de la cal en el suelo de la subrasante para evaluar la transitabilidad.
- c) Calcular el espesor de la subrasante con la dosificación de cal para evaluar la transitabilidad.
- d) Cuantificar los costos de la dosificación de la cal en el suelo de la subrasante para evaluar la transitabilidad.

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Practica**

Los resultados de los ensayos realizados a las muestras de las calicatas ubicadas a lo largo de la localidad de Rosario para conocer el tipo de suelo y dar una solución al problema de deterioro que presenta.

### **1.3.2. Metodológica**

El bachiller hará uso de metodologías que servirán para tomar datos de campo, procesarla y sistematizar la información, esta metodología podrá ser utilizada por otros estudios de similar enfoque.

## 1.4. Delimitación

### 1.4.1. Espacial

Las vías en la localidad de Rosario, está ubicada en el distrito de Rosario de la provincia de Acobamba, Región Huancavelica, comprende un tramo total de 8,260 Metros.

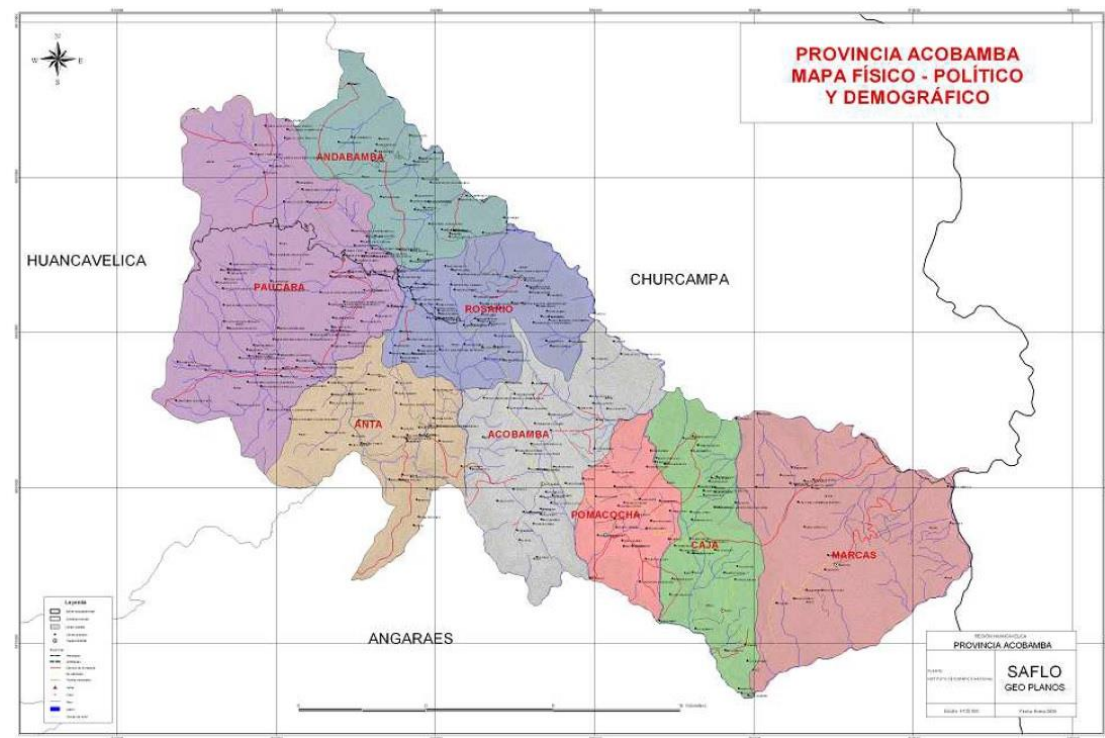
**Gráfico N° 01: Ubicación de la Obra**



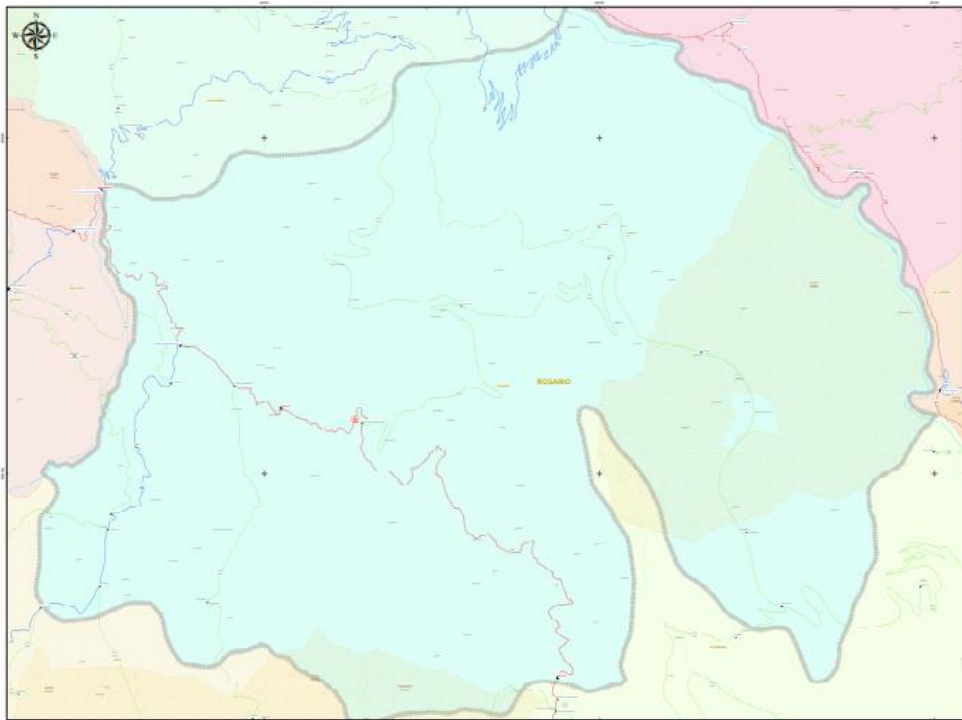
*Ámbito Nacional*



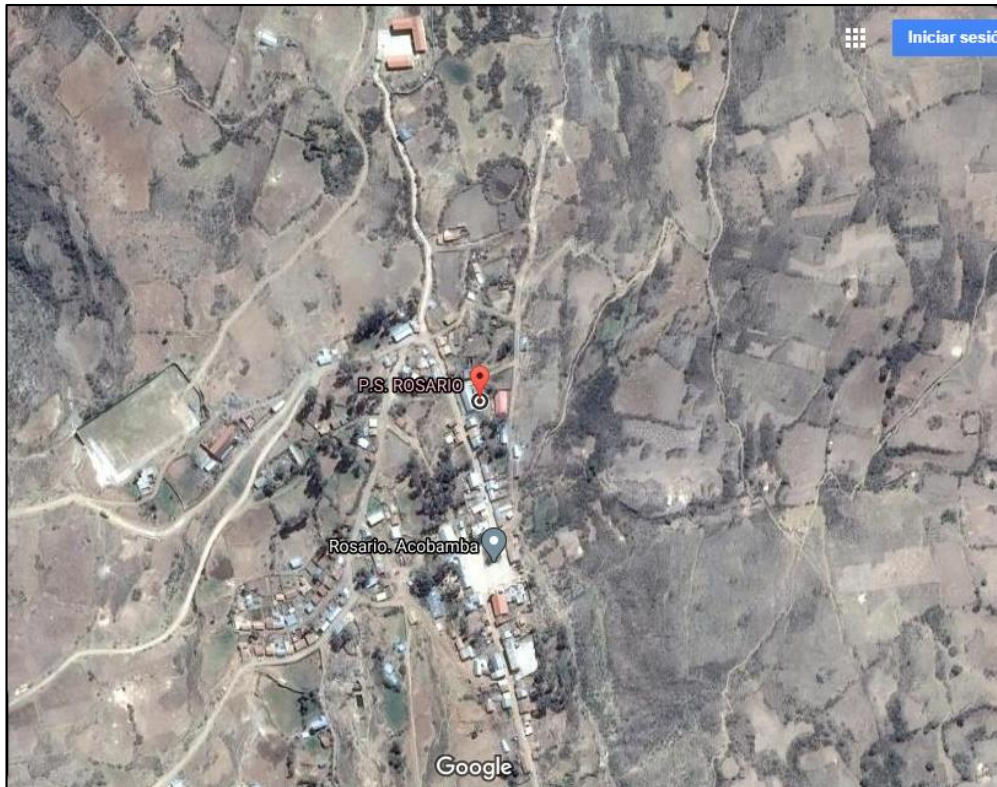
*Ámbito Regional*



Ámbito Provincial



Ámbito Distrital



Plano clave Ubicación



*Plano clave Ubicación*

#### **1.4.2. Temporal**

LA APLICACIÓN DE CAL EN LA SUB RASANTE PARA EVALUAR LA TRANSITABILIDAD EN EL DISTRITO DE ROSARIO - ACOBAMBA – HUANCVELICA, se debe ejecutar para los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2019, es por ello que las calicatas se realizaron en el mes de abril, los ensayos de laboratorio han sido realizados en mes de mayo y los resultados para el mes de Junio y posteriormente su ejecución de la obra.

#### **1.4.3. Económica**

Los gastos que involucre el estudio serán asumidos por el bachiller.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes**

Se realiza una recopilación de diferentes conceptos, los cuales han sido definidos en las diferentes Normas Técnicas Peruanas que actualmente son usadas en la formulación, ejecución y supervisión de obras viales, del mismo modo nos servirán como bases teóricas sólidas al momento de evaluar los suelos que serán materia de estudio en el desarrollo del presente informe.

Para tener un enfoque más claro respecto a la materia de estudio, se extrae los datos más relevantes del Expediente Técnico de la Obra: Aplicación de Cal en la Sub Rasante para Evaluar la Transitabilidad en el Distrito de Rosario – Acobamba – Huancavelica.

De esta manera nuestro trabajo será más objetivo, puesto que los resultados y conclusiones que determinan los espesores de capas mejoradas, serán más cercanas a la realidad de la necesidad del suelo, el cual será capaz de realizar el soporte de cargas exigidas durante la circulación de vehículos.

En referencia al Expediente Técnico de la obra en mención, tomando como partida inicial, se ha extraído datos relevantes que servirán para el análisis del informe, asimismo se referencia trabajos realizados por diferentes

profesionales en el ámbito de la investigación de las estructuras de Ingeniería Vial, en relación a las características de los elementos que conforman los pavimentos usados en las vías terrestres.

Para la determinación del espesor de un mejoramiento de suelo a nivel de subrasante, la información encontrada está limitada a algunos aspectos relacionados con el análisis de un mejoramiento, es por ello que, se nos hace dificultoso adoptar una esquematización conveniente para alcanzar un análisis claro de los parámetros que enmarcan el presente informe.

A continuación, hacemos mención al Expediente Técnico de la obra en estudio, Expediente Técnico ejecutado en características similares, algunos trabajos que sirven de referencia al momento de definir conceptos teóricos, lo cuales serán utilizados en un análisis claro de los parámetros de estudio del presente informe.

### **2.1.1. Antecedentes nacionales**

**a)** Cuadros, C. (2017). En su tesis: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO -MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN UNA VÍA AFIRMADA DE LA RED VIAL DEPARTAMENTAL DE LA REGIÓN JUNÍN MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA CON ÓXIDO DE CALCIO - 2016, sustento en la Universidad Peruana los Andes, en la Facultad de ingeniería de Civil, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

Su objetivo general fue:

✓ Determinar la influencia de la estabilización química mediante la adición de diversos porcentajes de óxido de calcio en el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la Red Vial departamental de la región Junín.

Y sus objetivos específicos son:

✓ Determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio al adicionar diversas proporciones, para mejorar las propiedades físico – mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la Red Vial Departamental de la Región Junín.

- ✓ Analizar y comparar los costos de la estabilización física de subrasante de una vía por el método de combinación de suelos y la estabilización química con óxido de calcio

Producto de su investigación concluye que:

- ✓ La estabilización química con Óxido de Calcio influye positivamente en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante, ya que reduce el índice de plasticidad y aumenta significativamente el valor de soporte (C.B.R.) del suelo estabilizado respecto al suelo natural.
  - ✓ Se determinó que el porcentaje óptimo de óxido de calcio al adicionar diversas proporciones (1%, 3%, 5% y 7%) para la estabilización del suelo en estudio es de 3% respecto al peso del suelo, mejorando así las propiedades del suelo de subrasante en estudio, dando como resultado la reducción del Índice de Plasticidad de un suelo natural con un IP de 19.08% a un IP de 4.17% posterior a su estabilización, asimismo redujo el óptimo contenido de humedad para su compactación de un 18.3% en suelo natural a un 15.6% posterior a su estabilización, además aumentó significativamente el valor de C.B.R. de un 4.85% para suelo natural a un valor de C.B.R de 15.64% posterior a su estabilización, categorizándolo como un material de subrasante buena, de acuerdo al Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” – Sección suelos y pavimentos, después de su estabilización.
  - ✓ Se comparó los costos de la estabilización física por combinación de suelos y la estabilización química con Óxido de Calcio, dando como resultado una reducción del 44.41% de costos, entre estos dos métodos de estabilización de suelos. Queda demostrando la ventaja económica que tiene el uso del óxido de calcio como estabilizante químico frente al método conocido de estabilización física por combinación de suelos.
- b) Leyva, R. (2017). En su tesis: UTILIZACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO A**



NIVEL DE LA SUBRASANTE EN EL JR. AREQUIPA, PROGRESIVA KM 0+000 - KM 0+100, DISTRITO DE ORCOTUNA, CONCEPCIÓN, sustento en la Universidad Nacional del Centro Del Perú, en la Facultad de ingeniería de Civil, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

Su objetivo general fue:

- ✓ Determinar la influencia del as bolsas de polietileno en el suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.

Y sus objetivos específicos fueron:

- ✓ Analizar las propiedades físicas y mecánicas que influyen en la capacidad portante del suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.
- ✓ Establecer la dosificación de las bolsas de polietileno como adición para el mejoramiento de la subrasante en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.
- ✓ Determinar la influencia de las bolsas de polietileno fundido en el diseño estructural de un pavimento flexible en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.

Producto de su investigación concluye que:

- ✓ Las bolsas de polietileno influyen en el mejoramiento de la subrasante, mediante el uso de bolsas de polietileno fundido en forma de grumos, se realizó diferentes proporciones que son: del 2%, 4%, 6%, 8% y 10 % logrando un aumento de CBR en promedio de 7.98%, superior al permisible.
- ✓ Con la adición de polímeros reciclados, obtenidos de las bolsas de polietileno fundido en forma de grumos, se mejora las propiedades física y mecánicas, se comprobó que la muestra del tramo de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 presenta gran presencia de arcilla. La problemática se debe

a que la subrasante es un suelo plástico y de mala granulometría, conviene que sea bien graduada, con una granulometría continua y no uniforme, al adicionar bolsas de polietileno fundido en forma de grumos el suelo hace que tenga mayor fricción y por ende hace que presente mayor capacidad portante.

- ✓ El CBR del suelo arcilloso es 4.15% al 95% de la máxima densidad seca y al adicionar bolsas de polietileno fundido al 6% del peso seco del suelo, con dimensiones amorfas pasante el tamiz 3/4" y retenido 3/8", incrementó el CBR (California Bearing Ratio) a 7.98% al 95% de la máxima densidad seca debido a que las bolsas de polietileno fundido en forma de grumos presentan propiedades de flexo compresión y también redujo porcentualmente la expansión 36.85%.

**2.1.2.** En el diseño estructural del pavimento flexible la calidad del material de la subrasante depende en gran medida de los espesores del pavimento siendo la sub base, base y carpeta asfáltica que se muestra en la tabla.

### **Antecedentes Internacionales**

**a)** Caamaño, I. (2016). En su tesis: MEJORAMIENTO DE UN SUELO BLANDO DE SUBRASANTE MEDIANTE LA ADICIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ Y SU EFECTO EN EL MÓDULO RESILIENTE, sustento en la Universidad Militar Nueva Granada, en la Facultad de ingeniería, programa de ingeniería Civil, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

Su objetivo general fue:

Mejorar las propiedades físicas y geomecánicas de un suelo blando de subrasante con ceniza de cascarilla de arroz, traducido en la optimización de su comportamiento mecánico.

Y sus objetivos específicos fueron:

- ✓ Estudiar las condiciones del suelo de subrasante, ubicado en la vía Pedregal – Genoy entre las abscisas K3+000 a K3+500 en el departamento de Nariño.
- ✓ Realizar la caracterización física de un suelo blando modificado con ceniza de cascarilla de arroz mediante los ensayos de laboratorio correspondientes.
- ✓ Determinar el módulo resiliente de muestras modificadas con ceniza de cascarilla de arroz en porcentajes seleccionados correspondientes al 0%, 2%, 4% y 6%.
- ✓ Evaluar el posible efecto de la ceniza de cascarilla de arroz en suelos de subrasante blandos.
- ✓ Evaluar la optimización en los diseños de pavimentos planteados con el mejoramiento mediante cascarilla arroz.

Producto de su investigación concluye en:

- ✓ La ceniza de cascarilla de arroz contribuye a la reducción de la plasticidad, reflejado en la mejora de consistencia y comportamiento físico del material de subrasante.
- ✓ Por otro lado, no se ve una variación en el pH del suelo, lo cual demuestra que la ceniza de cascarilla de arroz no genera un aporte en esta propiedad del suelo.
- ✓ El residuo agroindustrial, genera un gran aporte en la resistencia inconfiada del material, aumentando esta variable en más de un 100% para el 4% de adición de ceniza de cascarilla de arroz en comparación con el obtenido en condiciones iniciales. Esto indica que la CCA provoca un efecto cementante en el suelo de subrasante debido sus propiedades puzolánicas, lo que induce a un incremento de la resistencia del material.
- ✓ El efecto de la ceniza de cascarilla de arroz en el módulo resiliente del material, refleja que este parámetro incrementa con la adición del residuo agroindustrial hasta un 4% para ciertas condiciones que reflejan el estado de esfuerzo de la subrasante bajo la estructura de pavimento (36,8kPa de

esfuerzo vertical y 13,8kPa de confinamiento lateral); por arriba de 4% de CCA, el módulo resiliente del material decrece.

- ✓ De los resultados obtenidos, se determina que el porcentaje de adición óptimo de CCA para la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante analizado, corresponde al 4% valor en el cual se obtuvo el mayor aporte a las propiedades del suelo.
- ✓ El uso de la CCA para la estabilización y mejoramiento de suelos de blandos de subrasante puede resultar una alternativa económica, sustentable y de impacto positivo para el medio ambiente, de la cual se puede obtener resultados que muestran un beneficio en las condiciones físicas y geomecánicas del suelo.

**b)** Alzate, A. (2019). En su tesis: MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN VÍAS DE TERCER ORDEN, sustento en la Universidad Libre Seccional Pereira, en la Facultad de ingenierías, ingeniería Civil, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

Su objetivo general fue:

- ✓ Evaluar el cemento como aditivo estabilizante en la capa de subrasante para la vía Llano Grande, jurisdicción del municipio de Pereira-Risaralda.

Y sus objetivos específicos fueron

- ✓ Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del material.
- ✓ Valorar el comportamiento de la resistencia de la subrasante, cuando se adiciona cemento.
- ✓ Establecer el porcentaje de cemento, de mayor eficiencia para el aumento de la resistencia del material objeto de estudio.

De su investigación concluyo en:

- ✓ Para la determinación del porcentaje de cemento de mayor eficiencia, mediante la realización de ensayos de resistencia a la compresión no confinada de cilindros moldeados de suelo-

cemento, se concluye que el porcentaje óptimo con el que se obtuvo mayor resultado fue con el 13%.

- ✓ Debido a que el material de estudio posee un alto contenido de humedad, para el manejo y la estabilización química. Primero debe reducirse su humedad natural, según el manual de estabilización de suelos con cemento o cal de Carlos Jofré y Carlos Kraemer, agregando el 1 % de cal viva, el contenido de humedad se puede reducir en un 5%, hasta un 7% sumando el proceso de aireación, con esto se garantiza que la estabilización con el cemento sea exitosa.
- ✓ Se obtuvo una mejora de más del cien por ciento en los cuatro estratos trabajados, agregando el 13 % de cemento, con un contenido de humedad de 45 % para el Sondeo 2 (k0+400) a una profundidad de 0.25 m hasta 1.50 m, un contenido de humedad de 40 % para el Sondeo 3 (k0+600) a una profundidad de 0.00 m hasta 1.00 m, humedad del 40 %, un contenido de humedad de 30 % para el Sondeo 3 (k0+600) a una profundidad de 1.00 m hasta 1.50 m y para el Sondeo 4 (k0+800) a una profundidad de 0.15 m hasta 0.66 m.
- ✓ Dependiendo de la resistencia necesaria, se deja una carta de correlación para los estratos de estudio, donde se puede apreciar el porcentaje de cemento y la resistencia a la compresión esperada, se aprecia un aumento de manera lineal.
- ✓ Para hacer la estabilización con cemento, el índice de plasticidad no debe ser superior al 30 %, ideal para suelos con pasante tamiz 200 del 3.5 al 5 %.
- ✓ El cemento es un material más fino que los suelos de estudio, se adhiere y envuelve las partículas, la pasta los cementa en su punto de contacto generando mayor impermeabilidad, debido a este proceso los cambios volumétricos por presencia de agua se reducen.
- ✓ Al aumentar el porcentaje de cemento se debe hacer un aumento en el porcentaje de humedad, debido a que el

cemento tiene una reacción que libera calor, por lo que se produce una pérdida en el porcentaje de humedad. Los porcentajes se tiene en cuenta por peso de muestra.

## **2.2. Marco conceptual**

En esta sección se elabora una revisión bibliográfica de los conceptos generales que han sido empleados en el informe técnico, se ha hecho uso de Normas Técnicas Peruanas vigentes, Manual de Carreteras EG 2013, Manual de Ensayo de materiales, trabajos de investigación y libros, los cuales son los siguientes:

### **2.2.1. Carretera de primera clase**

Son carreteras con un IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6.00 m hasta 1.00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

### **2.2.2. Carretera de segunda clase**

Son carreteras con un IMDA entre 4 000 y 2 001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

### **2.2.3. Subrasante**

Es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La sub rasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que

se construye entre el terreno natural allanada o explanada y la estructura del pavimento.

La Corona, parte superior del terraplén comprendida entre el nivel superior del cuerpo y el nivel de subrasante, construida con un espesor de 30 cm que los planos del proyecto o las especificaciones especiales indiquen un espesor diferente. Limitaciones en la ejecución de la subrasante; la construcción solo llevara a cabo cuando no exista presencia de precipitaciones pluviales y a temperatura ambiental no sea inferior a 6 °C.

#### **2.2.4. Suelos Inadecuados**

Se define como suelos inadecuados, a los suelos orgánicos, turbas, suelos blandos y todo suelo que no cumpla con los requerimientos expresados en algunas Especificaciones técnicas EG-2000 resultantes con el diseño de Pavimento con la versión de la AASHTO-93.

Para una adecuada calificación de los suelos de subrasante donde se requiera realizar el mejoramiento de la subrasante se tendrá en cuenta los siguientes aspectos físicos y mecánicos:

- Según las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000), todo material de subrasante deberá tener como Índice de Plasticidad un valor menor a 10 %.
- Los suelos con humedades mayores a la óptima no pueden ser compactados según métodos constructivos estándar considerados en las presentes Especificaciones del MTC-2000.
- La calidad de la Subrasante es definida según la Clasificación de Suelos AASHTO de amplio uso internacional.
- Los Suelos pueden ser evaluados de acuerdo a las tablas de Terzaghi y Casagrande en función al material pasante en la malla N° 200. también de amplio conocimiento internacional, por la susceptibilidad al congelamiento.
- Con relación a la materia orgánica, las normas AASHTO y ASTM de identificación de suelos, para este caso solo indican procedimientos visuales o cualitativos sobre la base del color y olor.

Se puede complementarse con pruebas de laboratorio como se procede en muchos casos.

- Empleo del índice de Consistencia que se define como una relación entre el Límite Líquido, la Humedad Natural y el Índice Plástico del material permitiendo así de calificar el suelo en diferentes estados entre el sólido y el líquido.

#### **2.2.5. Características de suelos inadecuados**

Índice de Plasticidad : <10%

Tipo de suelo : A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3

#### **2.2.6. Pavimento**

Es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformado por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura.

#### **2.2.7. Análisis granulométrico de suelos por tamizado MTC E 107**

Es un método operativo que tiene por objetivo determinar los porcentajes de suelo que pasan los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200), asimismo se referencia a la normativa ASTM D 422 (Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils).

##### **➤ Equipos**

Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (N° 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).

Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de  $110 \pm 5$  °C.

##### **➤ Materiales**

Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:



**Tabla N° 12: Tamices para Granulometría**

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

➤ **Muestra**

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado.

El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla 12:

**Tabla N° 13: Relación tamaño máximo - peso**

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

➤ **Procedimiento**

Análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4,760 MM (N° 4).

Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) en una serie de fracciones usando los tamices de:

**Tabla N° 14: Tamices hasta N° 4**

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N° 4	4,760

O los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.

En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz

individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.

Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

#### **2.2.8. Determinación del contenido de humedad de un suelo MTC E 108**

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Este modo operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ \*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua.

**Nota 1.** (\*) El secado en horno siguiendo en método (a  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ ) no da resultados confiables cuando el suelo contiene yeso u otros minerales que contienen gran cantidad de agua de hidratación o cuando el suelo contiene cantidades significativas de material orgánico. Se pueden obtener valores confiables del contenido de humedad para los suelos, secándose en un horno a una temperatura de  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  o en un desecador a temperatura ambiente.

Asimismo, se referencia a la normativa ASTM D 2216 (Standard Test Method of laboratory Determination of wáter (Moisteru) content of soil ando rock.

##### ➤ **Equipos**

**Horno de secado.** - Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- **Balanzas.** - De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones:

De 0,01 g para muestras de menos de 200 g

De 0,1 g para muestras de más de 200 g.

- **Materiales**

Recipientes. - Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio

de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.

- **Muestra**

Las muestras serán preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D 4220-89 (Practices for Preserving and Transporting Soil Sample), Grupos de suelos B, C ó D. Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre aproximadamente 3 y 30 °C y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor.

La determinación del contenido de humedad se realizará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles: (tales como: tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) o bolsas plásticas.

#### **2.2.9. Determinación de limite liquido de los suelos MTC E 110**

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos véase anexos de clasificación de este manual. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la

compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los límites líquido y plástico de un suelo pueden utilizarse con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que  $2\mu\text{m}$  para determinar su número de actividad. El límite líquido de un suelo que contiene cantidades significativas de materia orgánica decrece dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes de ser ensayado. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después del secado al horno puede por consiguiente ser usada como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica de un suelo

#### **2.2.10. Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P) MTC E 111**

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos (véase anexos de clasificación (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase

especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los plásticos de un suelo pueden utilizarse con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino

que 2µm para determinar su número de actividad. Asimismo, se referencia a la NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Para el cálculo de índice de plasticidad con el que marquen las especificaciones respectivas, se puede decir si un determinado suelo presenta las características adecuadas para cierto uso.

$$IP = LL - LP$$

#### **2.2.11. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado) MTC E 115**

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).

**Nota 1.** Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

**Nota 2.** El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945. La prueba de Esfuerzo Modificado es a veces referida como Prueba de Compactación de Proctor Modificado.

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾" pulg).

**Nota 3.** Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 19,0 mm (¾ pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción que pasa la malla de 19,0 mm (¾ pulg), ver ensayo ASTM D 4718.

Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

#### **2.2.12. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía estándar (Proctor estándar) MTC E 116**

Este método de ensayo cubre los procedimientos de compactación en el laboratorio que se utilizan para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde con un diámetro de 101,6mm (12 400 pie<sup>2</sup>/pie<sup>3</sup>).

**Nota 1.** El equipo y los procedimientos son similares a los propuestos por R.R. Proctor (Engineering News Record, 7 de septiembre de 1933) con la excepción principal, que los golpes del pisón fueron referidos como “12 pulgadas de golpes firmes” en lugar de caída libre produciendo un esfuerzo variable de compactación dependiendo del operador, pero probablemente en el rango de 700 a 1,200 kN-m/m<sup>3</sup> (15 000 a 25 000 pie-lbf/ft<sup>3</sup>). El ensayo de esfuerzo estándar es a veces referido como el Ensayo de compactación Proctor Estándar.

**Nota 2.** Las mezclas de suelos o de suelos agregados se les consideran como suelos finos, o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales, o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tal como el limo o piedra partida.

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (<sup>3</sup>/<sub>4</sub>” pulg).

**Nota 3.** Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% o menos en peso de material retenido en la malla 19,0 mm (<sup>3</sup>/<sub>4</sub> pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción que pasa la malla de 19,0 mm (<sup>3</sup>/<sub>4</sub> pulg), ver ensayo ASTM D 4718.

Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el

método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

### **2.2.13. CBR de suelos (laboratorio) MTC E 132**

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible.

Para aplicaciones donde el efecto del agua de compactación sobre el CBR es mínimo, tales como materiales no-cohesivos de granos gruesos, o cuando sea permisible para el efecto de diferenciar los contenidos de agua de compactación en el procedimiento de diseño, el CBR puede determinarse al óptimo contenido de agua de un esfuerzo de compactación especificado. El peso unitario seco especificado es normalmente el mínimo porcentaje de compactación permitido por la especificación de compactación de campo de la entidad usuaria.

Para aplicaciones donde el efecto del contenido de agua de compactación en el CBR es desconocido o donde se desee explicar su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, generalmente el rango de contenido de agua permitido para la compactación de campo por la especificación de compactación en campo de la entidad usuaria.

Los criterios para la preparación del espécimen de prueba con respecto a materiales cementados (y otros) los cuales recuperan resistencia con el tiempo, deben basarse en una evaluación geotécnica de ingeniería. Según sea dirigido por un ingeniero, los mismos materiales cementado deberán ser curados adecuadamente hasta que puedan medirse las relaciones de soporte que representen las condiciones de servicio a largo plazo.

Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.



Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad, usando un equipo modificado. Asimismo, hacer referencia a la Normativa ASTM D 1883: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.

**Tabla N° 15: Tabla de penetración para Laboratorio**

Milímetros	Pulgadas
0,63	0,025
1,27	0,050
1,90	0,075
2,54	0,100
3,17	0,125
3,81	0,150
5,08	0,200
7,62	0,300
10,16	0,400
12,70	0,500

Asimismo, con el resultado del C.B.R. se puede clasificar el suelo usando la siguiente tabla que indica el empleo que puede dársele al material por lo que C.B.R. se refiere:

**Tabla N° 16: Clasificación de la subrasante según C.B.R.**

C.B.R.	CLASIFICACION
0 – 5	Subrasante muy mala
5 – 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular a buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Subbase buena
50 – 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

Serán estudiados para la determinación de la CBR de la subrasante, las capas superficiales de terreno natural o capa de la plataforma en relleno, constituida por los últimos 1.50 m de espesor debajo del nivel

de la subrasante proyectada, salvo que los planos del proyecto o las especificaciones especiales indiquen un espesor diferente.

La subrasante correspondiente al fondo de las excavaciones en terreno natural o de la última capa del terraplén, será clasificada en función al CBR representativo para diseño, en una de las cinco categorías siguientes:

**Tabla N° 17: Clasificación de la subrasante C.B.R. – (MTC)**

Clasificación	CBR <sub>diseño</sub>
S <sub>0</sub> : Subrasante muy pobre	< 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante pobre	3% - 5%
S <sub>2</sub> : Subrasante regular	6 - 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante buena	11 - 19%
S <sub>4</sub> : Subrasante muy buena	> 20%

#### 2.2.14. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades física de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporaciones y productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio, cuando se estabiliza una subbase granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como subbase granular o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc).

➤ **Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos**

Se considera como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con CBR > 6%. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un estudio especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el ingeniero responsable analizará diversas alternativas de estabilización o de

solución, como: estabilización mecánica, reemplazo del suelo de cimentación, estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo, estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros), pedraplenes, capas de arena, elevar la rasante o cambiar el trazo vial si las alterativas analizadas resultan ser demasiado costosas y complejas.

### 2.2.15. Compresibilidad del suelo

Entendemos por compresibilidad a la propiedad que tienen algunos suelos de cambiar su forma o volumen cuando les aplican cargas externas.

En suelos gravosos cuando se les aplica cargas externas hay una deformación en su esqueleto sólido inclusive existe quiebra de sus granos finos habiendo variación en sus volúmenes y por eso debemos de tener presente los siguientes 03 casos:

- **Compresión** : Cuando hay disminución de volumen
- **Dilatación** : Cuando hay aumento de volumen
- **Deformación** : Cuando el suelo cambia de forma sin variar su volumen.

Para arcillas normalmente consolidadas el valor de  $C_c$  puede ser estimado, en forma aproximada, utilizando la expresión siguiente:

$$C_c = 0.009(LL - 10\%)$$

Según **Carlos Crespo Villalaz**, en su texto *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, muestra un cuadro en el cual determina el grado de Compresibilidad de un suelo en función del Índice de Compresibilidad:

**Tabla N° 18: Tabla de Índice de Consistencia**

<b><math>C_c</math></b>	<b>Compresibilidad</b>
0.00 - 0.19	Baja
0.20 - 0.39	Media
0.40 - 0.60	Alta

Con esta expresión podemos calcular inmediatamente la Compresibilidad de un suelo en el cual se considera como

inadecuado cuando el índice de compresibilidad ( $C_c$ ) es mayor o igual a 0.20.

#### **2.2.16. Clasificación de suelos**

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Estos son el sistema de clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

##### **➤ Sistema de clasificación AASHTO**

Este sistema de clasificación de desarrollado en 1929 como el Public Road Administration Classification System (Sistema de clasificación de la Oficina de Caminos Públicos).

El Sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) y el Unified Soil Classification System (También ASTM). El sistema de clasificación AASHTO se usa principalmente para clasificación de las capas de carreteras. No se usa en la construcción de cimentaciones.

De acuerdo con la actual forma de este sistema, los suelos pueden clasificarse según ocho grupos principales, A-1 al A-8, en base a su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos comprendidos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son de grano fino.

La turba, el lodo y otros suelos altamente orgánicos quedan clasificados en el grupo A- 8. Éstos son identificados por inspección visual.

Para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para subrasante de un camino, se desarrolló también un número denominado índice de grupo. Entre mayor es el valor de

índice de grupo para un suelo, será menor el uso del suelo como subrasante. Un índice de grupo de 20 o más indica un material muy pobre para ser usado al respecto. La fórmula para el índice de grupo GI es:

$$GI = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10)$$

Dónde: F200 = por ciento que pasa la malla n° 200, expresado como un número entero

LL = límite líquido

PI = índice de plasticidad

Al calcular el índice de grupo para un suelo de los grupos A-2-6 o A-2-7, use sólo la ecuación de índice de grupo parcial relativa al índice de plasticidad:

$$GI = 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10)$$

**Tabla N° 19: Clasificación de suelos - AASHTO**

Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0.08 mm							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.08 mm				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico												
% que pasa por el tamiz de :												
2 mm	máx 50											
0,5 mm	máx 30	máx 50	min. 50									
0,08 mm	máx 15	máx 25	máx 10	máx 35	máx 35	máx 35	máx 35	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35
Límites Atterberg												
Límite de liquidez				máx. 40	min. 40	máx. 40	min. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	min. 40	min. 40
Índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6		máx. 10	máx. 10	min. 10	min. 10	máx. 10	máx. 10	min. 10	min. 10	min. 10
											IP≤LL-30	IP>LL-30
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx. 4	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20	máx. 20
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como subrasante	De excelente a bueno						De pasable a malo					

➤ **Sistema Unificado de Clasificación (S.U.C.S.)**

La forma original de este sistema fue propuesta por Casagrande e 1942 para usarse en la construcción de aeropuerto emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En cooperación con la Oficina de Restauración de Estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952. Hoy en día, es ampliamente usado por los ingenieros.

**Tabla N° 20: Clasificación de suelos – S.U.C.S.**

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos orgánicos y arcilla	Turba y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduados	Mal graduados

En el Sistema Unificado, los siguientes símbolos se usan como identificación.

La carta de plasticidad nos muestra el procedimiento para determinar los símbolos de grupo para varios tipos de suelo. Al clasificar un suelo se debe proporcionar el nombre del grupo que describe generalmente al suelo, junto con el símbolo respectivo. Las siguientes tablas respectivamente, dan los criterios para obtener los nombres de grupos para suelo de grano grueso, para suelo inorgánico de grano fino y para suelo orgánico de grano fino. Esas tablas se basan en la designación D-2487 de la ASTM.

**Gráfico N° 05: Carta de plasticidad**

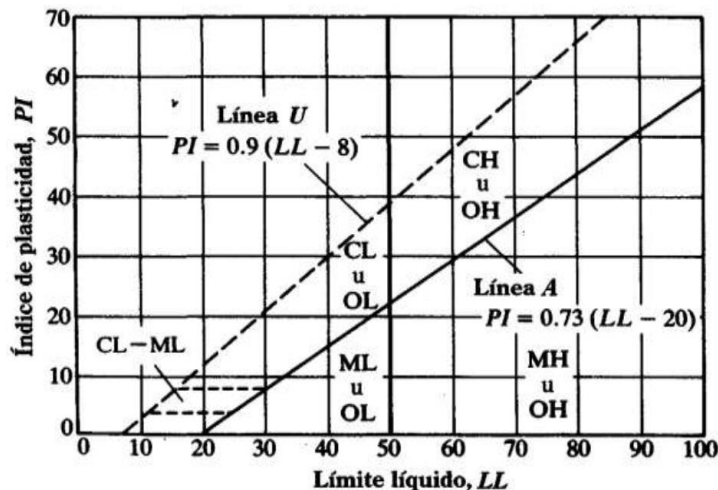


Tabla N° 21: Símbolos de grupos según S.U.C.S.

División principal	Criterios	Símbolo de grupo
Suelo de grano grueso, $R_{200} > 50$ Suelo con grava, $R_4 > 0.5R_{200}$	$F_{200} < 5, C_u \geq 4, 1 \leq C_c \leq 3$	GW
	$F_{200} < 5, C_u < 4$ y/o $C_c$ no entre 1 y 3	GP
	$F_{200} > 12, PI < 4$ , o límites de Atterberg debajo de la línea A (figura 1.7)	GM
	$F_{200} > 12, PI > 7$ , y límites de Atterberg en o arriba de la línea A (figura 1.7)	GC
	$F_{200} > 12, LL < 50, 4 \leq PI \leq 7$ , y límites de Atterberg en o arriba de la línea A	GCGM*
	$5 \leq F_{200} \leq 12$ ; cumple los criterios de graduación de GW y los criterios de plasticidad de GM	GW-GM*
	$5 \leq F_{200} \leq 12$ ; cumple los criterios de graduación de GW y los criterios de plasticidad de GC	GW-GC*
	$5 \leq F_{200} \leq 12$ ; cumple los criterios de graduación de GP y los criterios de plasticidad de GM	GPGM*
	$5 \leq F_{200} \leq 12$ ; cumple los criterios de graduación de GP y los criterios de plasticidad de GC	GPGC*
	Suelo arenoso, $R_4 \leq 0.5R_{200}$	$F_{200} < 5, C_u \geq 6, 1 \leq C_c \leq 3$
$F_{200} < 5, C_u < 6$ , y/o $C_c$ no entre 1 y 3		SP
$F_{200} > 12, PI < 4$ , o límites de Atterberg debajo de la línea A (figura 1.7)		SM
$F_{200} > 12, PI > 7$ , y límites de Atterberg sobre o arriba de la línea A (figura 1.7)		SC
$F_{200} > 12, LL > 50, 4 \leq PI \leq 7$ , y límites de Atterberg sobre o arriba de la línea A (figura 1.7)		SCSM*
$5 \leq F_{200} \leq 12$ ; cumple los criterios de graduación de SW y los criterios de plasticidad de SM		SW-SM*
$5 \leq F_{200} \leq 12$ ; cumple los criterios de graduación de SW y los criterios de plasticidad de SC		SW-SC*
$5 \leq F_{200} \leq 12$ ; cumple los criterios de graduación de SP y los criterios de plasticidad de SM		SP-SM*
$5 \leq F_{200} \leq 12$ ; cumple los criterios de graduación de SP y los criterios de plasticidad de SC		SP-SC*
Suelo de grano fino (inorgánico), $R_{200} \leq 50$		$PI < 4$ , o límites de Atterberg debajo de la línea A (figura 1.7)
	$PI > 7$ , y límites de Atterberg sobre o arriba de la línea A (figura 1.7)	CL
	$4 \leq PI \leq 7$ , y límites de Atterberg arriba de la línea A (figura 1.7)	CL-ML*
	Límites de Atterberg debajo de la línea A (figura 1.7)	MH
	Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (figura 1.7)	CH
Suelo de grano fino (orgánico)		
	Limo orgánico y arcilla, $LL < 50$	$\frac{LL_{100 \text{ secado en horno}}}{LL_{\text{secado en horno}}} < 0.75$
Limo orgánico y arcilla, $LL \geq 50$	$\frac{LL_{10 \text{ secado en horno}}}{LL_{\text{secado en horno}}} < 0.75$	OH

Nota:  $F_{200}$  = por ciento que pasa la malla no. 200;  $R_{200}$  = por ciento retenido en la malla no. 200;  $R_4$  = por ciento retenido en la malla no. 4;  $C_u$  = coeficiente de uniformidad;  $C_c$  = coeficiente de graduación;  $LL$  = límite líquido;  $PI$  = índice de plasticidad; límites de Atterberg basados en la fracción menos no. 40.

\* Caso en la frontera; clasificación doble.

Tabla N° 22: Nombres de grupos según S.U.C.S. – Suelo grano grueso

Criterios			
Símbolo de grupo	Fracción de grava (%)	Fracción de arena (%)	Nombre del grupo
GW		<15	Grava bien graduada
		≥15	Grava bien graduada con arena
GP		<15	Grava mal graduada
		≥15	Grava mal graduada con arena
GM		<15	Grava limosa
		≥15	Grava limosa con arena
GC		<15	Grava arcillosa
		≥15	Grava arcillosa con arena
GC-GM		<15	Grava arcillo limosa
		≥15	Grava arcillo limosa con arena
GW-GM		<15	Grava bien graduada con limo
		≥15	Grava bien graduada con limo y arena
GW-GC		<15	Grava bien graduada con arcilla
		≥15	Grava bien graduada con arcilla y arena
GP-GM		<15	Grava mal graduada con limo
		≥15	Grava mal graduada con limo y arena
GP-GC		<15	Grava mal graduada con arcilla
		≥15	Grava mal graduada con arcilla y arena
SW	<15		Arena bien graduada
		≥15	Arena bien graduada con grava
SP	<15		Arena mal graduada
		≥15	Arena mal graduada con grava
SM	<15		Arena limosa
		≥15	Arena limosa con grava
SC	<15		Arena arcillosa
		≥15	Arena arcillosa con grava
SM-SC	<15		Arena arcillo limosa
		≥15	Arena arcillo limosa con grava
SW-SM	<15		Arena bien graduada con limo
		≥15	Arena bien graduada con limo y grava
SW-SC	<15		Arena bien graduada con arcilla
		≥15	Arena bien graduada con arcilla y grava
SP-SM	<15		Arena mal graduada con limo
		≥15	Arena mal graduada con limo y grava
SP-SC	<15		Arena mal graduada con arcilla
		≥15	Arena mal graduada con arcilla y grava

Nota: Fracción de arena = por ciento de suelo que pasa la malla no. 4 pero se retiene sobre la malla no. 200 =  $R_{200}$   
-  $R_4$ ; fracción de grava = por ciento de suelo que pasa la malla de 3 pulg pero se retiene en la malla no. 4 =  $R_4$ .



Tabla N° 23: Nombres de grupos según S.U.C.S. – Suelo grano fino  
- inorgánico

Símbolo de grupo	Criterios			Nombre del grupo	
	Fracción de arena	Fracción de grava	Fracción de arena		
	$R_{200}$	de grava	de arena		
CL	<15			Arcilla delgada	
	15 a 29	$\geq 1$		Arcilla delgada con arena	
		<1			Arcilla delgada con grava
	$\geq 30$	$\geq 1$	<15		Arcilla delgada arenosa
		$\geq 1$	$\geq 15$		Arcilla delgada arenosa con grava
		<1		<15	Arcilla delgada con mucha grava
	<1		$\geq 15$	Arcilla delgada con mucha grava y con arena	
ML	<15			Limo	
	15 a 29	$\geq 1$		Limo con arena	
		<1			Limo con grava
	$\geq 30$	$\geq 1$	<15		Limo arenoso
		$\geq 1$	$\geq 15$		Limo arenoso con grava
		<1		<15	Limo con mucha grava
	<1		$\geq 15$	Limo con mucha grava y con arena	
CL-ML	<15			Arcilla limosa	
	15 a 29	$\geq 1$		Arcilla limosa con arena	
		<1			Arcilla limosa con grava
	$\geq 30$	$\geq 1$	<15		Arcilla limosa arenosa
		$\geq 1$	$\geq 15$		Arcilla limosa arenosa con grava
		<1		<15	Arcilla limosa con mucha grava
	<1		$\geq 15$	Arcilla limosa gravosa con arena	
CH	<15			Arcilla gruesa	
	15 a 29	$\geq 1$		Arcilla gruesa con arena	
		<1			Arcilla gruesa con grava
	$\geq 30$	$\geq 1$	<15		Arcilla gruesa arenosa
		$\geq 1$	$\geq 15$		Arcilla gruesa arenosa con grava
		<1		<15	Arcilla gruesa con mucha grava
	<1		$\geq 15$	Arcilla gruesa con mucha grava y con arena	
MH	<15			Limo elástico	
	15 a 29	$\geq 1$		Limo elástico con arena	
		<1			Limo elástico con grava
	$\geq 30$	$\geq 1$	<15		Limo elástico arenoso
		$\geq 1$	$\geq 15$		Limo elástico arenoso con grava
		<1		<15	Limo elástico con mucha grava
	<1		$\geq 15$	Limo elástico con mucha grava y con arena	

*Nota:*  $R_{200}$  = por ciento de suelo retenido en la malla no. 200; fracción de arena = por ciento de suelo que pasa la malla no. 4 pero se retiene en la malla no. 200 =  $R_{200} - R_4$ ; fracción de grava = por ciento de suelo que pasa la malla de 3 pulg pero se retiene en la malla no. 4 =  $R_4$ .

Tabla N° 24: Nombres de grupos según S.U.C.S. – Suelo grano fino  
- orgánico

Símbolo de grupo	Plasticidad	$R_{200}$	Criterios			Nombre del grupo	
			Fracción de arena				
			Fracción de grava	Fracción de grava	Fracción de arena		
OL	PI $\geq$ 4 y límites de Atterberg en o arriba de la línea A	<15	$\geq$ 1			Arcilla orgánica	
			<1			Arcilla orgánica con arena	
		$\geq$ 30	$\geq$ 1	<15		Arcilla orgánica con grava	
			$\geq$ 1	$\geq$ 15		Arcilla orgánica arenosa	
			<1		<15	Arcilla orgánica arenosa con grava	
		PI < 4 y límites de Atterberg debajo de la línea A	<15	<1		<15	Arcilla orgánica con mucha grava
				<1		$\geq$ 15	Arcilla orgánica con mucha grava y con arena
	$\geq$ 30		$\geq$ 1	<15		Limo orgánico	
			$\geq$ 1	$\geq$ 15		Limo orgánico con arena	
	OH	Límites de Atterberg en o arriba de la línea A	<15	$\geq$ 1			Limo orgánico con grava
				<1			Limo orgánico con grava
			$\geq$ 30	$\geq$ 1	<15		Limo orgánico arenoso
				$\geq$ 1	$\geq$ 15		Limo orgánico arenoso con grava
				<1		<15	Limo orgánico con mucha grava
Límites de Atterberg debajo de la línea A			<15	<1		$\geq$ 15	Limo orgánico con mucha grava y con arena
				<1			Arcilla orgánica
		$\geq$ 30	$\geq$ 1	<15		Arcilla orgánica con arena	
			$\geq$ 1	$\geq$ 15		Arcilla orgánica con grava	
Límites de Atterberg debajo de la línea A		<15	$\geq$ 1			Arcilla orgánica arenosa	
			<1			Arcilla orgánica arenosa con grava	
		$\geq$ 30	$\geq$ 1	<15		Arcilla orgánica arenosa con grava	
			$\geq$ 1	$\geq$ 15		Arcilla orgánica arenosa con grava	
			<1		<15	Arcilla orgánica con mucha grava	
	Límites de Atterberg debajo de la línea A	<15	<1		$\geq$ 15	Arcilla orgánica con mucha grava y con arena	
			<1			Limo orgánico	
Límites de Atterberg debajo de la línea A	$\geq$ 30	$\geq$ 1			Limo orgánico con arena		
		<1			Limo orgánico con grava		
Límites de Atterberg debajo de la línea A	$\geq$ 30	$\geq$ 1	<15		Limo orgánico arenoso		
		$\geq$ 1	$\geq$ 15		Limo orgánico arenoso con grava		
Límites de Atterberg debajo de la línea A	$\geq$ 30	<1		<15	Limo orgánico con mucha grava		
		<1		$\geq$ 15	Limo orgánico con mucha grava y con arena		

Nota:  $R_{200}$  = por ciento de suelo retenido en la malla no. 200; fracción de arena = por ciento de suelo que pasa la malla no. 4 pero se retiene en la malla no. 200 -  $R_{200}$  -  $R_4$ ; fracción de grava = por ciento de suelo que pasa la malla de 3 pulg pero se retiene en la malla no. 4 =  $R_4$ .

### 2.2.17. Suelos expansivos

El potencial de expansión se determina a partir de los siguientes métodos indirecto: Índices de consistencia, humedad o clasificación del suelo, Limite de Contracción, Índice Plástico, % de partículas menores a una micra (ensayo de sedimentación).

Holtz y Gibbs (1996) demostraron que el Índice de plasticidad y el límite líquido son índices de utilidad para determinar las características de expansión de la mayoría de las arcillas, en ese sentido el criterio para determinar el potencial de expansión de las arcillas existentes en el informe es el Índice de Plasticidad, el cual se compara con la siguiente tabla:

**Tabla N° 25: Criterio de Suelos Expansivos**

INDICE DE PLASTICIDAD (%)	POTENCIAL DE EXPANSION (%)
Mayor de 37%	Muy Alto
17 – 37	Alto
12 – 17	Medio
Menor de 12	Bajo

### 2.2.18. Método de AASHTO 93

La aplicación del Método AASHTO-72 se mantuvo hasta mediados del año 1983, cuando se determinó que, aun cuando el procedimiento que se aplicaba alcanzaba sus objetivos básicos, podían incorporársele algunos de los adelantos logrados en los análisis y el diseño de pavimentos que se habían conocido y estudiado desde ese año 1972. Por esta razón, en el período 1984-1985 el Subcomité de Diseño de Pavimentos junto con un grupo de Ingenieros Consultores comenzó a revisar el "Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO-72", y a finales del año 1986 concluye su trabajo con la publicación del nuevo "Manual de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO '86", y sigue una nueva revisión en el año 1993, por lo cual, hoy en día, el método se conoce como Método AASHTO-93.

Lo cambios más importantes considerados en la actualización de este método son los siguientes:

Incorporación de un "Factor de Confiabilidad" -fundamentado en un posible cambio del tráfico a lo largo del período de diseño, que permite al Ingeniero Proyectista utilizar el concepto de análisis de riesgo para los diversos tipos de facilidades viales a proyectar.

Sustitución del Valor Soporte del Suelo (Si), por el Módulo Resiliente (Método de Ensayo AASHTO T274), el cual proporciona un procedimiento de laboratorio racional, o mejor aún de carácter científico que se corresponde con los principios fundamentales de la teoría elástica para la determinación de las propiedades de resistencia de los materiales.

Empleo de los módulos resilientes para la determinación de los coeficientes estructurales, tanto de los materiales naturales o procesados, como de los estabilizados.

Establecimiento de guías para la construcción de sistemas de sub-drenajes, y modificación de las ecuaciones de diseño, que permiten tomar en cuenta las ventajas que resultan, sobre el comportamiento de los pavimentos, como consecuencia de un buen drenaje.

Sustitución del "Factor Regional" -valor indudablemente bastante subjetivo- por un enfoque más racional que toma en consideración los efectos de las características ambientales, tales como humedad y temperatura, sobre las propiedades de los materiales.

El método AASHTO-93 está basado en la determinación del Número Estructural "SN" sobre la capa subrasante o cuerpo del terraplén, que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto.

A continuación, se describe las variables que se consideran en el método AASHTO-93.

➤ **Numero estructural (SN)**

Para el cálculo del Número Estructural "SN" se dispone del Ábaco de diseño AASHTO y de la ecuación siguiente:

$$\text{Log}W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \text{Log}M_R - 8.07$$

Donde:

$W_{18}$  = Trafico equivalente o ESAL.

$Z_R$  = Factor de desviación normal para un nivel de confiabilidad  $R$ .

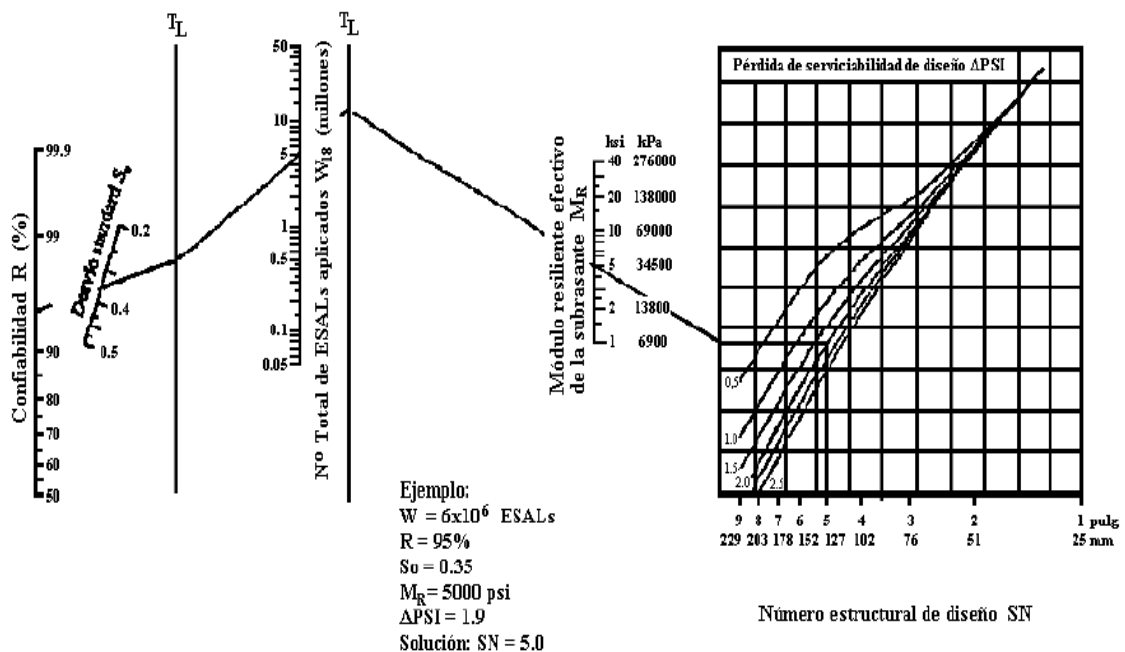
$S_0$  = Desviación estándar.

$\Delta PSI$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

$M_R$  = Modulo de resiliencia efectivo de la subrasante.

$SN$  = Numero estructural.

**Gráfico N° 06: Abaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles.**



### 2.2.19. Módulo de Resiliencia ( $M_R$ )

El módulo de resiliencia ( $M_R$ ) es una medida de la rigidez del suelo de la subrasante, el cual para su cálculo se empleará la ecuación, que correlaciona con el CBR, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide).

$$M_R (\text{psi}) = 2555 \times \text{CBR} (0.64)$$

### 2.2.20. Índice de Serviciabilidad

Se define el Índice de Serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento. Inicialmente esta condición se cuantificó a través de la opinión de los conductores, cuyas respuestas se tabulaban en la escala de 5 a 1:

**Tabla N° 26: Índice de Serviciabilidad**

Índice de serviciabilidad (PSI)	Calificación
5 – 4	Muy buena
4 – 3	Buena
3 – 2	Regular
2 – 1	Mala
1 - 0	Muy mala

### 2.2.21. Confiabilidad y Desviación estándar

El nivel de confianza o confiabilidad es uno de los parámetros importantes introducidos por la AASHTO al diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las sollicitaciones exteriores.

La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo las sollicitaciones de carga e intemperismo, o la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles. Para elegir el valor de este parámetro se considera la importancia del camino, la confiabilidad de la resistencia de cada una de las capas y el tránsito de diseño pronosticado.

**Tabla N° 27: Valores del nivel de confianza R de acuerdo al tipo de camino**

<b>Tipo de Camino</b>	<b>Zonas urbanas</b>	<b>Zonas rurales</b>
Autopista	85 – 99.9	80 – 99.9
Carreteras de primer orden	80 – 99	75 – 95
Carreteras secundarias	80 – 95	75 – 95
Caminos vecinales	50 - 80	50 - 80

La esquematización del comportamiento real del pavimento y la curva de diseño propuesta por la AASHTO tienen la misma forma, pero no coinciden. La falta de coincidencia se debe a los errores asociados a la ecuación de comportamiento propuesta y a la dispersión de la información utilizada en el dimensionamiento del pavimento. Por esta razón la AASHTO adoptó un enfoque regresional para ajustar estas dos curvas. De esta forma los errores se representan mediante una desviación estándar  $S_o$ , para compatibilizar los dos comportamientos. El factor de ajuste entre las dos curvas se define como el producto de la desviación normal  $Z_R$ , por la desviación estándar  $S_o$ . Los factores de desviación normal  $Z_R$  se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 28: Factores de desviación estándar**

<b>Confiabilidad</b>	<b><math>Z_R</math></b>	<b>Confiabilidad</b>	<b><math>Z_R</math></b>
50	0	92	-1.405
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327

El rango de desviación estándar sugerido por AASHTO se encuentra entre los siguientes valores:

$$0,40 \leq S_o \leq 0,50 \quad (S_o = \text{Desviación estándar})$$

### 2.2.22. Coeficiente de drenaje (Cd)

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año.

Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 29: Capacidad de drenaje**

Calidad del Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser Evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drenada

De acuerdo a las capacidades de drenaje AASHTO establece los factores de corrección  $m^2$  (bases) y  $m^3$  (sub-bases granulares sin estabilizar), los cuales están dados en el siguiente cuadro, en función del porcentaje de tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

**Tabla N° 30: Valores “m” para modificar los coeficientes estructurales o de capa de base y subbase sin tratamiento en pavimentos flexibles**

Condición del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos de 1 %	1 – 5 %	5- 25%	Más de 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.2
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.8
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.6
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.4



### 2.2.23. Mejoramiento de suelos de subrasante

Los mejoramientos de suelos de la subrasante se analizarán teniendo en cuenta los siguientes criterios geotécnicos:

- Suelos de baja capacidad portante (CBR < 6%)
- Suelos compresibles
- Suelos expansivos (suelos de alta y muy alta expansión)
- Suelos con contenido de humedad natural mayor al O.C.H.

De acuerdo al Manual de Suelos y Pavimentos 2013, se considerarán como materiales aptos para las capas de subrasante, suelos con  $CBR \geq 6\%$ , en caso de ser menor (Subrasante pobre o subrasante inadecuado) se procederán a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán de solución de acuerdo a la naturaleza del suelo.

Para poder determinar la categoría de subrasante pobre o subrasante inadecuado, los úselos de la explanación debajo del nivel superior de la subrasante, deberán tener un espesor mínimo de 0.60 m del material correspondiente a la categoría asignada, caso contrario se asigna a la categoría inmediata e calidad inferior, según recomendación del Manual de Suelos y Pavimentos 2013.

En general, se recomienda que cuando se presenten subrasante clasificadas como muy pobre y pobre (CBR < 6%), se proceda a eliminar el material inadecuado y a colocar un material granular de reemplazo con CBR mayor a 10% e IP menor a 10; con lo cual se permite el uso de una amplia gama de materiales naturales locales de bajo costo, que cumplan la condición. La función principal de esta capa mejorada será dar resistencia a la estructura del pavimento.

Tal como se indicó el Número Estructural (SN), según AASHTO está dado por la siguiente ecuación:

$$SN_0 = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

Se añade a la ecuación SN la capa de subrasante mejorada, expresada en términos de  $(a_4 \times D_4 \times m_4)$ , tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$SN_r = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 + a_4 \times D_4 \times m_4$$

$$SN_r = SN_o + a_4 \times D_4 \times m_4$$

Donde:

**a4:** Coeficiente estructural de la capa de subrasante mejorada, se recomiendan los siguientes valores:

**Tabla N° 31: Valores para el coeficiente estructural**

CBR	Valor de coeficiente a4
6 % – 10%	0.024
11% - 19%	0.030
>= 20%	0.037
Subrasante muy pobre y pobre a una subrasante regular, con adición mínima de 3% de cal en peso de los suelos.	0.035

**D4:** Espesor de la capa de subrasante mejorada (cm).

**m4:** Coeficiente que refleja el drenaje de la capa de subrasante.

Con los valores determinados a4 y m4, se puede calcular el espesor efectivo D4 de la subrasante mejorada, con la siguiente expresión:

$$D_4 = \frac{SN_r - SN_o}{a_4 \times m_4}$$

Donde:

SNr: Número estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena, según se requiera mejorar.

SNo: Número estructural del pavimento con subrasante muy pobre o pobre.

#### 2.2.24. Modelo de BOUSSINESQ

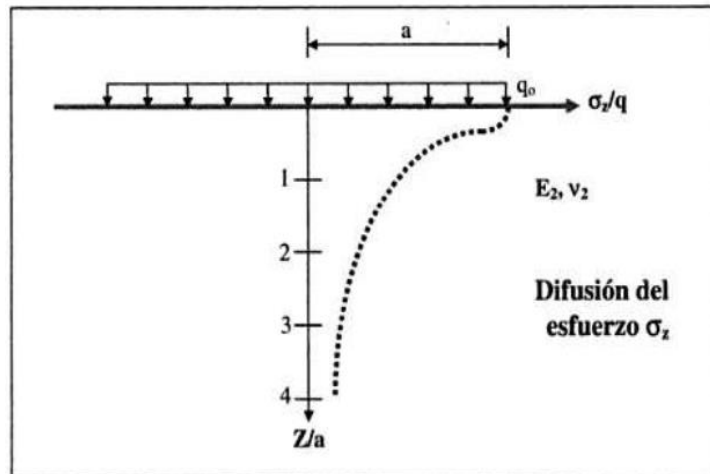
La presión ejercida por un neumático ( $q_0$ ) es del orden de 0,2 a 0,7 MPa, el cual es un valor elevado para que lo soporte el suelo natural; por tal razón la calzada debe repartir esta presión para llevarla a un

nivel tolerable a través de modelos que trabajan las siguientes hipótesis:

La carga aplicada a la calzada se esquematiza por una presión  $q_0$  sobre un círculo de radio.

El suelo soporte se supone elástico con módulo de Young  $E_2$ , relación de Poisson  $\nu_2$ . Este suelo sólo puede resistir, sin deformarse exageradamente, un esfuerzo vertical admisible ( $\sigma_z$ ) ad, inferior a la presión  $q_0$ .

**Gráfico N° 07: Difusión del esfuerzo  $\sigma_z$**



Se busca que a una profundidad  $H$  del suelo la presión vertical esté suficientemente difusa para no sobrepasar el esfuerzo vertical admisible ( $\sigma_z$ ) ad. Boussinesq resolvió este problema al proponer que a una profundidad  $z$  el esfuerzo vertical  $\sigma_z$  es igual a:

$$\sigma_z = q_0 \left[ 1 - \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left(1 + \left(\frac{z^2}{a^2}\right)\right)^{\frac{3}{2}}}\right]$$

Por ejemplo, si se supone que a nivel del suelo soporte el esfuerzo vertical admisible ( $\sigma_z$ ) ad es igual a  $q_0/10$ , el espesor  $H$  está dado por  $\sigma_z/q_0=0,1$ .

$$\sigma_z = q_o \left[ 1 - \frac{\left(\frac{H}{a}\right)^3}{\left(1 + \left(\frac{H^2}{a^2}\right)\right)^{\frac{3}{2}}}\right]$$

Al reemplazar y despejar la formula tenemos:

$$\frac{\sigma_z}{q_o} = \left[ 1 - \frac{\left(\frac{H}{a}\right)^3}{\left(1 + \left(\frac{H^2}{a^2}\right)\right)^{\frac{3}{2}}}\right]$$

$$\frac{1}{10} = \left[ 1 - \frac{\left(\frac{H}{a}\right)^3}{\left(1 + \left(\frac{H^2}{a^2}\right)\right)^{\frac{3}{2}}}\right]$$

$$\frac{H}{a} = 3,7$$

A partir de esta hipótesis de Boussinesq, se concluye que:

- El  $\sigma_z$  es proporcional a  $q_o$  independiente del módulo  $E_2$  del masivo.
- El espesor  $H$  de la calzada es proporcional al radio del círculo de carga.
- Si el esfuerzo admisible  $\sigma_z$  sobre el masivo es muy pequeño comparado con la presión aplicada  $q_o$ , se conduce a adoptar espesores muy altos.
- Se puede asimilar el valor de  $H$  al valor de la calzada asimilando  $H'$  a  $H$  o  $E_1$  a  $E_2$ .
- El módulo  $E_1$  del cuerpo granular de la capa será superior al módulo  $E_2$  del suelo de soporte, por lo que el espesor  $H'$  que se debe dar a la calzada será:

$$H' = f\left(\frac{E_1}{E_2}\right) \times H \text{ o } f\left(\frac{E_1}{E_2}\right) \leq 1$$

La determinación de la función f supone la utilización de modelos de bicapas (Burmister).

El valor del módulo de Young de la capa granular es aproximadamente de dos a cuatro veces el valor del módulo de Young del suelo soporte ( $E_1=2$  a  $4E_2$ ).

### 2.2.25. Módulo de Elástico (E)

El módulo elástico también se conoce como módulo de Young en honor a Thomas Young, quien publicó el concepto a principios del siglo XVIII. Un material es elástico si puede volver a su tamaño o forma original después de ser estirado o exprimido (siempre y cuando la aplicación o la acción no deforme permanentemente el material).

Casi todos los materiales son elásticos hasta cierto punto, y la elasticidad, junto con la forma geométrica, es parte de la flexibilidad de un objeto. Un módulo de elasticidad puede calcularse para cualquier material sólido y es la relación del esfuerzo a la deformación.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

E: Modulo de Elasticidad

$\sigma$ : Esfuerzo

$\varepsilon$ : Deformación

Un concepto clave a recordar es que el módulo de elasticidad no es lo mismo que la fuerza. La resistencia se mide por la tensión necesaria para romper un material, mientras que las medidas de elasticidad como de bien un material vuelven a su forma original. Cuanto menor sea el MPa o kPa (pascal), más elástico el objeto o tipo de suelo es.

Otras correlaciones que se pueden utilizar para determinar este parámetro, basados en el ensayo CBR, que es de relativamente fácil ejecución, a comparación de otros ensayos que pueden resultar mucho más costosos, son:

$$E_{SR} = 100 * CBR \quad (Kg/cm^2)$$

$$E_{SR} = 130 * CBR^{0.714} \quad (Kg/cm^2)$$

$$E_{SR} = 10 * CBR \quad (MPa)$$

Para suelos blandos con CBR < 10 %

$$E_{SR} = 6.5 * CBR^{0.65} \quad (MPa)$$

$$E_{SR} = 5 * CBR \quad (MPa)$$

### 2.2.26. Esfuerzo vertical admisible ( $\sigma$ )

El esfuerzo vertical admisible se puede definir como la cantidad de esfuerzo a la que puede ser sometido un suelo debido a la repetición de carga por acción del tránsito, esto para el caso específico de cimentación de carreteras.

Dicho esfuerzo se encuentra directamente relacionado con el módulo de elasticidad del suelo y con el número de repeticiones de carga admisible por este suelo, en ese contexto los límites admisibles se pueden obtener con las ecuaciones que se muestran a continuación:

$$\sigma_z = \frac{C * E_{SR}}{1 + 0.7 * \log_{10} N} \quad (Kg/cm^2)$$

Donde:

$\sigma_z$  = Esfuerzo Vertical Admisible

CBR = Relación de Soporte California (%)

N = Numero Admisible de Repeticiones de carga

C = 0.008 (Jeuffroy)

C = 0.007 (Dormon & Herhoven)

C = 0.006 (ACUM & FOX)

### **2.2.27. Recomendaciones del Estado de Colorado (USA)**

Los suelos que son excesivamente expansivos deben recibir una consideración especial. Una solución es cubrir estos suelos con una profundidad suficiente de material selecto para superar los efectos negativos de la expansión. Los suelos expansivos a menudo pueden mejorarse mediante compactación a contenidos de agua sobre el óptimo. En otros casos, puede ser más económico para el tratamiento de suelos expansivos mediante la estabilización con un agente adecuado de estabilización, tal como cal.

Un tratamiento de suelos expansivos se realiza mediante el siguiente método sub excavación. Sub excavando el suelo expansivo (densas lutitas inalteradas secos y arcillas densas secos) y rellenándolo con suelo impermeable al 95 por ciento de la densidad máxima seca muy por encima de su óptimo contenido de humedad, en conformidad con la Denominación AASHTO T 99. Este tratamiento se debe realizar a través de la zona de corte y las transiciones de corte para llenar hasta que la profundidad del relleno es aproximadamente igual a la profundidad de tratamiento.

En el tratamiento de suelos expansivos es para ser utilizado como una guía para determinar la profundidad de tratamiento revisado por el Departamento de Carreteras Memo # 323 Colorado, (Construcción) Hinchazón de Suelos, 01/05/1966. Actuaciones en la interestatal y Sistema Nacional de Carreteras requerirán tratamiento de suelos expansivos. El tratamiento puede tomar la forma de sub excavación y reemplazarlo con suelo impermeable o sub excavación y recompactado con control de humedad de la misma tierra.

**Tabla N° 32: Espesor para tratamiento de suelos expansivos –  
carreteras principales**

<b>Índice de Plasticidad</b>	<b>Profundidad de tratamiento por debajo del nivel de la Subrasante</b>
10 – 20	0.60 m
20 – 30	0.90 m
30 – 40	1.20 m
40 – 50	1.50 m
Más de 50	1.80 m

**Tabla N° 33: Espesor para tratamiento de suelos expansivos –  
carreteras secundarias**

<b>Índice de Plasticidad</b>	<b>Profundidad de tratamiento por debajo del nivel de la Subrasante</b>
10 – 30	0.60 m
30 – 50	0.90 m
Más de 50	1.20 m



## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1. Tipo de estudio**

En el presente trabajo de suficiencia profesional se utilizó el tipo de estudio aplicado, debido que su finalidad principal es dar solución al problema que presenta las calles de la localidad de Rosario que es su baja capacidad pórtate del suelo esto se pretende solucionar mediante APLICACIÓN DE CAL EN LA SUB RASANTE PARA EVALUAR LA TRANSITABILIDAD EN EL DISTRITO DE ROSARIO - ACOBAMBA – HUANCVELICA

#### **3.2. Nivel de estudio**

El nivel de estudio del presente trabajo de suficiencia profesional es el descriptivo correlacional, debido que en una primera fase se describen los problemas observados en campo, para en una posterior etapa se busque la relación entre las variables del problema para la determinación de los espesores de mejoramiento de la subrasante.

#### **3.3. Diseño de estudio**

En el presente trabajo de suficiencia profesional se empleó el diseño experimental ya que en el laboratorio se manipulará la variable el cual consiste en las diferentes dosificaciones de cal con la finalidad de

encontrar una dosificación ideal y de esta manera determinar el espesor de la subrasante.

### **3.4. Técnica e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **3.4.1. Técnica de recolección de datos**

- Entrevistas
- La encuesta
- La observación
- Revisión bibliográfica

#### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

- Entrevista focalizada
- Ficha de encuesta
- Observación experimental en campo
- Libros, normas

#### **3.4.3. Análisis de datos**

- Excel
- Word
- AutoCAD Civil 3D

## **CAPITULO IV**

### **DESARROLLO DEL INFORME**

En el presente informe técnico, se ha realizado el estudio de toda la vía existente para evaluar la transpirabilidad en el distrito de rosario – acombaba – Huancavelica

Analizar las características físico-mecánicas de los suelos que conforman la sub rasante del área de estudio, tales como Índice Plástico, Clasificación del Suelo, Índice de Consistencia, Índice de Liquidez, Suelos expansivos, Suelos Compresibles y Capacidad de Portante del suelo (en relación al CBR de Diseño).

Para ello, antes que pueda realizarse las explanaciones, se realizó una inspección visual de campo del estado situacional de la vía existente, pudiendo comprobar que la vía se encuentra casi a nivel de terreno natural, presenta características de suelos no competentes, y resultaría que no cumplirá con la estabilidad y periodo de vida útil del diseño de pavimento de la nueva vía a construir.

Tomando como principio técnico del proyecto, recomienda eliminar el material inadecuado y a colocar un material granular de reemplazo con CBR mayor a 25% e IP menor a 10%, gran parte de estos suelos naturales presenta características tipo de suelo arcilloso, limo arcilloso, limo arenoso de

consistencia muy blanda a dura con humedad de media a alta, compresibilidad media a alta y baja capacidad de soporte.

#### **4.1. Resultados**

##### **4.1.1 Materiales equipos y recursos empleados para el análisis de suelos**

###### **➤ Materiales**

Laboratorio de mecánica de suelos (GEOLUMAS SAC)

Material de Oficina (papel, lapicero, etc.)

Material bibliográfico de libros

Laptop Toshiba

Impresora EPSON L1300

Cámara fotográfica Samsung

###### **➤ Equipos**

Equipo del laboratorio de mecánica de suelos

###### **➤ Recursos humanos**

Co-Asesor (Ingeniero especialista en suelos y pavimentos)

Técnico de laboratorio de suelos

Auxiliar de laboratorio de suelos

##### **4.1.2 Evaluación estructural de la vía existente a nivel de subrasante**

###### **➤ Terreno**

- El terreno natural, en el cual se realizó una evaluación utilizando el método de prospección destructiva.

- Se ha ejecutado una calicata de 1.5 m por debajo de la subrasante proyectada y ubicada al lado derecho de la vía.

- El procedimiento empleado consistió en:

###### **➤ Trabajo en campo**

- Ejecución de sondaje con retroexcavadora según profundidad auscultada en campo.

- Muestreo de material propio y llevada a laboratorio de suelos, con estratigrafía hallada in situ.

###### **➤ Trabajo de gabinete o laboratorio**

- Análisis granulométrico por tamizado (MTC E 107)

- Humedad natural (MTC E 108)
- Límite líquido (MTC E110)
- Límite plástico e índice de plasticidad (MTC E111)
- Clasificación de suelos método S.U.C.S. y AASHTO
- Proctor modificado (MTC E 115)
- Valor relativo de soporte CBR (MTC E 132)

**Cuadro N° 03: Cuadro ENSAYO DE MECANICA DE SUELOS**

<b>NOMBRE DEL ENSAYO</b>	<b>USO</b>	<b>METODO AASHTO</b>	<b>ENSAYO ASTM</b>	<b>TAMAÑO MUESTRA</b>	<b>PROPOSITO DEL ENSAYO</b>
Análisis Granulométrico por Tamizado	CLASIFICACION	T88	D422	2.5 Kg.	Para determinar la distribución del tamaño de partículas
Contenido de Humedad	CLASIFICACION		D2216	2.5 Kg.	para determinar en contenido de humedad existente en el terreno
Límite Líquido	CLASIFICACION	T89	D4318	2.5 Kg.	hallar el contenido de agua entre los estados líquido y plástico
Límite Plastico	CLASIFICACION	T90	D4319	2.5 Kg.	hallar el contenido de agua entre los estados plásticos y sem solido

Índice Plástico	CLASIFICACION	T90	D4320	2.5 Kg.	hallar el rango de contenido de agua por encima del cual. El suelo está en un estado plástico
Compactación Proctor Modification	DISEÑO DE ESPESORES	T180	D1557	45 Kg	determinar la capacidad de soporte del terreno
CBR	DISEÑO DE ESPESORES	T193	D1883	45 Kg	determinar la capacidad de carga, permite inferir el módulo resiliente

Una vez teniendo las muestras en laboratorio se realizó los ensayos correspondientes descritos, de los cuales los resultados fueron los siguientes:

**Cuadro N° 04: CUADRO DE LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO**

	L. Liquido	L. Plástico
MUESTRA NATURAL + 0% DE CAL	20.2	10.85
MUESTRA NATURAL + 5% DE CAL	24.68	11.73
MUESTRA NATURAL + 10% DE CAL	25.93	14.42
MUESTRA NATURAL + 15% DE CAL	24.64	15.29
MUESTRA NATURAL + 20% DE CAL	21.66	15.9

#### 4.1.3 Determinación de los sectores para el cálculo de espesores

Para la determinación de los sectores a realizar el cálculo de espesores, se tomó en cuenta las características físico-mecánicas similares de los ensayos realizados de la calicata.

Al realizar el ensayo de la calicata, el CBR que se usa para proyectar, es el valor que se obtiene para una profundidad de 0.1 pulgadas. Como

el CBR de un agregado varía de acuerdo a su grado de compactación y el contenido de humedad, se debe repetir cuidadosamente en el laboratorio las condiciones del campo, para lo que se requiere un control minucioso. A menos que sea seguro que el suelo no acumulara humedad después de la construcción, los ensayos CBR se llevan a cabo sobre muestras saturadas

**Cuadro N° 05: Sectores de mejoramiento – CBR<6%**

	100%	95%
	C.B.R. A 0.1"	C.B.R. A 0.1"
MUESTRA NATURAL + 0% DE CAL	15.70	10.10
MUESTRA NATURAL + 5% DE CAL	18.20	13.00
MUESTRA NATURAL + 10% DE CAL	25.00	16.00
MUESTRA NATURAL + 15% DE CAL	28.30	18.30
MUESTRA NATURAL + 20% DE CAL	32.44	21.20

#### 4.1.4 Análisis granulométrico

**Cuadro N° 05: Resumen de clasificación – METODO**

#### **AASHTO, SUCS**

	Clasificación. SUCS	Clasificación. AASHTO	Contenido de humedad
MUESTRA NATURAL + 0% DE CAL	CL	A-6(6)	10.6%
MUESTRA NATURAL + 5% DE CAL	CL	A-6(8)	10.7%
MUESTRA NATURAL + 10% DE CAL	CL	A-6(10)	10.6%
MUESTRA NATURAL + 15% DE CAL	CL	A-6(10)	10.8%
MUESTRA NATURAL + 20% DE CAL	CL	A-6(10)	10.9%

Cuadro 5: se observa los resultados de la clasificación AASTHO, cabe resaltar que la variación es mínima del contenido de humedad frente a la dosificación de cal.

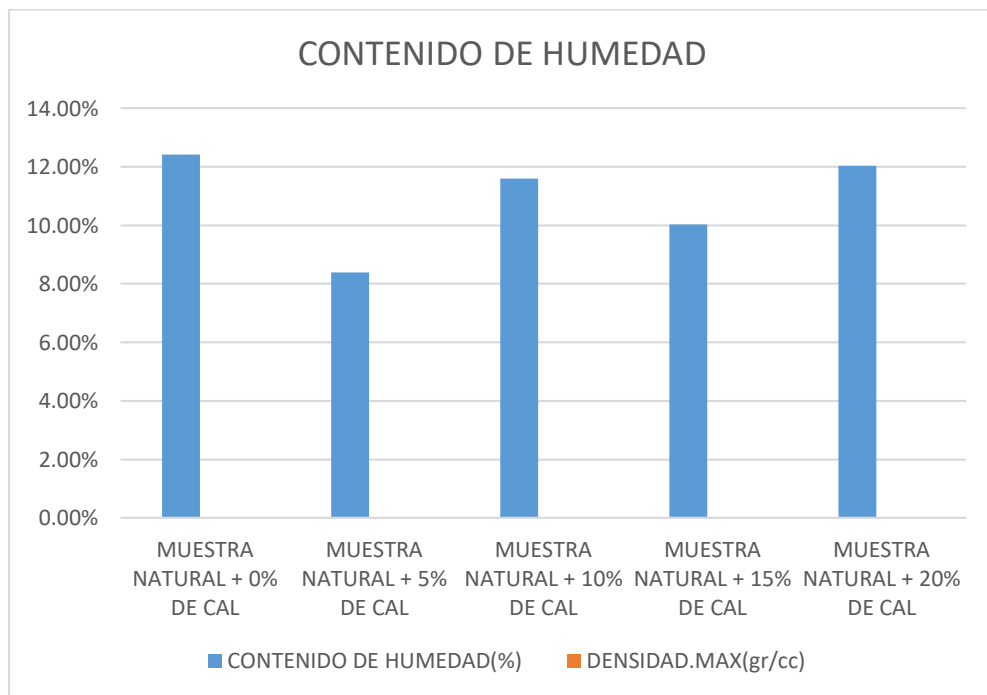
## METODO PROCTOR MODIFICADO

**Cuadro N° 07: Resumen de Contenido de humedad y densidad máxima**

	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD MAX. (gr/cc)
MUESTRA NATURAL + 0% DE CAL	12.42%	1.893 gr/cc
MUESTRA NATURAL + 5% DE CAL	8.40%	1.976 gr/cc
MUESTRA NATURAL + 10% DE CAL	11.60%	2.160 gr/cc
MUESTRA NATURAL + 15% DE CAL	10.04%	2.193 gr/cc
MUESTRA NATURAL + 20% DE CAL	12.03%	2.214 gr/cc

Cuadro 7: se observa los resultados del contenido de humedad versus la densidad máxima; cabe resaltar que la variación de la densidad es directamente proporcional al incremento de cal.

Diagrama de contenido de humedad

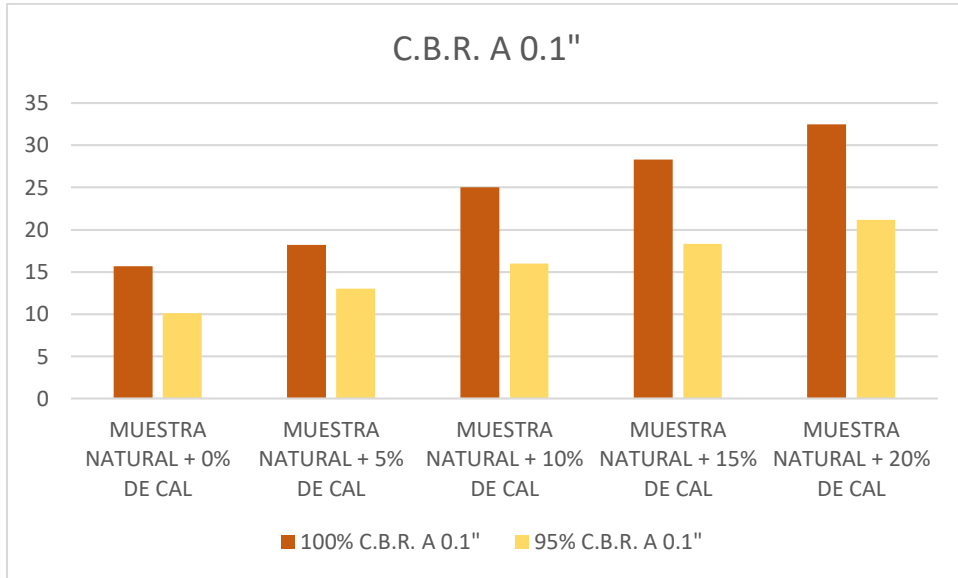


En esta tabla se representa la variación del contenido de humedad de acuerdo al porcentaje de cal dosificada.

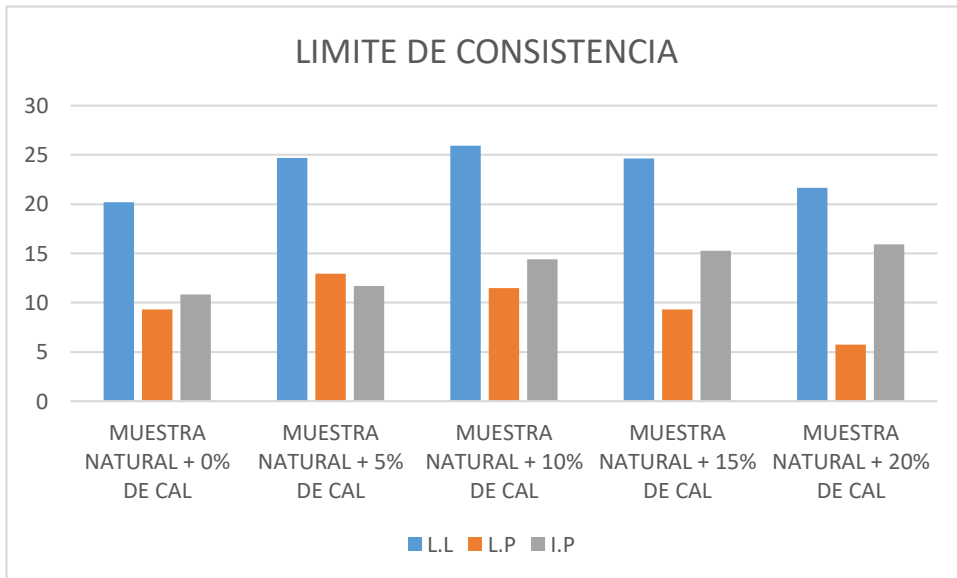
### 4.1.5 Resultados de análisis de CBR y límite consistencia

Diagrama de los resultados del CBR a 0.1





**Diagrama del Límite de consistencia**



#### 4.1.6 Costos de la dosificación de Cal

	CANTIDAD m <sup>3</sup>	KILOS	P. Unit.	PRECIO Total
MUESTRA NATURAL + 0% DE CAL	0.000	0.0000	0.7	S/ -
MUESTRA NATURAL + 5% DE CAL	113.4	113400	0.7	S/ 79,380.00
MUESTRA NATURAL + 10% DE CAL	226.8	226800	0.7	S/ 158,760.00
MUESTRA NATURAL + 15% DE CAL	340.2	340200	0.7	S/ 238,140.00
MUESTRA NATURAL + 20% DE CAL	453.6	453600	0.7	S/ 317,520.00

#### 4.2. Discusión de resultados

##### 4.2.1 Objetivo N° 1

**Realizar el estudio de la mecánica de suelos de la subrasante para evaluar la transitabilidad.**

Se concluye que:

Con la dosificación de cal se logró mejorar la capacidad portante del suelo de la capa de la subrasante; de acuerdo a los resultados de la mecánica de suelos que realizamos nos muestran que el límite líquido es de 18.37, su índice de plasticidad = 5.79, densidad máxima = 1.719, humedad = 10.30 y su CBR AL 100% =16.50, CBR AL 95% = 12.07

El ingeniero Cuadros, C. (2017). En su tesis: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO -MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN UNA VÍA AFIRMADA DE LA RED VIAL DEPARTAMENTAL DE LA REGIÓN JUNÍN MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA CON ÓXIDO DE CALCIO – 2016

Establece la siguiente conclusión:

La estabilización química con Óxido de Calcio influye positivamente en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante, ya que reduce el índice de plasticidad y aumenta significativamente el valor de soporte (C.B.R.) del suelo estabilizado respecto al suelo natural.

De esta conclusión se puede establecer que se coincide que la adición que los estabilizantes químicos logran mejorar la capacidad portante del suelo de la sub rasante.

#### **4.2.2 Objetivo N° 2**

**Determinar el porcentaje de la dosificación de la cal en el suelo de la subrasante para evaluar la transitabilidad.**

Se concluye que:

El porcentaje óptimo para la dosificación de cal de acuerdo a la interpretación de los ensayos será de 5% ya que con esta dosificación la subrasante se encuentra estabilizada

El ingeniero Cuadros, C. (2017). En su tesis: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO -MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN UNA VÍA AFIRMADA DE LA RED VIAL DEPARTAMENTAL DE LA REGIÓN JUNÍN MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA CON ÓXIDO DE CALCIO – 2016

Establece la siguiente conclusión:

Se determinó que el porcentaje óptimo de óxido de calcio al adicionar diversas proporciones (1%, 3%, 5% y 7%) para la estabilización del suelo en estudio es de 3% respecto al peso del suelo, mejorando así las propiedades del suelo de subrasante en estudio, dando como resultado la reducción del Índice de Plasticidad de un suelo natural con un IP de 19.08% a un IP de 4.17% posterior a su estabilización, asimismo redujo el óptimo contenido de humedad para su compactación de un 18.3% en suelo natural a un 15.6% posterior a su estabilización, además aumentó significativamente el valor de C.B.R. de un 4.85% para suelo natural a un valor de C.B.R de 15.64% posterior a su estabilización, categorizándolo como un material de subrasante buena, de acuerdo al Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” – Sección suelos y pavimentos, después de su estabilización.

De ambas conclusiones afirmamos que compartimos opinión debido que para realizar la mejora de un suelo se tiene que realizar diferentes dosificaciones con la finalidad de demostrar mediante pruebas como el CBR una dosificación optima.

### **4.2.3 Objetivo N° 3**

#### **Cálculo del espesor de la subrasante con la dosificación de cal para evaluar la transitabilidad.**

Se concluye que:

El espesor de la subrasante con la dosificación de cal será 0.30 m, con una dosificación de cal al 5% de cal.

El ingeniero Leyva, R. (2017). En su tesis: UTILIZACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN EL JR. AREQUIPA, PROGRESIVA KM 0+000 - KM 0+100, DISTRITO DE ORCOTUNA, CONCEPCIÓN.

Concluye que:

En el diseño estructural del pavimento flexible la calidad del material de la subrasante depende en gran medida de los espesores del pavimento siendo la sub base, base y carpeta asfáltica que se muestra en la tabla.

En tal sentido se puede establecer que para realizar el diseño estructural de un pavimento se tienen que realizar análisis tanto de las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

En tal sentido se comparte opinión con lo establecido.

### **4.2.4 Objetivo N° 3**

#### **Cuantificar los costos de la dosificación de la cal en el suelo de la subrasante para evaluar la transitabilidad**

Se concluye en:

El costo de la dosificación es de S/ 79,380.00 con este presupuesto se garantiza el mejoramiento de la subrasante para la transitabilidad de las calles en estudio.

El ingeniero Cuadros, C. (2017). En su tesis: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO -MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN UNA VÍA AFIRMADA DE LA RED VIAL DEPARTAMENTAL DE LA REGIÓN JUNÍN MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA CON ÓXIDO DE CALCIO – 2016.

En su conclusión establece que:

Se comparó los costos de la estabilización física por combinación de suelos y la estabilización química con Óxido de Calcio, dando como resultado una reducción del 44.41% de costos, entre estos dos métodos de estabilización de suelos. Queda demostrando la ventaja económica que tiene el uso del óxido de calcio como estabilizante químico frente al método conocido de estabilización física por combinación de suelos.

Del mismo modo cuando se propone el uso de un producto con la finalidad de mejorar la capacidad portante del suelo se realice un análisis de costo; en este sentido compartimos opinión con el ingeniero Cuadros.

## CONCLUSIONES

1. Con la dosificación de cal se logró mejorar la capacidad portante del suelo de la capa de la subrasante; de acuerdo a los resultados de la mecánica de suelos que realizamos nos muestran que el límite líquido es de 18.37, su índice de plasticidad = 5.79, densidad máxima = 1.719, humedad = 10.30 y su CBR AL 100% =16.50, CBR AL 95% = 12.07
2. El porcentaje óptimo para la dosificación de cal de acuerdo a la interpretación de los ensayos será de 5% ya que con esta dosificación la subrasante se encuentra estabilizada
3. El espesor de la subrasante con la dosificación de cal será 0.30 m, con una dosificación de cal al 5% de cal.
4. El costo de la dosificación es de S/ 79,380.00 con este presupuesto se garantiza el mejoramiento de la subrasante para la transitabilidad de las calles en estudio.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar correctamente los ensayos de mecánicas de suelos, porque de ellos dependerá los valores de los espesores que nos resultará con la aplicación de los métodos de cálculo.
2. Para la determinación de los sectores se debe homogenizar calicatas cercanas uno del otro, del mismo modo se debe trabajar en conjunto con un cadista, para no realizar calicatas en sectores de relleno.
3. De acuerdo a las características físicas-mecánicas que se tiene, es necesario el mejoramiento de suelo, porque el CBR es muy inferior al 6% que nos establece el Manual de Suelos y Pavimentos 2013.
4. Para la aplicación de los espesores adoptados se recomienda utilizar el espesor con mayor margen de seguridad, para evitar inconvenientes al momento de su ejecución en obra, cuando se presenta un vicio oculto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015). Expediente Técnico. “Mejoramiento y Rehabilitación de la carretera Mazamari – Pangoa – Cubantia”. Estudio de Ingeniería.
2. Braja, Das. (2001). Principio de Cimentaciones. Editorial Limusa. S.A. (4ta Edición). México.
3. Crespo, Villalaz (2004). Mecánica de Suelos. Editorial Limusa. S.A. (5ta Edición). México.
4. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. Lima. Perú.
5. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Manual de Carreteras. Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Lima. Perú.
6. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayos de Materiales. Lima. Perú.
7. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008). Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Lima. Perú.
8. Department of Transportation (2015). M-E- Pavement Design Manual. State of Colorado, U.S.A.
9. Antonio, Arenas (2017). Análisis comparativo de los métodos (AASHTO 93, Boussinesq, Ábacos de Colorado), para el cálculo del espesor de mejoramiento de subrasante en la carretera Dv. Las Vegas – Tarma, provincia de Tarma – región Junín.



# ANEXOS

- Resumen general de calicatas realizadas (Anexo 01)
- Resumen de ensayos para mejoramiento de subrasante (Anexo 02)
- Sectores de mejoramiento – CBR <6% (Anexo 03)
- Método AASHTO 93 (Anexo 04)
- Método de Boussinesq (Anexo 05)
- Método de Abaco del Estado de Colorado (Anexo 06)
- Según Expediente Técnico (Anexo 07)
- Análisis y comparación de resultados (Anexo 08)

2019

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

# ENSAYO DE CBR

TERRENO NATURAL + 5%, 10%, 15%, 20%  
DE CAL.

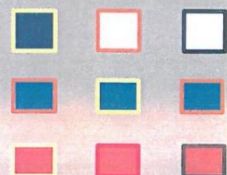
ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

“APLICACIÓN DE CAL EN LA SUB RASANTE  
PARA EVALUAR LA TRANSITABILIDAD EN  
EL DISTRITO DE ROSARIO – ACOBAMBA –  
HUANCAVELICA”

BACH./ING CIVIL JUAN BARRIENTOS SEDANO



LABORATORIO DE  
MECANICA DE SUELOS  
N° 01  
GEOLUMAS SAC





## INDICE

### 1. GENERALIDADES

- 1.1. Introducción
- 1.2. Objetivo
- 1.3. Datos Generales

### 2. TRABAJOS EJECUTADOS-ESTUDIO GEOTECNICO

- 2.1.- Exploración de Campo
- 2.2.- Ensayos De Laboratorio
- 2.3.- Características del Subsuelo.
- 2.4.- Perfil del suelo.
- 2.5.- Ensayos De Mecánica De Suelos
- 2.6.- Perfiles del suelo (perfiles estratigráficos)
- 2.7.- Ensayos de Mecánica de Suelos
- 2.8.- Propiedades Físicas
  - 2.8.1.- Análisis Granulométrico Por Tamizado (Curvas Granulométricas)
  - 2.8.2.- Limite Líquido y Limite Plástico
  - 2.8.3.- Contenido de Humedad Natural
  - 2.8.4.- Clasificación de Suelos Método SUCS y AASHTO
- 2.9.- Propiedades Mecánicas
  - 2.9.1.- Ensayo de Densidad de Campo
  - 2.9.2.- Ensayo de Próctor Modificado
  - 2.9.3.- California Bearing Ratio – CBR

### 3.0. RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

### 4.0. PERFIL ESTRATIGRAFICO

### 5.0. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

  
GEOLUMAS SAC  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Duñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145415  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGIA



## **ESTUDIO DE SUELOS**

### **ESTUDIO DE C.B.R. (California Bearing Ratio)**

#### **NORMA ASTM D 1883-73**

#### **PROYECTO:**

**“APLICACIÓN DE CAL EN LA SUB RASANTE PARA EVALUAR LA TRANSITABILIDAD EN EL DISTRITO DE ROSARIO – ACOBAMBA – HUANCVELICA”**

#### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TRANSPORTE Y URBANISMO**

#### **1.- GENERALIDADES:**

El Estudio de CBR del proyecto “APLICACIÓN DE CAL EN LA SUB RASANTE PARA EVALUAR LA TRANSITABILIDAD EN EL DISTRITO DE ROSARIO – ACOBAMBA – HUANCVELICA”. es parte del presente estudio.

#### **1.1. INTRODUCCION:**

Los trabajos de mecánica de suelos se han desarrollado con la finalidad de investigar las características del suelo que permitan establecer los criterios de diseño de la vía. Los trabajos se desarrollaron en tres etapas; inicialmente los trabajos correspondientes al relevamiento de información, ejecutados directamente en el campo; posteriormente los trabajos que evalúan las características de los materiales involucrados en el proyecto; y finalmente el procesamiento de toda la información recopilada que permita establecer los parámetros de diseño. Los trabajos de campo se orientaron a explorar la superficie de rodadura y el sub suelo (sub rasante), mediante la ejecución de calicatas distribuidas en el área en estudio. Se



intensas originando un aumento de caudal de los ríos, Teniendo un clima Templado Moderado Lluvioso (Cw), según la distribución de Koppen W

## 2.- TRABAJOS EJECUTADOS-ESTUDIO GEOTECNICO

### 2.1.- Exploración de Campo

Con la finalidad de identificar y realizar la evaluación geotécnica del suelo de la sub rasante existente a lo largo del trazo, se llevó a cabo un programa de exploración de campo, excavación de calicata y recolección de muestra para ser ensayada en el laboratorio. En total se excavó 01 pozo "a cielo abierto", los que se denominan:

**C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL**

Coincidiendo la ubicación con la progresiva existente . La profundidad alcanzada en las perforaciones mencionadas es de 1.50 m. por debajo de la sub rasante proyectada y ubicada al lado derecho de la vía en estudio.

En cada calicata se registró el perfil estratigráfico del suelo de la sub rasante, clasificando visualmente los materiales mediante el procedimiento de campo establecido por el sistema Unificado de Clasificación de suelos (S.U.C.S.). Cuando se detectó la presencia de cambios de las características de los materiales encontrados en la excavación, se tomó una muestra representativa para la evaluación e identificación correspondiente.

De cada estrato de suelo identificado, se tomaron muestras representativas, las que convenientemente identificadas, fueron empaquetadas

  
**GEOLUMAS SAC**  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145416  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGIA

JR 28 DE OCTUBRE N° 429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRION)  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO.  
RUC. 20568764995

CEL 968111156, RPM #968111156  
CEL 971337776, RPM #971337776



en bolsas de polietileno y trasladadas al laboratorio para efectuar ensayos de sus características físicas y mecánicas.

Sobre la base de la clasificación visual de los suelos, se elaboró un perfil estratigráfico preliminar del tramo el cual permitió determinar secciones de características similares, escogiéndose puntos representativos generales y específicos, los generales para determinar las características de los suelos predominantes y similares en las calicatas escogidas, y los específicos para determinar las características mecánicas de los suelos de sub rasante. Las calicatas se realizaron manualmente con pala y pico a un costado de la vía en estudio, no ha sido necesario realizar prospecciones a menor distancia dado que las características del terreno han permanecido homogéneas.

Se extrajeron muestras de cada estrato de las calicatas para su evaluación en laboratorio. Con los resultados obtenidos de los análisis en laboratorio, se determinó el perfil estratigráfico de la carretera el cual describe la ubicación de las calicatas efectuadas así como la descripción del material encontrado en cada una de ellas.

**(Ver Anexo : Perfil Estratigráfico)**

## 2.2.- ENSAYOS DE LABORATORIO

Se realizaron los ensayos por cada variación estratigráfica en base a los Términos de Referencia y en conformidad con las especificaciones dadas a la normativa de E.050; suelos y características, y C.010 pavimento urbanos del RNE. Los trabajos de laboratorio permitieron

JR 28 DE OCTUBRE N° 429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRION)  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO.  
RUC. 20568764995

  
GEOLUMAS SAC  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145318  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGIA  
CEL 968111156, RPM #968111156  
CEL 971337776, RPM #971337776



evaluar las propiedades de los suelos mediante ensayos físicos, mecánicos y químicos de las muestras disturbadas de suelo, provenientes de cada una de las exploraciones. Las muestra se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la Empresa GEOLUMAS S.A.C, bajo la supervisión del Ingeniero Especialista de Suelos y Pavimentos, y de técnicos de laboratorio, cuyos resultados se presenta en el Anexo I, Ítem: "Resultado de Ensayos de Laboratorio".

### 2.3.- CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO

Se ejecutó las respectivas exploraciones, en toda la longitud del Proyecto Total, del cual se han muestreado para su estudio físico y mecánico del suelo. La característica del subsuelo es que presenta en un primer nivel (h=0.20 m promedio) material de cantera seleccionado (caliche), para siguientes niveles (1.50 mts), presenta capas de limos arcillosos, gravas arcillosas, gravas limosas, subsuelo de buena capacidad de soporte. Un regulara a alto, que no necesita mejoramiento en la sub rasante o subsuelo, según los estudios de suelos realizados.

### 2.4.- PERFIL DEL SUELO.

La elaboración del perfil estratigráfico requiere de una clasificación de materiales que se obtiene mediante análisis y ensayos en laboratorio sobre las muestras extraídas en el campo. La interpretación de los resultados obtenidos ha permitido clasificar los suelos, definir los horizontes de material homogéneo y establecer el Perfil.

JR 28 DE OCTUBRE N° 429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRION)  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO.  
RUC. 20568764995

  
GEOLUMAS SAC.  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145418  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGIA  
CEL 968111156, RPM #968111156  
CEL 971337776, RPM #971337776



El perfil estratigráfico del área de estudio, es homogéneo en toda el área del proyecto compuesto por arcillas limosas, de baja capacidad de soporte, (ver anexo perfil estratigráfico)

**2.6.- PERFILES DEL SUELO (PERFILES ESTRATIGRAFICOS).**

El perfil estratigráfico del área de estudio, es homogéneo en toda el área del proyecto compuesto por arcillas limosas de media plasticidad, arenas arcillosas, mezcla de grava y arena, (ver anexo perfil estratigráfico)

**2.7.- ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS**

El Cuadro "Ensayos de Mecánica de Suelos" se presentan los diferentes ensayos realizados, describiendo el propósito de cada uno.





**CUADRO  
ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS**

NOMBRE DEL ENSAYO	USO	METODO AASHTO	ENSAYO ASTM	TAMAÑO MUESTRA	PROPOSITO DEL ENSAYO
Análisis Granulométrico por Tamizado	Clasificación	T88	D422	2.50 Kg.	Para determinar la Distribución del tamaño de partículas del suelo.
Contenido de Humedad	Clasificación		D2216	2.50 Kg.	Para determinar en contenido de humedad existente en el terreno.
Limite liquido	Clasificación	T89	D4318	2.50 Kg.	Hallar el contenido de agua entre los estados Liquido y Plástico
Limite Plástico	Clasificación	T90	D4318	2.50 Kg.	Hallar el contenido de agua Entre los estados plásticos y sem solidó.
Índice Plástico	Clasificación	T90	D4318	2.50 Kg.	Hallar el rango de contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico.
Compactación Próctor Modificado	Diseño de Espesores	T180	D1557	45.0 Kg.	Determinar la capacidad de soporte del terreno
CBR	Diseño de Espesores	T193	D1883	45.0 Kg.	Determinar la capacidad de carga, Permite inferir el módulo resiliente.

**2.8.- PROPIEDADES FISICAS:**

En cuanto a los ensayos considerados, se puede realizar una breve explicación de los ensayos y los objetivos de cada uno de ellos. Cabe anotar que los ensayos físicos corresponden a aquellos que determinan las propiedades índices de los suelos y que permiten su clasificación.

  
GEOLUMAS SAC  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145416  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGÍA

JR 28 DE OCTUBRE N° 429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRION)  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO.  
RUC. 20568764995

CEL 968111156, RPM #968111156  
CEL 971337776, RPM #971337776



### 2.8.1.- Análisis Granulométrico Por Tamizado (Curvas Granulometricas)

La granulometría es la distribución de las partículas de un suelo de acuerdo a su tamaño, que se determina mediante el tamizado o paso del agregado por mallas de distinto diámetro hasta el tamiz N° 200 (de diámetro 0.074 milímetros), considerándose el material que pasa dicha malla en forma global. Para conocer su distribución granulométrica por debajo de ese tamiz se hace el ensayo de sedimentación. El análisis granulométrico deriva en una curva granulométrica, donde se plotea el diámetro de tamiz versus porcentaje acumulado que pasa o que retiene el mismo, de acuerdo al uso que se quiera dar al agregado.

### CUADRO DE ANALISIS GRANULOMETRICO

TEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	CLASIFICACION
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML., JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL	C-1	M-1	CL

### 2.8.2.- Limite Liquido (ASTM D-423) y Limite Plástico (ASTM D-424)

Se conoce como plasticidad de un suelo a la capacidad de este de ser moldeable. Esta depende de la cantidad de arcilla que contiene el material que pasa la malla N° 200, porque es este material el que actúa como ligante. Un material, de acuerdo al contenido de humedad que tenga, pasa por tres estados definidos: líquidos, plásticos y secos. Cuando el agregado tiene determinado contenido de humedad en la cual se encuentra húmedo de modo que no puede ser moldeable, se dice que está en estado semilíquido. Conforme se le va quitando agua, llega un momento en el que el suelo, sin dejar de estar húmedo,

JR 28 DE OCTUBRE N° 429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRION)  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO.  
RUC. 20568764995

**GEOLUMAS SAC.**  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145416  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO Y ASFALTO. GEOLOGÍA  
RPM #968111156  
CEL. 971337776. RPM #971337776



comienza a adquirir una consistencia que permite moldearlo o hacerlo trabajable, entonces se dice que está en estado plástico. Al seguir quitando agua, llega un momento en el que el material pierde su trabajabilidad y se cuartea al tratar de moldearlo, entonces se dice que está en estado semi seco. El contenido de humedad en el cual el agregado pasa del estado semilíquido al plástico es el Limite Líquido (ASTM D-4318), y el contenido de humedad es el que pasa del estado plástico al semi seco es el Limite Plástico (ASTM D-4318).

**CUADRO DE LÍMITE LÍQUIDO Y PLASTICO**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	CLASIFICACION	CLASIFICACION
	PROG.	TR	M	L. LIQUIDO	I. PLASTICO
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL	C-1	M-1	20.20	10.85
2	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 5% CAL.	C-1	M-2	24.68	11.73
3	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 10% CAL.	C-1	M-3	25.93	14.42
4	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 15% CAL.	C-1	M-2	24.64	15.29
5	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 20% CAL.	C-1	M-3	21.66	15.90

  
GEOLUMAS SAC.  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145415  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGÍA

JR 28 DE OCTUBRE N° 429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRION)  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO.  
RUC. 20568764995

CEL 968111156, RPM #968111156  
CEL 971337776, RPM #971337776



**RESUMEN DE PROCTOR MODIFICADO**

**TERRENO NATURAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	PROCTOR	
				MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO DE HUMEDAD
	PROG.	TR	M		
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL	C-1	M-1	1.893	12.42

**TERRENO NATURAL + 5% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	PROCTOR	
				MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO DE HUMEDAD
	PROG.	TR	M		
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 5% CAL.	C-1	M-2	1.976	8.40

**TERRENO NATURAL + 10% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	PROCTOR	
				MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO DE HUMEDAD
	PROG.	TR	M		
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 10% CAL.	C-1	M-2	2.160	11.60

  
GEOLUMAS SAC  
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Duenas  
ABESOR TECNICO #IP 145416  
ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS,  
CONCRETO, GEOTECNIA Y GEOLGIA



**TERRENO NATURAL + 15% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	PROCTOR	
				MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO DE HUMEDAD
	PROG.	TR	M		
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 15% CAL.	C-1	M-2	2.193	10.04

**TERRENO NATURAL + 20% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	PROCTOR	
				MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO DE HUMEDAD
	PROG.	TR	M		
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 20% CAL.	C-1	M-2	2.214	12.03

**2.9.3.- California Bearing Ratio – CBR (ASTM D-1883)**

El Índice de California (CBR) es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad, cuidadosamente controladas. Se usa en el proyecto de pavimentos flexibles auxiliándose de curvas empíricas. Se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón a la misma profundidad en una muestra de tipo piedra partida. Los valores de carga unitaria para las diferentes profundidades de penetración dentro de la muestra patrón están determinados.

El CBR que se usa para proyectar, es el valor que se obtiene para una



profundidad de 0.1 pulgadas. Como el CBR de un agregado varía de acuerdo a su grado de compactación y el contenido de humedad, se debe repetir cuidadosamente en el laboratorio las condiciones del campo, para lo que se requiere un control minucioso. A menos que sea seguro que el suelo no acumulara humedad después de la construcción, los ensayos CBR se llevan a cabo sobre muestras saturadas.

**CUADRO C.B.R.**

**TERRENO NATURAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	C.B.R. a 0.1"	
	PROG.			TR	M
1	C-1, TROCHA CARROZABLE CHAMIRIARI, TERRENO NATURAL	C-1	M-1	15.70	10.10


**TERRENO NATURAL + 5% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	C.B.R. a 0.1"	
	PROG.			TR	M
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 5% CAL.	C-1	M-2	18.20	13.50

**TERRENO NATURAL + 10% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	C.B.R. a 0.1"	
	PROG.			TR	M
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 10% CAL.	C-1	M-2	25.00	16.00

JR 28 DE OCTUBRE N° 429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRION)  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO.  
RUC. 20568764995

  
GEOLUMAS SAC.  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145416  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO, GEOTECNIA Y GEOLOGÍA  
CEL 968111156, RPM #968111156  
CEL 971337776, RPM #971337776



**TERRENO NATURAL + 15% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	C.B.R. a 0.1'	
	PROG.			TR	M
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 15% CAL.	C-1	M-2	28.30	18.30

**TERRENO NATURAL + 20% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	C.B.R. a 0.1'	
	PROG.			TR	M
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 20% CAL.	C-1	M-2	32.44	21.20

**3.0. RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

En el anexo "Resumen de Ensayos de Laboratorio", se presenta las características físicas y mecánicas de los suelos provenientes de los diferentes ensayos realizados a las diversas muestras extraídas, con dichos resultados se establecerá el perfil estratigráfico y se calculará la capacidad soporte de la sub rasante, la que permitirá el diseño de la estructura de pavimento del presente estudio. Los certificados de Laboratorio se presentan en el Anexo, Ítem:

"Ver Resultados de Laboratorio – Estudio de Suelos".

  
GEOLUMAS SAC.  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145416  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO, GEOTECNIA Y GEOLOGÍA



#### 4.0. PERFIL ESTRATIGRAFICO

La elaboración del perfil estratigráfico requiere de una clasificación de materiales que se obtiene mediante análisis y ensayos en laboratorio sobre las muestras extraídas en el campo. La interpretación de los resultados obtenidos ha permitido clasificar los suelos, definir los horizontes de material homogéneo y establecer el Perfil Estratigráfico.

**Ver Anexo: "Perfil Estratigráfico".**

  
GEOLUMAS SAC.  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
-----  
Ing. Civil Edwin Peña Duñás  
ASESOR TÉCNICO CIP 145416  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO, GEOTECNIA Y GEOLOGIA





## 5.0. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los trabajos de campo, ensayos de laboratorio realizados y análisis efectuados se concluyó:

- Según los CBR encontrados podemos determinar que la subrasante no necesita mejoramiento, pero si un escarificado y una compactación mínima de 90%. (SEGÚN CUADRO N° 01)

Categorías de Subrasante	CBR
S <sub>0</sub> : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

MANUAL DE CARRETERAS 2019-MTC, MC-05-14, SECCION SUELOS Y PAVIMENTOS.  
SE CONSIDERARÁN COMO MATERIALES APTOS PARA LAS CAPAS DE LA SUBRASANTE SUELOS CON CBR IGUAL O MAYOR DE 6%, EN CASO DE SER MENOR (SUB RASANTE INSUFICIENTE O SUB SUBRASANTE INADECUADA), SE PROCEDERA A MEJORAR y/o ESTABILIZAR LA SUB RASANTE.

- El suelo analizado en todo el tramo muestreado tiene un CBR BUENA.
- Se recomienda la compactación de la subrasante hasta llegar a un grado de compactación de 90%.
- Los suelos encontrados según clasificación AASTHO Y SUCS son:

  
GEOLUMAS SAC  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145416  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGIA



**CUADRO DE RESUMEN DE SUCS Y AASTHO**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	CLASIFICACION	
	PROG.	TR	M	SUCS	AASHTO
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL	C-1	M-1	CL	A-6(6)

- La vía en estudio tiene un CBR que es:

**CUADRO C.B.R.**

**TERRENO NATURAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	C.B.R. a 0.1 <sup>o</sup>	
				100%	95%
1	C-1, TROCHA CARROZABLE CHAMIRIARI, TERRENO NATURAL	C-1	M-1	15.70	10.10

**TERRENO NATURAL + 5% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	C.B.R. a 0.1 <sup>o</sup>	
				100%	95%
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 5% CAL.	C-1	M-2	18.20	13.50

**TERRENO NATURAL + 10% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	C.B.R. a 0.1 <sup>o</sup>	
				100%	95%
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 10% CAL.	C-1	M-2	25.00	16.00

**GEOLUMAS SAC**  
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS  
Ing. Civil Edwin Peña Dukías  
ASESOR TECNICO CIP 145416  
ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS,  
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGIA

JR 28 DE OCTUBRE N° 429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRION)  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO.  
RUC. 20568764995

CEL 968111156, RPM #968111156  
CEL 971337776, RPM #971337776



**TERRENO NATURAL + 15% DE CAL**

ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	C.B.R. a 0.1"	
	PROG.			TR	M
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 15% CAL.	C-1	M-2	28.30	18.30

**TERRENO NATURAL + 20% DE CAL**

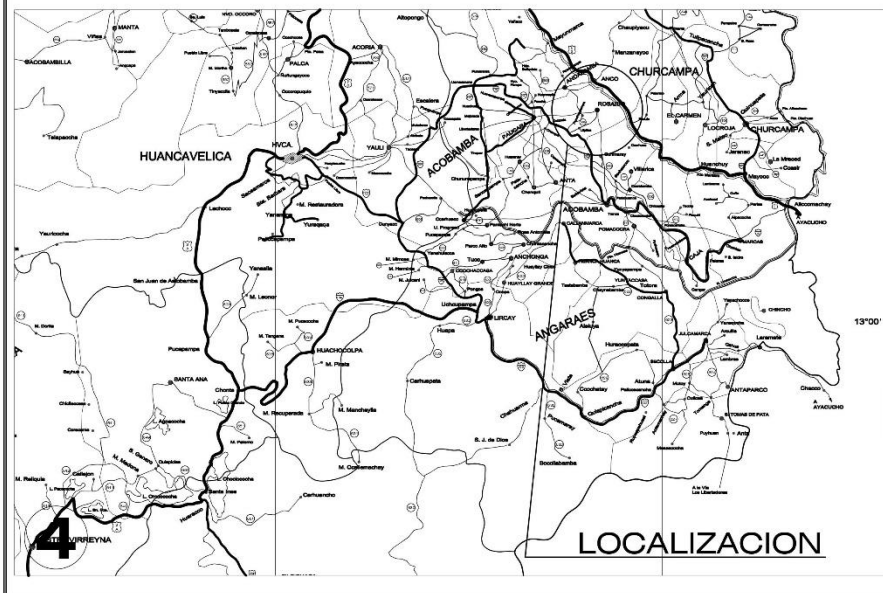
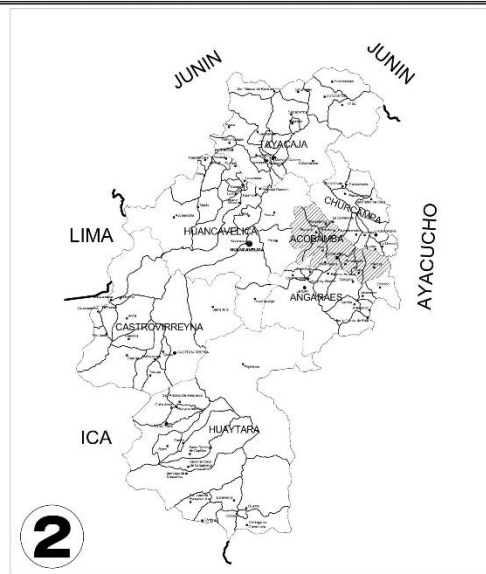
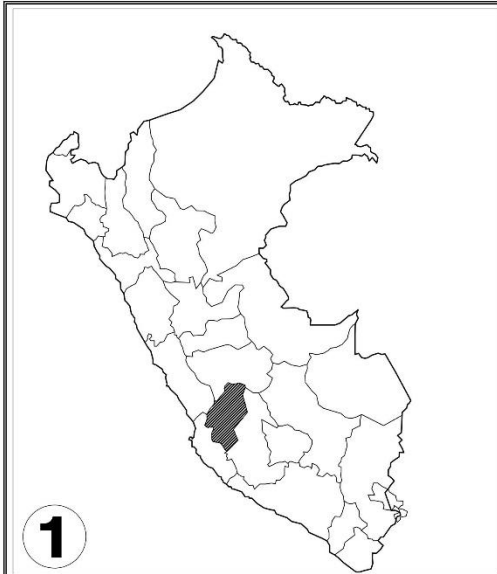
ITEM	PROGRESIVA	CALICATA	MUESTRA	C.B.R. a 0.1"	
	PROG.			TR	M
1	C-1, TRAMO JR. MICAELA BASTIDAS LONG 680 ML, JR. INDEPENDENCIA LONG 580 ML. TERRENO NATURAL + 20% CAL.	C-1	M-2	32.44	21.20

- No se encontró la presencia de napa freática a la fecha de excavación.

**GEOLUMAS SAC**  
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS  
  
Ing. Civil Edwin Peña Dueñas  
ASESOR TÉCNICO CIP 145416  
ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO GEOTECNIA Y GEOLOGÍA

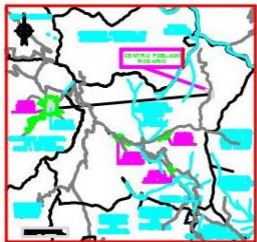
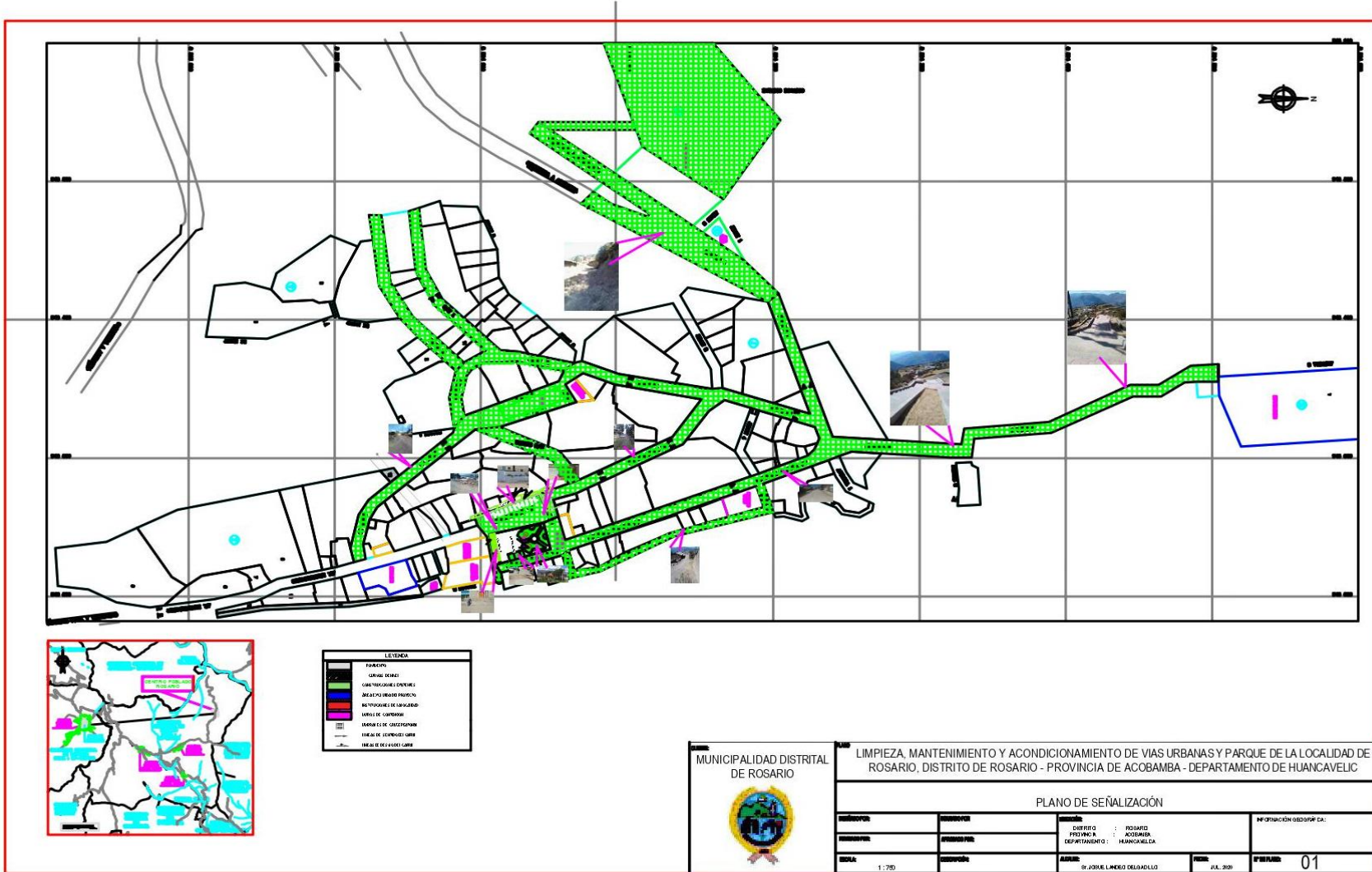
JR 28 DE OCTUBRE N° 429 EL TAMBO HUANCAYO  
(ALTURA DEL PUENTE CARRION)  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO.  
RUC. 20568764995

CEL 968111156, RPM #968111156  
CEL 971337776, RPM #971337776



- 1.- UBICACION DEPARTAMENTAL
- 2.- UBICACION PROVINCIAL
- 3.- UBICACION DISTRITAL
- 4.- LOCALIZACION

<b>MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE ROSARIO</b>		UL-01
 PROYECTO: *APLICACION DE CAL EN LA SUB RASANTE PARA EVALUAR LA TRANSITABILIDAD EN EL DISTRITO DE ROSARIO - ACOBAMBA - HUANCVELICA		
LOCALIDAD: ROSARIO	PLANO: UBICACION Y LOCALIZACION	SISTEMA:
DISTRITO: ROSARIO	ALCALDE: SR. JOSUE LANDEO DELGADILLO	
PROVINCIA: ACOBAMBA	DISEÑO: BACH/ING. CIVIL JUAN BARRIENTOS SEDANO	FECHA: JULIO - 2019
REGION: HUANCVELICA	ESCALA: INDICADA	



**LEYENDA**

[Green Dotted]	PARQUEO
[Black]	GRAN CERRAJE
[Red]	CONSTRUCIONES EN OBRA
[Blue]	SEÑALES DE ORDENAMIENTO
[Yellow]	SEÑALES DE ADVERTENCIA
[Pink]	SEÑALES DE OBLIGACION
[Blue]	SEÑALES DE CANTONAMIENTO
[Black]	SEÑALES DE CONTROL DE VELOCIDAD
[Black]	SEÑALES DE PASEO DE PEATONES



**MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE ROSARIO**

**LIMPIEZA, MANTENIMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE VIAS URBANAS Y PARQUE DE LA LOCALIDAD DE ROSARIO, DISTRITO DE ROSARIO - PROVINCIA DE ACOBAMBA - DEPARTAMENTO DE HUANCABELICA**

**PLANO DE SEÑALIZACION**

<b>PROYECTO:</b>	<b>PROYECTANTE:</b>	<b>CLIENTE:</b>	<b>INFORMACION GEOGRAFICA:</b>
		DISTRITO : ROSARIO	
		PROVINCIA : ACOBAMBA	
		DEPARTAMENTO : HUANCABELICA	
<b>ESCALA:</b>	<b>FECHA:</b>	<b>AUTORES:</b>	<b>PROYECTO:</b>
1 : 750		Dr. JOSE LINDO DELADILLO	JUL. 2017
			<b>PROYECTO:</b> 01