

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**“ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO PARA LOS PAVIMENTOS DE  
LA CIUDAD DE CUENCA Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO”**

**TESIS DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE  
MAGISTER EN GEOTECNIA**

**AUTOR:**

**ING. JUAN PABLO UGALDE VINTIMILLA**

**DIRECTOR:**

**ING. JAIME ASDRÚBAL BOJORQUE IÑEGUEZ**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**Mayo, 2024**

## Dedicatoria

---

Le dedico el resultado de este trabajo a mi esposa, por su paciencia, comprensión, amor, ya que me ayuda a alcanzar el equilibrio que permite dar todo mi potencial.

También quiero dedicar este trabajo a mis padres por enseñarme a ser la persona que soy hoy.

También, quiero dedicar este trabajo a mis dos hijos Irina y Leandro, ya sea casualidad sus nacimientos, pero llegaron para darme el empujón final para finalizar este proyecto.

## Agradecimientos

---

Mi más sincero agradecimiento al director de tesis que con paciencia pudo revisar este trabajo, a la Universidad por darme la oportunidad de fortalecer mi carrera profesional, a mis compañeros de Cuenca por ayudarme siempre a cumplir este objetivo.

## **Declaración Expresa**

---

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Juan Pablo Ugalde Vintimilla doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Juan Pablo Ugalde Vintimilla

## **Evaluadores**

---

ING. SAMANTHA TAMARA  
JIMÉNEZ OYOLA  
VOCAL REVISIÓN

---

ING. JAIME ASDRÚBAL  
BOJORQUE IÑEGUEZ  
Tutor de proyecto

## RESUMEN

El presente estudio se centró en la estabilización con cemento de la estructura del pavimento de la avenida Ricardo Durán, de la ciudad de Cuenca. Para este propósito, se evaluaron las características de los materiales, tanto en su estado natural como estabilizado, a través de ensayos de laboratorio.

Se realizó la evaluación de tráfico, la evaluación funcional del pavimento mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI), la determinación de patologías en los pavimentos, estudios de la capa de rodadura, y el análisis de pavimentos flexibles utilizando el Método AASHTO 93. Además, se evaluó la alternativa utilizar material de asfalto reciclado con base granular adicionando cemento, con una sobrecapa de concreto asfáltico. También, se llevó a cabo un análisis económico que incluyó los costos de construcción vial comparando las dos alternativas, y se realizó la conclusión sobre la importancia de considerar técnicas de estabilización e impacto en el diseño de pavimentos para asegurar la calidad y durabilidad a largo plazo.

## **ABSTRACT**

The present study focused on the stabilization with cement of the pavement structure of Ricardo Durán Avenue, in the city of Cuenca.; For this purpose, the characteristics of the materials were evaluated, both in their natural and stabilized states, through laboratory.

The traffic evaluation, the functional evaluation of the pavement using the Pavement Condition Index (PCI), the determination of pathologies in the pavements, studies of the wearing course, and the analysis of flexible pavements using the AASHTO Method 93 were carried out. In addition, the alternative was evaluated to use recycled asphalt material with a granular base, adding cement, with an overlay of asphalt concrete.

Also, an economic analysis was carried out that included the costs of road construction comparing the two alternatives, and the conclusion was made on the importance of considering stabilization and impact techniques in the design of pavements to ensure quality and long-term durability.

## INDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
CAPÍTULO 1. -GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación .....	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1.Objetivo General.....	4
1.4.2.Objetivos Específicos .....	4
CAPÍTULO II. -MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Fundamentación Teórica.....	5
2.1.1.Definición de suelo5	
2.1.2.Caracterización de los suelos .....	6
2.1.3.Componentes de un suelo.....	6
2.1.4.Clasificación de los suelos .....	9
2.1.5.Compactación.....	13
2.1.6 Parámetros de naturaleza.....	19
2.1.7Procesos de compactación de los suelos y métodos del laboratorio .....	22
2.1.8Estabilización de Suelos.....	23
2.1.9Definición de Pavimento.....	26
CAPITULO III. -METODOLOGÍA.....	30
3.1 Ubicación del proyecto .....	30
3.2 Etapas para la ejecución del proyecto.....	31
Diseño de espesores de la estructura de pavimento flexible mediante la metodología AASHTO 1993.3.2.1 Estudio y análisis de la información de tránsito. ....	31
3.2.2 Evaluación funcional del pavimento.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Determinación de Patologías.....	35
Ensayo de Pozo a Cielo Abierto.....	36
Ensayo de Contenido de Humedad .....	37
Ensayo de Granulometría .....	37
Ensayo de Límite Líquido (Copa Casagrande) .....	37
Ensayo de Límite Plástico .....	37
Proctor Modificado .....	37

Ensayo de (CBR).....	37
3.2.3.1 Ensayos materiales .....	38
3.2.3.2 Procedimientos de Muestreo.....	39
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
4.1 Evaluación del tráfico .....	41
4.2 Evaluación funcional.....	44
4.3 Estudio de la capa de rodadura .....	46
4.3.1 Contenido de betún asfáltico .....	47
4.3.2 Estudio de materiales granulares.....	47
4.3.3 Estudio de la subrasante .....	48
4.4 Pavimento flexible .....	53
4.4.1 Parámetros de diseño.....	53
4.4.2 Restricciones de Tiempo .....	54
4.4.3 Factor de Confiabilidad.....	54
4.4.4 Serviciabilidad.....	55
4.5 Pavimentos flexibles AASHTO 93 .....	59
4.5.1 Valores Diseño .....	61
4.5.2 Alternativa de diseño: Carpeta Asfáltica, Base Reciclada con Asfalto y mezclada con cemento, Subbase Existente .....	62
4.5.3 Sobre capa de refuerzo de concreto asfáltico.....	64
4.5.4 Proceso constructivo de rehabilitación .....	66
4.6 Análisis Económico .....	69
4.6.1 Costo por m <sup>2</sup> de construcción vial.....	69
4.6.2 Costos de Equipos y Herramientas.....	70
4.6.3 Costos de Mano de Obra .....	70
4.6.4 Costos de materiales.....	70
4.6.5 Costos de Transporte.....	70
4.6.6 Análisis de Precios Unitarios (APU).....	70
3.1.1 Discusión de resultados.....	73
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES .....	74
5.1 Conclusiones .....	74
4.1 Recomendaciones .....	75
Bibliografía.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Asignación de letras según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	9
<b>Tabla 2:</b> Factor Distribución por Dirección.....	33
<b>Tabla 3:</b> Factor de Distribución por Carril.....	34
<b>Tabla 4:</b> Mantenimiento y/o Rehabilitación basadas en el PCI.....	35
<b>Tabla 5:</b> Formato para la evaluación funcional del pavimento.....	36
<b>Tabla 6:</b> Materiales y Equipos.....	38
<b>Tabla 7:</b> Tráfico Proyectado para 2021.....	41
<b>Tabla 8:</b> Tasas de Crecimiento Anual (%).....	41
<b>Tabla 9:</b> Factores Camión.....	42
<b>Tabla 10:</b> Cálculo del número de ejes equivalentes, periodo de 10 años.....	43
<b>Tabla 11:</b> Cálculo del número de ejes equivalentes, periodo de 20 años.....	44
<b>Tabla 22:</b> Patologías de Av. Ricardo Durán.....	45
<b>Tabla 33:</b> Peso específico Bulk y espesores.....	47
<b>Tabla 44:</b> Extracción de asfalto y granulometría.....	47
<b>Tabla 55:</b> Cuadro resumen ensayos de laboratorio, materiales granulares.....	48
<b>Tabla 66:</b> Cuadro resumen ensayos de laboratorio subrasante.....	49
<b>Tabla 77:</b> Rango del CBR para clasificación del material de subrasante.....	52
<b>Tabla 188:</b> Valor de percentil por nivel de tráfico.....	52
<b>Tabla 19:</b> Valores de CBR.....	53
<b>Tabla 20:</b> Niveles de confiabilidad.....	55
<b>Tabla 219:</b> Calidad de drenaje.....	60
<b>Tabla 2210:</b> Coeficiente de drenaje (mi).....	61
<b>Tabla 113:</b> Espesores por la AASHTO.....	61
<b>Tabla 124:</b> Datos Iniciales.....	61
<b>Tabla 135:</b> Espesor de pavimento flexible para un periodo de 10 años.....	63
<b>Tabla 146:</b> Estructura de pavimento definida para un periodo de 10 años.....	63
<b>Tabla 157:</b> Estructura final de pavimento considerando 2 etapas de construcción.....	65
<b>Tabla 28:</b> Reparaciones y métodos preventivos para pavimento flexible (AASHTO 1993).....	67
<b>Tabla 29:</b> Plantilla de formato para el análisis de los precios unitarios.....	70
<b>Tabla 30:</b> Análisis de los precios unitarios.....	71
<b>Tabla 31:</b> Resultados de precios unitarios.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Composición del suelo.....	5
<b>Figura 2:</b> Gráfico del suelo con sus índices de poros, vacíos.....	7
<b>Figura 3:</b> (SUCS).....	111
<b>Figura 4:</b> Carta Casagrande del índice de plasticidad para suelos finos. ....	122
<b>Figura 5:</b> Clasificación de suelos según la AASHTO. ....	133
<b>Figura 6:</b> Densidad real vs humedad. ....	144
<b>Figura 7:</b> Humedad de compactación vs densidad seca. ....	155
<b>Figura 8:</b> Humedad vs densidad seca con diferentes energías. ....	166
<b>Figura 9:</b> Índice CBR. ....	1818
<b>Figura 10:</b> Máquina de los ángeles.....	1818
<b>Figura 11 :</b> Representación Límites de Atterberg .....	2121
<b>Figura 12:</b> Estructura del pavimento flexible .....	266
<b>Figura 13:</b> Granulometría para la base de agregados Clase 1. ....	2727
<b>Figura 14:</b> Granulometría para la base de agregados Clase 2. ....	2828
<b>Figura 15:</b> Granulometría para la base de agregados Clase 3 .....	2828
<b>Figura 16:</b> Granulometría para la base de agregados Clase 4 .....	2929
<b>Figura 17:</b> Ubicación de la avenida Ricardo Durán, Cuenca. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.30</b>
<b>Figura 18:</b> Agrietamiento en bloque (severidad alta).....	306
<b>Figura 19:</b> Captura de pantalla de programa. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.5</b>
<b>Figura 20:</b> Campaña de exploración zona de estudio.....	4949
<b>Figura 21:</b> Distribución granulométrica de los materiales. ....	500
<b>Figura 22:</b> Valores de Límites de Atterberg .....	510
<b>Figura 23:</b> Valores de la relación de humedad natural vs óptima. ....	511
<b>Figura 24:</b> CBR de diseño. ....	5353
<b>Figura 25:</b> Variación de los coeficientes de capa de subbase. ....	5656
<b>Figura 26:</b> Variación de los coeficientes de capa para bases granulares.....	5757
<b>Figura 27:</b> Coeficientes estructurales de materiales (AASHTO, 1993). ....	5757
<b>Figura 28:</b> Relación temperatura vs módulo elástico del concreto asfáltico (AASHTO, 1993).....	5858
<b>Figura 29:</b> Relación del coeficiente estructural vs módulo elástico del asfalto (AASHTO, 1993). ....	5858
<b>Figura 30:</b> Subrasante natural o mejorada.....	5959
<b>Figura 31:</b> Número Estructural Requerido para un periodo de 10 años.....	632
<b>Figura 32.</b> Capacidad estructural en función al tiempo y tráfico .....	64
<b>Figura 33:</b> Número Estructural Requerido para un periodo de 20 años.....	65

<b>Figura 34.</b> Espectro de la rehabilitación de pavimentos rígidos.....	66
<b>Figura 35:</b> Estado actual de la capa de rodadura.....	68

## **CAPÍTULO 1. -GENERALIDADES**

### **1.1. Introducción**

Actualmente, en diversos lugares del mundo se trabaja en el avance y consolidación de la aplicación de técnicas relacionadas con la mejora de la calidad de suelos en busca de alcanzar dos objetivos; (1)- prolongar la vida útil de los componentes que integran la base del pavimento, y (2) garantizar la existencia de capas con una mayor capacidad de carga, además de una mayor resistencia a las inclemencias meteorológicas (Pérez Valcárcel, 2018).

En Cuenca, Ecuador, la Ilustre Municipalidad está ejecutando labores de conservación en las losas del pavimento rígido. Para esto, se emplean bases estabilizadas con cemento. Un ejemplo de este trabajo es la calle Octavio Chacón, ha llevado a la sustitución de las losas más deterioradas. Existen otras losas que están dañándose, así como otras zonas de Cuenca. Es imperativo prevenir un colapso general de la infraestructura vial, la municipalidad debe llevar a cabo un mantenimiento regular, constante y oportuno.

Según Gutiérrez (2020), la preservación y mejora de la calidad de los suelos ha tomado relevancia global en la última década. A medida que las urbanizaciones se expanden y el tráfico vehicular aumenta, las infraestructuras viales, especialmente los pavimentos, enfrentan desafíos constantes que amenazan su durabilidad y eficiencia. A nivel mundial, los expertos en Ingeniería Civil y Geotecnia han dedicado esfuerzos significativos en investigar y desarrollar técnicas avanzadas para no solo conservar, sino también mejorar la calidad de los suelos sobre los cuales se construyen las carreteras. La razón es clara, un suelo de calidad óptima no solo garantiza una mayor durabilidad de la carretera, sino que también se traduce en ahorros significativos en mantenimiento y reparaciones a largo plazo (SMIG, 2019).

En este contexto, la ciudad de Cuenca no es la excepción. La Ilustre Municipalidad, consciente de la importancia de tener vías en óptimo estado para la movilidad y desarrollo socioeconómico de la ciudad, ha emprendido acciones concretas en este ámbito. En particular, las acciones se han centrado en conservar las losas del pavimento rígido, utilizando para ello bases estabilizadas con cemento, una técnica reconocida internacionalmente por su eficacia.

## 1.2. Antecedentes

En el Ecuador, la competencia de planificar, construir y mantener la vialidad es compartida a nivel central, provincial y municipal, El gobierno central tiene competencia sobre las vías estatales, los municipios sobre las vías urbanas y el resto de la red vial es competencia del gobierno provincial.

La resolución 009-CNC-2014 del Consejo Nacional de Competencias regula este ejercicio compartido, especificando atribuciones a cada nivel de gobierno (CONGOPE, 2019). Cada gobierno asume la administración de una red, dado que la conectividad y movilidad es una necesidad permanente de los ciudadanos (COOTAD, 2019).

Realizar la caracterización del suelo es de gran importancia para el desarrollo de proyectos viales, ya que permite dar una solución adecuada a la necesidad de los proyectos (Fonseca, 1999). En la actualidad, se desarrolla la estabilización de suelos, en todo el mundo, para mejorar su estructura. (Carpio, 2014).

Para proponer cualquier medida de estabilización, es necesario caracterizar adecuadamente los parámetros geomecánicos de los materiales. Para tal fin, se puede realizar ensayos con base en la normativa vigente (MTOPE, 2002).

La planificación y mantenimiento de la vialidad es crucial para el desarrollo socioeconómico y la sostenibilidad de las ciudades. Las políticas de vialidad urbana han evolucionado para incluir consideraciones ambientales, de eficiencia energética y de accesibilidad (ICPA, 2015).

La caracterización geotécnica del suelo ha avanzado con la incorporación de tecnologías de monitoreo en tiempo real y técnicas avanzadas de laboratorio, ofreciendo datos más precisos y relevantes para proyectos viales (C. Kraemer, 2004). Las investigaciones recientes en estabilización de suelos han abordado no solo la durabilidad, sino también la sostenibilidad y el reciclaje de materiales, considerando aspectos ecológicos y económicos (Menendez Acurio, 2009). La tecnología ha avanzado en el desarrollo de nuevos aditivos y técnicas de mezclado que mejoran la resistencia y durabilidad de bases estabilizadas con cemento La adaptación de las normativas a técnicas avanzadas y a consideraciones ambientales ha sido un tema relevante en la Ingeniería Geotécnica, en busca de garantizar la seguridad y sostenibilidad (Borselli, 2023).

La utilización de emulsiones asfálticas para estabilizar suelos juega un papel crucial en la industria de la construcción de carreteras. Esto implica emplear materiales de gran resistencia en las bases y subbases, así como emulsiones asfálticas, y también incorporar polímeros y cal, entre otros elementos. El propósito es lograr una construcción económicamente eficiente, que ofrezca un rendimiento adecuado para la mejora de la infraestructura vial y, como resultado, eleve la calidad de vida de los residentes de la región, influyendo positivamente en los aspectos sociales y económicos. Un aspecto clave de esta técnica es el uso del suelo local, lo que contribuye a reducir costos. Además, el hecho de no requerir personal altamente especializado convierte a esta técnica en una fuente de empleo para la comunidad en la ubicación de la obra.

Existen múltiples razones que respaldan la utilización de emulsiones asfálticas:

- Las emulsiones no presentan riesgo de inflamación ni emiten vapores de hidrocarburos al entorno atmosférico.
- El enfoque principal es la mejora de las características mecánicas del suelo.
- La implementación de esta técnica tiene una modificación en la metodología de trabajo, pero no implica menor calidad de los materiales, de la construcción o del mantenimiento.

Los resultados obtenidos mediante diseños de pavimentos se evalúan económicamente.

### **1.3. Justificación**

En la ciudad de Cuenca, está la parroquia de Baños es la segunda parroquia más grande en la ciudad, esta dispone de una Avenida principal que se denomina Ricardo Durán, la cual hace aproximadamente 25 años fue intervenida con asfalto, y varias veces se realizó bacheos asfálticos, por lo que es necesidad urgente de toda la parroquia y ciudad de Cuenca que se rehabilite la capa de rodadura, la extensión de la vía tiene una longitud de 2.2 kilómetros.

El proyecto actual contribuirá a la parroquia de Baños y a la ciudad de Cuenca, ya que será el inicio de proyectos con alternativas de reciclaje de estructuras de pavimentos. Estas prácticas no son solo para reutilización de materiales, sino también para reducir el impacto ambiental derivado de la construcción y mantenimiento vial.

Mas allá de los innegables beneficios ambientales, el reciclaje y reutilización en la construcción vial prometen ventajas económicas, al optimizar el uso de materiales y reducir costos de transporte y adquisición.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Analizar de manera técnica y económica el pavimento, mediante ensayos dentro de la normativa ecuatoriana para poder entregar un informe de pavimento flexible con la factibilidad del reciclaje de estructura.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis técnico de un suelo estabilizado, evaluando su capacidad portante a través de ensayos tanto en el suelo natural como en muestras del suelo cemento.
- Determinar las condiciones de tránsito para obtener el tráfico al que estará expuesto el pavimento durante su vida útil.
- Determinar espesores, tanto en suelo natural y estabilizado, para el pavimento, con la finalidad de realizar la evaluación económica.

## CAPÍTULO II. -MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se abordan aspectos esenciales como la definición de suelo, la caracterización de los suelos, los componentes que conforman un suelo, y las propiedades físicas que intervienen en su clasificación. Asimismo, se exploran los procesos de compactación de suelos, los parámetros de naturaleza geotécnica relevantes, y se examinan los métodos de laboratorio para evaluar la compactación. Además, se analiza el concepto de estabilización de suelos, destacando su importancia en la construcción de pavimentos, y se introduce el contexto del pavimento como elemento clave en la infraestructura vial. Este capítulo sienta las bases teóricas necesarias para comprender en detalle los aspectos prácticos y metodológicos que serán abordados en los capítulos posteriores de la investigación.

### 2.1. Fundamentación Teórica

#### 2.1.1. Definición de suelo

El suelo representa la base física sobre la cual se ejecutan construcciones, siendo cruciales sus características físico-químicas, en especial las propiedades mecánicas. Es importante destacar que se distingue del concepto "roca" al referirse específicamente a un sustrato compuesto por componentes que pueden ser separados sin la necesidad de una cantidad considerable de energía (Rubio & Nascimento, 2020). El suelo se concibe como un sistema de múltiples fases compuesto por (Figura 1):

- La fase sólida, que conforma la base estructural.
- La fase líquida, representada por el agua.
- La fase gaseosa, ocupada por el aire, que se encuentra en los espacios entre las partículas sólidas.



**Figura 1:** Composición del suelo.

Fuente: (Kroger & Kroger, 2019)

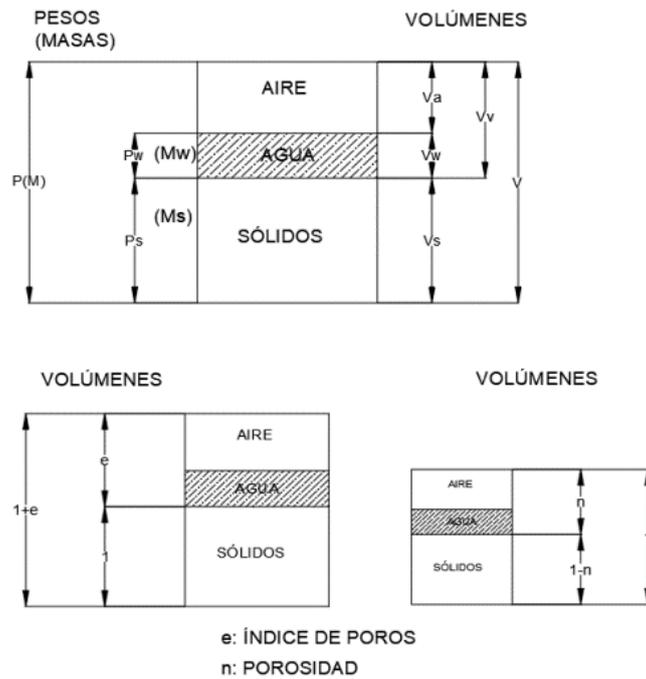
### **2.1.2. Caracterización de los suelos**

La evaluación de las propiedades del suelo se realiza mediante la utilización de dos categorías de factores, denominados parámetros de composición y parámetros de condición. Se proporciona una descripción detallada de ambos tipos.

### **2.1.3. Componentes de un suelo**

Está compuesto por partículas sólidas que están interconectadas, formando espacios o poros donde existe aire o agua. Su contenido determinan tres fases posibles en el suelo: sólida, líquida y gaseosa. Cuando se utiliza el suelo en carreteras, se excluye una cuarta etapa, que surge al agregar materia orgánica, y es ampliamente reconocido que esta no es adecuada para aplicaciones en proyectos de ingeniería civil. La cantidad de humedad presente en estos espacios o poros desempeña un papel fundamental en la determinación de las propiedades del suelo. (C. Kraemer, 2004).

En la **Figura 2** se presenta un esquema del ciclo del suelo, de acuerdo a sus características.



**Figura 2:** Vacíos y poros. (Fonseca, 1999)

## Propiedades físicas

### Granulometría

Permite su clasificación por el tamaño de las partículas. Es fundamental comprender los diversos tamaños de partículas presentes en una muestra de suelo antes de emprender un proyecto de construcción. Este procedimiento implica el tamizado del suelo seco y la cuantificación

De la cantidad de suelo retenida por cada tamiz con el fin de clasificarlo. Al registrar estos valores retenidos, se puede generar una representación gráfica de la distribución de tamaños de partículas, conocida como curva granulométrica, que se representa en un eje logarítmico en abscisas y porcentajes de partículas que pasan en un eje lineal en ordenadas.

Esta propiedad no solo contribuye a la clasificación de suelos, sino que también aporta información de permeabilidad, porosidad y esfuerzos cortantes (C. Kraemer, 2004).

## **Plasticidad**

Se refiere a la característica de los suelos que les permite ser moldeados sin romperse, esta característica está influenciada principalmente por la cantidad de humedad presente en el suelo y la presencia de componentes arcillosos. Para evaluar este grado, se realizan pruebas para determinar consistencia, y los límites de Atterberg. Incluyen el límite líquido (LL), que representa el nivel de humedad, y el límite plástico (LP), que indica la humedad en la que el suelo comienza a agrietarse al intentar formar rollos delgados. (C. Kraemer, 2004).

## **Densidad**

Se hace referencia a la cantidad de materia que constituye por el suelo y se encuentra en una determinada cantidad de espacio, y cuando se excluyen los espacios vacíos, se denomina densidad absoluta. Por otro lado, si se toman en cuenta los espacios vacíos, se utiliza el término densidad aparente. En el contexto de la densidad, se trata de (Villalaz, 2004). Esta relación se expresa en la Ecuación (1).

$$\begin{aligned}D_a &= \frac{P_s}{V_s} \\D'_a &= \frac{P_s}{V_t} \\D_r &= \frac{D_a}{D_w}\end{aligned}\tag{1}$$

Donde (Villalaz, 2004):

## **Sales y yesos en el suelo**

Entre los componentes significativos se destacan los carbonatos y sulfatos, los cuales se hallan en secciones de suelo con partículas de tamaño inferior a 2 mm. Esto resulta fundamental para determinar las características y el desempeño tanto del suelo como del concreto (C. Kraemer, 2004).

### **2.1.4. Clasificación de los suelos**

Se hace por métodos ampliamente reconocidos y utilizados en el ámbito de la ingeniería debido a las diversas características que pueden obtenerse del suelo. Estos son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, que fue desarrollado por la American Society for Testing Materials ASTM, y American Association of State Highway and Transportation Officials el sistema AASHTO. (Borselli, 2023).

#### **a) Sistema Unificado de Clasificación de suelos**

Está estandarizado según la norma ASTM D2487, lo que lo convierte en un método ampliamente utilizado en proyectos geotécnicos en numerosos países de todo el mundo. Esto se debe a que el sistema de clasificación ASTM se basa en una serie de ensayos de laboratorio que evalúan las propiedades del suelo, como la granulometría (distribución de tamaños de partículas), la plasticidad (capacidad del suelo para deformarse sin romperse), el límite líquido, el límite plástico y la plasticidad índice. Estos ensayos proporcionan datos cuantitativos que permiten ubicar un suelo dentro de una clasificación específica.

Este método utiliza dos letras para designar el tipo de suelo. Indica el componente principal presente del suelo y características granulométricas o de plasticidad. En la **Tabla 1**, se muestra cómo se asignan estas letras de designación (Borselli, 2023).

**Tabla 16:** Asignación de letras según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Primera Letra		Segunda Letra	
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
G	Grava	H	Alta Plasticidad
S	Arena	L	Baja plasticidad
M	Limo	W	Bien graduado
C	Arcilla	P	Mal graduado
O	Limos o Arcilla orgánicas	C	Arcillosos
Pt	Turba y suelos altamente orgánicos		

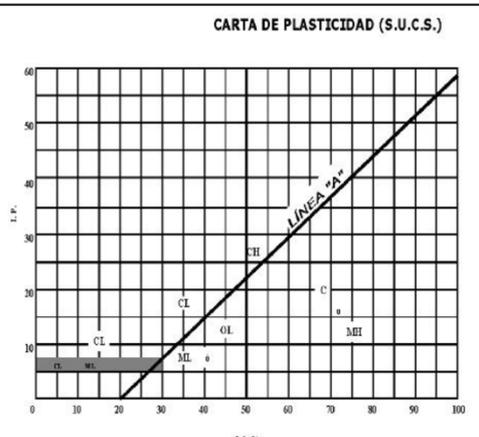
Cuando un suelo sea arena o grava, se realiza lo siguiente:

- Si atraviesa el tamiz N° 200 (0.075 mm) sea inferior al 50%, se considera que el suelo es de tipo grueso. Por otro lado, si más del 50% del suelo pasa a través del tamiz N° 200, se clasifica como un suelo de tipo fino, y este criterio determina la primera letra en la categorización.
- En el caso de una arena y grava si el 5%, se coloca la segunda letra de acuerdo con su distribución de tamaños, diferenciando entre aquellas que están uniformemente graduadas y las que no lo están. Si más del 12% del suelo pasa a través del tamiz N° 200, se utiliza para su segunda designación, y se emplean las letras M o C para clasificar si son limosas o arcillosas, respectivamente.
- Cuando el porcentaje que atraviesa el tamiz N° 200 se encuentra en el rango del 5% al 12%, se clasifican como limos o arcillas, y su segunda designación se determina en función de si presentan una plasticidad alta o baja.

Según ASTM, se aprecia en la **Figura 3** que se presenta a continuación, la cual pertenece al (SUCS).

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)**  
INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

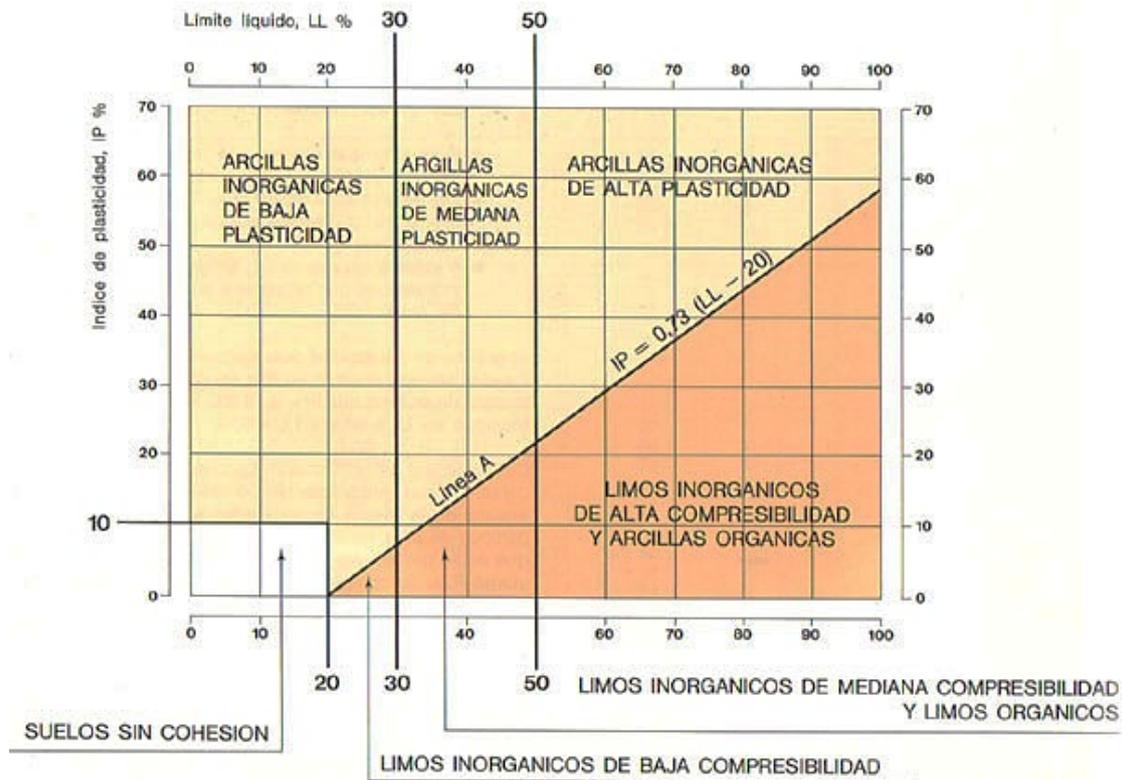
DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO			
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕ n, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla №. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA №. 4	<b>GRAVAS LIMPIA</b> Poco o nada de partículas finas	<b>GW</b>	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMÍNENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, REFINERSE EL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla №. 200) LOS SUELOS COMO SIGUE: Menos del 3% GW/GP, SW/SF; más del 12% GM, GC, SM, SC. Entre 3% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$	
			<b>GP</b>	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.	
		<b>GRAVA CON FINOS</b> Cantidad apreciable de partículas finas	*    d GM    u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
				<b>GC</b>		Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla	
		<b>ARENAS LIMPIA</b> Poco o nada de partículas finas	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla №. 4	<b>SW</b>		Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	$Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.
	<b>SP</b>			Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW	
	<b>ARENAS CON FINOS</b> Cantidad apreciable de partículas finas	*    d SM    u	*    d SC    u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
				Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	
	<b>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS</b> Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla №. 200) son	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido menor de 50	<b>ML</b>	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.		G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad	
<b>CL</b>			Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.				
<b>OL</b>			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.				
<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido Mayor de 50		<b>MH</b>	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomeáceos, más elásticos.				
		<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.				
		<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.				
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>		<b>P</b>	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				



\*\* CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.  
 ⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.  
 \* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS ÚNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFÍJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFÍJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

**Figura 3:** Sistema de clasificación unificada de suelos (SUCS)

La carta de casa grande determina la segunda letra en la clasificación de suelos finos, se basa en las propiedades del suelo, en el valor del límite líquido, que es igual, menor o mayor al 50% (Borselli, 2023). En la **Figura 4** se muestra un gráfico representativo de la carta de Casagrande.



**Figura 4:** Carta Casagrande del índice de plasticidad para suelos finos.

#### b) Clasificación AASHTO de los suelos

Es ampliamente aplicada en las vías, su enfoque radica en la determinación de los tipos de suelos más adecuados para proyectos de infraestructura vial. Se establecen siete grupos de suelos, desde el A-1 hasta el A-7. Los subgrupos A-1 hasta A-3 abarcan suelos granulares, con un 35% o menos de partículas que pasan por el tamiz N° 200 (C. Kraemer, 2004). Por otro lado, los grupos A-4 hasta A-7 incluyen materiales granulares finos, con más del 35% de partículas que pasan el tamiz N° 200. La clasificación de estos subgrupos se basa en sus características de granulometría y plasticidad (Duque Escobar & Enrique Escobar, 2016). En este contexto, en la **Figura 5** se muestra la estructuración de la clasificación general de los suelos según AASHTO.

Clasificación General	Material Granular						Material limo arcillosos					
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5	A-7-6
% pasante												
#10	50% máx											
#40	30% máx	50% máx					51% mín					
#200	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx	10% máx	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín	
Características del material que pasa por el tamiz #40												
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	N.P.	40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	41% mín
Ip	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín	
Ig	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx	
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos		

**Figura 5:** Clasificación de suelos según la AASHTO.

Dentro de este sistema de clasificación, se considera un factor adicional conocido como el Índice de Grupo, el cual se encuentra en un rango de valores que va desde 0 hasta 20 o incluso mayores. En esta escala, los valores más bajos indican la calidad superior de los suelos, y su cálculo se realiza mediante la Ecuación (2).

$$IG = (F - 35) * [0.2 + 0.05 * (LL - 40)] + 0.01 * (F - 15) * (IP - 10) \quad (2)$$

Donde (C. Kraemer, 2004):

- IG: Índice de grupo.
- F: Proporción de finos (que pasan por el tamiz N° 200).
- LL: Límite líquido.
- IP: Índice de plasticidad.

### 2.1.5. Compactación

Es un método apropiado y eficaz para mejorar la estabilidad de los suelos y, además, es una opción económicamente viable debido a las múltiples técnicas de compactación disponibles. Todo esto se realiza con el propósito de cumplir con los requisitos adecuados en términos de deformaciones permitidas, ya que estas deformaciones pueden ocasionar anomalías en el área donde se implanta la infraestructura. El objetivo principal es mantener la estabilidad requerida, y esto se logra gracias a la aplicación de energía mecánica en cada unidad de volumen del material que se compacta, utilizando maquinaria pesada que compacta el material en capas de espesor uniforme. Como resultado, la

aumenta resistencia y las propiedades físicas mejoran lo que se construye (C. Kraemer, 2004).

### Diagrama de densidad versus humedad

Es una representación gráfica utilizada en la ingeniería geotécnica para evaluar las propiedades de compactación de un suelo y determinar las condiciones óptimas de humedad y densidad para un suelo específico. En este diagrama, cada eje representa dos propiedades: la humedad en la parte horizontal, y la densidad seca, en el eje vertical (Y) (Figura 6).

Durante el proceso de compactación, se observa que la densidad del suelo cambia a medida que los espacios del suelo comienzan a reducir. Sin embargo, es importante destacar que esta variable no puede considerarse una referencia absoluta, ya que diferentes tipos de suelos muestran comportamientos distintos durante el proceso de compactación. Por esta razón, se emplea un término conocido como "grado de compactación" (C. Kraemer, 2004).

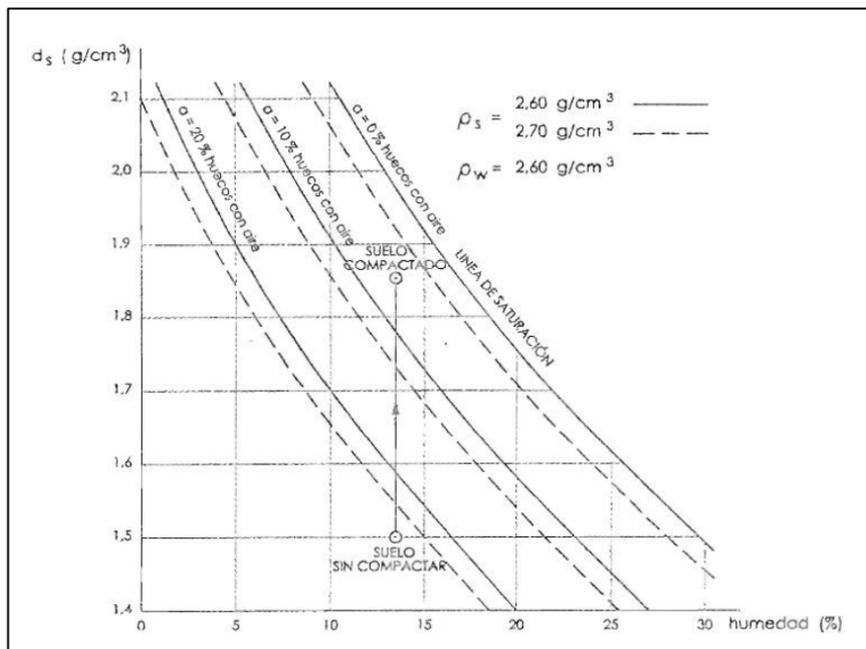


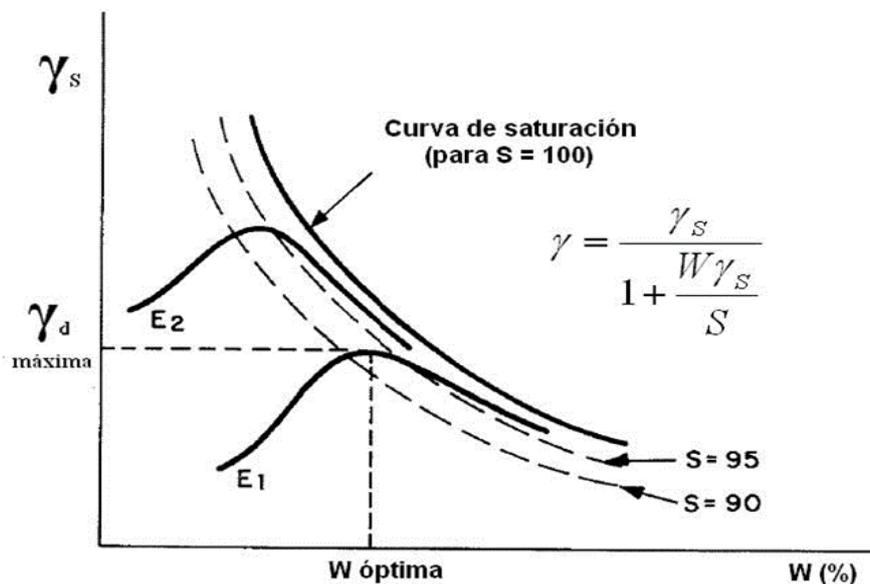
Figura 6: Gráfica de densidad real vs humedad.

En lo que respecta a la compactación, se calcula a partir de la comparación entre la densidad seca y la densidad máxima seca, siguiendo el siguiente procedimiento, expuesto en la Ecuación (3).

$$G_c\% = \frac{\text{Densidad Seca del Suelo en campo}}{\text{Densidad Máxima Seca en laboratorio}} * 100 \quad (3)$$

### Diagrama de humedad de compactaci3n vs. densidad seca

Es una representaci3n gráfica utilizada en la ingeniería geotécnica para ilustrar la relaci3n entre el contenido de humedad y la densidad seca de un suelo durante el proceso de compactaci3n. Este diagrama es esencial para comprender y controlar el proceso de compactaci3n del suelo y determinar las condiciones 3ptimas para lograr la máxima densidad seca en un suelo específico. En donde, al modificar la cantidad de agua en una muestra y aplicar un proceso de compactaci3n siguiendo procedimientos estándar, se nota una relaci3n entre la densidad seca resultante y el contenido de humedad. Esto implica que se puede determinar una humedad 3ptima para lograr la máxima densidad seca en diferentes tipos de suelo y métodos de compactaci3n (C. Kraemer, 2004), como se muestra en la **Figura 7**.



**Figura 7:** Gráfica generalizada de humedad de compactaci3n vs densidad seca.

## Energía de Compactación o Energía Específica

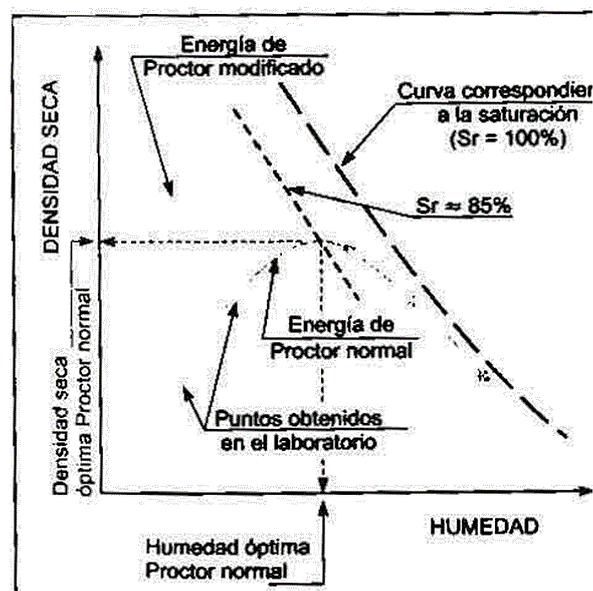
Se refiere a la energía que el suelo recibe sin considerar la compactación y es una de las características más significativas en este proceso. Su determinación puede llevarse a cabo en un laboratorio de manera sencilla, a través del Ensayo Proctor, con un apisonador y acorde a la Ecuación (4) (Rico Rodriguez, 2005).

$$E_e = \frac{N * n * W * h}{V} \quad (4)$$

donde:

- $E_e$ , Energía de Compactación.
- $N$ , Número de golpes por capa de suelo.
- $n$ , Número de capas.
- $W$ , Peso del pisón.
- $h$ , Altura de caída del pisón.
- $h$ , Volumen del molde.

Las curvas características se derivan de un proceso de compactación estándar llevado a cabo en el mismo tipo de suelo. En estas curvas, se observa claramente que la densidad crece de manera proporcional al incremento de la energía de compactación en un rango específico de contenidos de humedad utilizados en el proceso. Tal y como se puede observar en la **Figura 8**.



**Figura 8:** Diagramas típicos de humedad vs densidad seca con diferentes energías.

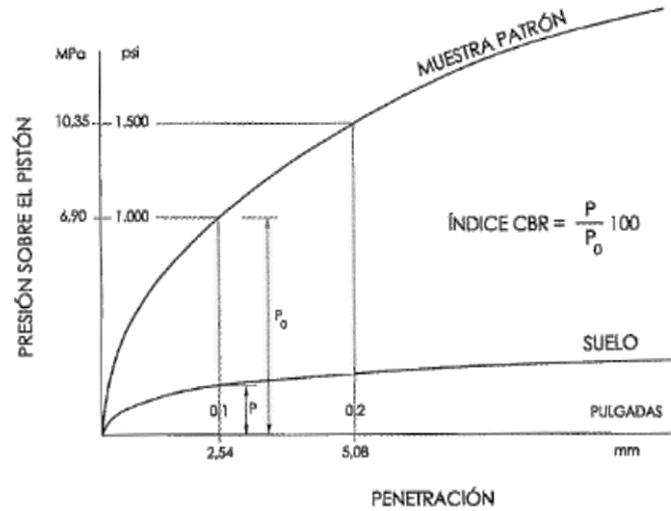
## **Ensayo CBR**

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) constituye un método de evaluación fundamental en la ingeniería geotécnica para determinar la capacidad de carga de los suelos. Este proceso se realiza posteriormente a la saturación del suelo, que se consigue mediante su inmersión en agua, replicando condiciones de saturación que podrían presentarse en situaciones reales de campo. La resistencia del suelo a esta penetración se compara entonces con la resistencia de una grava estándar, lo que resulta en un valor índice de CBR.

Este valor índice es de suma importancia, ya que permite estimar el espesor necesario de la capa de rodadura flexible en proyectos de construcción y diseño de pavimentos. La determinación del índice de CBR se basa en la relación específica entre la presión ejercida por el pistón y la profundidad de penetración en el suelo, analizada en muestras compactadas a diferentes niveles de energía (12, 30, 70 golpes), según los criterios establecidos. Este último especifica la obtención de una densidad seca mínima para los agregados utilizados, asegurando así la relevancia y la precisión del ensayo.

Un índice de CBR elevado indica una mayor resistencia del suelo y, por ende, la posibilidad de reducir el espesor de la capa de rodadura sin comprometer la integridad estructural ni la durabilidad del pavimento. Esta correlación entre el índice de CBR y el espesor de la capa de rodadura se fundamenta en la capacidad del suelo para soportar cargas, siendo un factor crítico en el diseño y la planificación de infraestructuras viales.

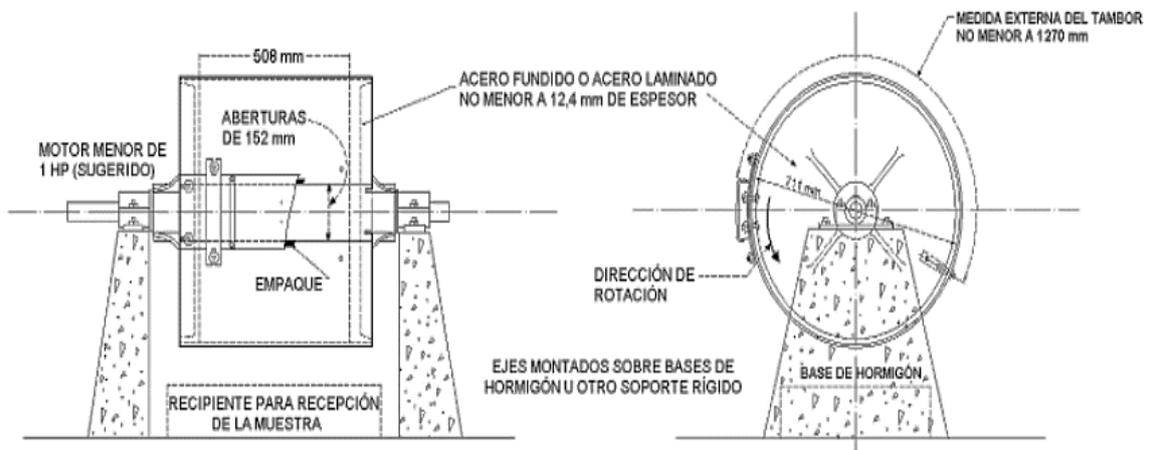
Para ilustrar de manera más clara el procedimiento y los resultados obtenidos en este ensayo, se puede hacer referencia a la **Figura 9**, que proporciona una visualización gráfica de los principios operativos del ensayo CBR, así como de la metodología aplicada para estimar el espesor de la capa de rodadura flexible (C. Kraemer, 2004).



**Figura 9:** Curva de determinación de índice CBR en laboratorio.

### Ensayo de abrasión

Evalúa la erosión de una cantidad específica de acción de impacto y trituración. Se usa conjunto fijo de esferas en rotación para simular el proceso de trituración, midiendo así el desgaste causado por dicho impacto. La máquina utilizada, denominada “Máquina de los Ángeles”, en la **Figura 10** se puede observar que consta de un cilindro cuyo interior debe ser completamente liso.



**Figura 10:** Máquina de los ángeles utilizada en el ensayo de abrasión (C. Kraemer, 2004).

### **2.1.6 Parámetros de naturaleza.**

Se distinguen por su invariabilidad, que persiste constante a lo largo del tiempo y permanece inalterable durante cualquier manipulación realizada en el suelo los elementos más significativos son:

#### **2.1.6.1 Variación volumétrica.**

Numerosos suelos experimentan variaciones en su volumen, expandiéndose y contrayéndose en respuesta a cambios en su contenido de humedad. Los incrementos en la humedad generan fuerzas expansivas que necesitan una gestión adecuada, ya que estas fuerzas pueden dar lugar a la elevación de superficies de pavimento, la inclinación de postes, la fractura de estructuras murales y la ruptura de sistemas de drenaje, entre otros problemas. Por lo tanto, es de vital importancia identificar los suelos con propiedades expansivas, analizar su composición y determinar el tratamiento más apropiado para prevenir estos inconvenientes (C. Kraemer, 2004).

#### **2.1.6.2 Permeabilidad.**

Se otorga relevancia a las presiones del fluido intersticial y los aspectos vinculados al desplazamiento del agua a través del suelo, ya que ambos procesos pueden incidir en la reducción de su resistencia.

#### **2.1.6.3 Granulometría**

Corresponden a las dimensiones de las partículas que contribuyen en términos del porcentaje de su peso total. Las características físicas y mecánicas de los suelos se ven directamente influenciadas por su distribución de tamaños de partículas, y la evaluación de esta granulometría es esencial para entender su respuesta ante esfuerzos mecánicos.

#### **2.1.6.4 Límites de Atterberg**

Son conocidos como límites, caracterizan por el comportamiento de suelos de agregado fino. Los límites llevan el nombre del científico sueco Albert Maurita Atterberg (1846-1916). Se basan en la idea de que, en suelos con partículas finas, existen cuatro estados de consistencia distintos según el contenido de humedad. Un suelo comienza en estado sólido cuando está seco. (Gaibor, 2021)

Para suelos compuestos por partículas finas, como la arcilla no estructurada, sus propiedades dependen de la cantidad de humedad presente.

Tomando el ejemplo de una masa de arcilla para entender mejor estos límites. Cuando la arcilla contiene agua, está en un estado líquido, ya que fluye como un líquido. Sin embargo, a medida que el agua se evapora, la arcilla se vuelve más plástica. Llega un punto en el que la arcilla pasa del estado líquido al estado plástico, y este punto se conoce como L.L., que determina contenido de humedad del suelo en ese momento.

Se evapora el agua, arcilla pierde su plasticidad y se seca, adquiriendo una consistencia semisólida. La transición del estado plástico al estado semisólido se denomina L.P. y su valor se basa en el contenido de humedad que tiene la arcilla en ese estado. Finalmente, existe un último límite que representa la transición del estado semisólido al estado sólido, conocido como límite de contracción.

### **Límite líquido (LL)**

Se trata del nivel de humedad, expresado como un porcentaje en relación con el suelo en su estado seco, marca la frontera entre el estado plástico y el estado líquido.

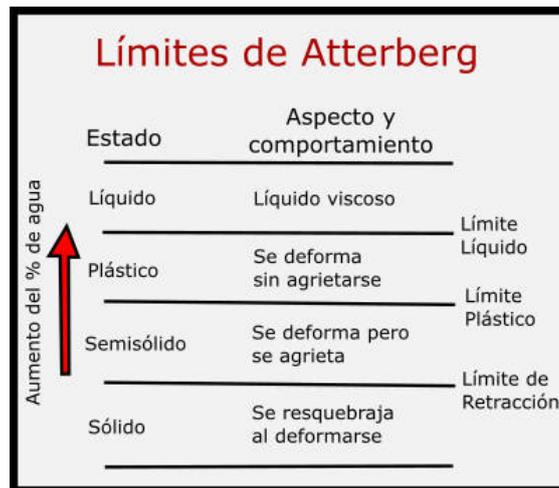
### **Límite plástico (LP)**

Corresponde al nivel más bajo de humedad en el que el suelo aún mantiene su capacidad de ser maleable.

### **Límite de contracción (LC)**

Experimenta una disminución del volumen. Los distintos límites que un suelo puede tener, así como la transición de estados en los que se producen estos cambios.

Para una mejor comprensión la **Figura 11** presenta cada uno de los límites de Atterberg tratados con anterioridad:



**Figura 11** : Representación Límites de Atterberg

**Fuente:** Libro de Geotecnia de la sociedad mexicana ( Sociedad Mexicana de Ingeniería, 2019).

### Índice de plasticidad (IP)

Estos factores no están vinculados directamente a las propiedades intrínsecas del suelo, sino más bien a las condiciones ambientales en las que se encuentran. En el caso de suelos susceptibles a los efectos del agua, el parámetro crítico que influye en condiciones de construcción de infraestructura vial es el "estado hídrico". (Villalobos, 2020).

#### 2.1.6.5 Resistencia Mecánica

La cantidad de humedad en los suelos juega un papel fundamental en su capacidad para soportar cargas. Hasta cierto punto de humedad, los suelos pueden conservar niveles de resistencia adecuados, pero cuando se excede la cantidad de agua, su resistencia disminuye, lo que se manifiesta a través de hundimientos, grietas, fisuras, hinchazones, entre otros problemas.

Durante la temporada húmeda, como el invierno, los suelos tienden a debilitarse debido a la absorción de agua, lo que pierde resistencia hasta obtener la saturación. Por otro lado, en la temporada seca, como el verano, los suelos disminuyen la humedad extremadamente rígidos. (Terzaghi & Peck, 200).

### **2.1.7 Procesos de compactación de los suelos y métodos del laboratorio**

Al igual que otros elementos naturales, mantiene un equilibrio entre factores que lo afectan. Cualquier desviación puede ocasionar alteraciones de naturaleza física, química o biológica. Entre las causas principales de estas alteraciones se encuentra la compactación del suelo ( Sociedad Mexicana de Ingeniería, 2019).

Existen dos situaciones de alto riesgo en lo que respecta a la compactación del suelo: en zonas con un tráfico. La compactación varía en función de la humedad y estructura de los suelos. En muchos casos, las empresas constructoras operan con maquinaria pesada sin establecer límites claros sobre dónde se encuentran o plantarán árboles. A menudo, no se comprende la extensión del sistema de raíces ni se consideran los efectos derivados de la compactación, lo que dificulta su resolución.

La aplicación de presión estática no resulta eficaz en este proceso, ya que las partículas se encajan unas con otras y resisten el movimiento.

Cuando las partículas pueden liberarse temporalmente, incluso presiones leves pueden forzarlas a acomodarse de manera más compacta. La presencia de agua facilita la compactación. Por esta razón, el flujo de agua se utiliza solo para facilitar la compactación en suelos con partículas de mayor tamaño, donde el agua se drena rápidamente.

Cuando se compacta efectivamente, se requiere una fuerza amplia superficie o mediante impactos y vibraciones. Por otro lado, en suelos cohesivos, se necesitan presiones más altas en el caso de suelos secos en comparación con los húmedos, el área de carga no resulta crítico. Mejora aumentando presión que se incrementa la densidad y la resistencia (Villegas, Jose, & Loria, 2018).

Existen numerosos métodos de laboratorio que replican. El primer método, ideado por el ingeniero Richard Proctor, "Ensayo de Proctor Estándar", se adaptó para tener en cuenta la energía de compactación y las máquinas modernas, y se le conoce como "Ensayo de Proctor Modificado".

### **2.1.8 Estabilización de Suelos**

Modificar las características y la calidad de un material con el fin de que satisfaga los requisitos necesarios para la construcción de una obra civil se conoce como estabilización de suelo existente. La elección del método de estabilización depende de consideraciones como la viabilidad, el costo y el proceso (Montejo Fonseca, 1999).

Para considerar dependerá del tipo de suelo a estabilizar y el costo. Las propiedades que resultarán afectadas y necesariamente se deberán tomar en cuenta es la estabilidad, volumen, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y periodo de tiempo.

#### **Clases de Estabilización**

##### **Uso de cal como estabilizante de suelos**

Implica introducción y utilización de cal, ya que este material es fácil de obtener y tiene un costo razonable, sin implicar un proceso costoso en su producción. La cal desempeña un papel como estabilizador de suelos, ya que con el tiempo ha demostrado aumentar la capacidad de soporte del suelo en proceso de estabilización. Además, mejora sus características plásticas y, en consecuencia, su resistencia al hinchamiento. La adición de cal es especialmente beneficiosa para subbases aplicadas en suelos arcillosos, ya que mejora significativamente su capacidad de soporte. Esto no solo facilita el proceso de construcción, sino que también permite reducir el grosor de las capas subsiguientes de la conformación, lo que a su vez reduce los costos (Montejo Fonseca, 1999).

## **Uso de Cemento como estabilizante de suelos**

Ha sido ampliamente utilizado desde hace varias décadas y se ha convertido en el más popular desde su inicio en 1917. Implica la incorporación parcial de cemento tipo Portland en el suelo en ciertas proporciones. El cemento se mezcla con el agua y suelo, se desencadena una reacción química que resulta en la formación del conocido silicato de calcio. Las partículas del suelo, al tener carga negativa, permiten que este enlace sea efectivo. Luego, se somete el material a un proceso de compactación. Esto, a su vez, conduce al aumento de la resistencia con el tiempo. Como resultado, se logra una mejora significativa en la capacidad de resistencia del suelo, lo que también permite reducir el espesor requerido para las capas subsiguientes de la estructura.

La principal dificultad que surge con este enfoque de estabilización es determinar la proporción de cemento apropiada para su aplicación, ya que este aditivo aumenta los costos del trabajo en el sitio de construcción. La cantidad de cemento requerida dependerá del suelo que se esté estabilizando, ya que esto influye significativamente en la cantidad necesaria de cemento (Montejo Fonseca, 1999). Es necesario llevar a cabo este procedimiento en un entorno de laboratorio para poder realizar un análisis de la resistencia. Inicialmente, se preparan probetas utilizando material humedecido que se compacta, y posteriormente, se seca. Los primeros en llevar a cabo este tipo de ensayo para evaluar la estabilización de suelo-cemento fueron profesionales en Inglaterra. Sometieron estas probetas de resistencia a la compresión y dio un resultado de 17.5 kg/cm que fueron ensayadas 7 días y curadas a una temperatura de 15 °C (ICPA, 2015).

## **Emulsión como estabilizante**

Se utilizan emulsiones asfálticas son agentes ligantes que mejoran la estructura. Y si no son plásticos, estos agentes ligantes mejoran la capacidad de la capa o suelo. En suelos con plasticidad, el agente de estabilización funciona como un sellador de huecos, lo que hace que el suelo sea impermeable. Uno de los cambios notables se observa en la densidad máxima, a mayor contenido, la densidad baja. La capacidad absorbe agua baja, que se

traduce en una mejora evidente en las propiedades mecánicas del suelo (Montejo Fonseca, 1999).

### **Ácido Fosfórico como estabilizante de suelos**

La introducción de un químico eficaz que ha demostrado funcionar de manera semejante al cemento o a la cal. Esto implica una rápida capacidad de cementación, lo que permite alcanzar densidades superiores. La desventaja radica en el alto precio de este material. (Montejo Fonseca, 1999).

### **Cloruro de Sodio como estabilizante de suelos**

Implica empleo exclusivo de sal como agente estabilizador, eliminando la necesidad de agua. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este agente puede lavar la sal, se convierte en un perfecto estabilizante (Montejo Fonseca, 1999).

### **Soda Cáustica como estabilizante de suelos**

Inicialmente, en India se realizó un ensayo pionero empleando hidróxido de calcio, lo que condujo a una estabilización eficaz, especialmente en suelos lateríticos. A pesar de sus beneficios, este enfoque presentaba inconvenientes significativos, como un coste elevado y la carbonatación inmediata al entrar en contacto con el oxígeno (Montejo Fonseca, 1999).

### 2.1.9 Definición de Pavimento

Se trata de una construcción de ingeniería compuesta por múltiples capas de material granular compactado. Estas capas se instalan en el suelo con el propósito de permitir el tránsito de diversas personas, por lo tanto, es esencial que posea características que cumplan con los estándares de comodidad y seguridad (Garzon Reina & Hernández Mendez, 2019). En relación a las especificaciones para su diseño, es posible mencionar de manera general los siguientes aspectos: el tráfico y la carga, es decir, cómo se utilizará por parte de los vehículos; el entorno ambiental, contemplando factores naturales como las precipitaciones y las condiciones climáticas en las que se implementará el proyecto vial; los materiales a emplear, considerando la idoneidad de los mismos en función del lugar de implementación y su relación costo / beneficio, abordando posibles fisuras que puedan surgir y la importancia de su detección y corrección oportuna. (Menendez Acurio, 2009).

#### Estructura del Pavimento Flexible

La estructura del pavimento son subrasante, subbase, base, carpeta asfáltica o carpeta de rodadura, tal y como se muestra en la **Figura 12**.



**Figura 12:** Estructura del pavimento flexible

#### Carpeta de rodadura o capa Asfáltica

Se refiere a una capa cuyo propósito es facilitar de manera segura el tránsito de los diversos usuarios de la carretera. Es esencial que cumpla estándares relacionados con sus elementos constituyentes, tales como las mezclas asfálticas y los materiales pétreos que la componen. Esto desempeña un papel importante en la resistencia ante las condiciones ambientales y las cargas generadas por los vehículos (Ortiz Mancera, 2017).

## Base de Agregados

Es material triturado separado y contener material fino, obtenido a partir de la trituración o material fino seleccionado. Esta capa se encuentra ubicada debajo de la capa de rodadura y su función principal es transferir las tensiones generadas por la carga de los vehículos, la subbase y subrasante. Es esencial que sean resistentes y ofrezcan fricción. Deben cumplir con el límite líquido de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 debe ser menor al 25 y que el índice de plasticidad sea inferior a 6. Además, el desgaste por abrasión en la máquina de los ángeles no debe superar el 40%, y el valor de CBR debe ser igual o superior al 80%. (MOP-001-F, 2002)

Se dividen en cuatro categorías de bases según su granulometría. La categoría "C" se obtiene al triturar completamente grava o roca utilizando equipos que permiten lograr la gradación adecuada para esta clase, y puede clasificarse como tipo A o tipo B, tal y como se observa en la **Figura 13**.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2" (50.8 mm.)	100	--
1 1/2" (38,1mm.)	70 - 100	100
1" (25.4 mm.)	55 - 85	70 - 100
3/4"(19.0 mm.)	50 - 80	60 - 90
3/8"(9.5 mm.)	35 - 60	45 - 75
Nº 4 (4.76 mm.)	25 - 50	30 - 60
Nº 10 (2.00 mm.)	20 - 40	20 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	10 - 25	10 - 25
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 12	2 - 12

**Figura 13:** Granulometría para la base de agregados Clase A y B.

**Agregados Clase 2:** Estas bases son formadas por gravas, donde al menos el 50% del material grueso proviene de esta fuente. Idealmente, este material se prepara en una planta para obtener la graduación requerida. En casos necesarios, se puede llevar a cabo una trituración adicional para lograr la graduación deseada, en la **Figura 14** se evidencia la granulometría correspondiente (MOP-001-F, 2002).

<b>TAMIZ</b>	<b>Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada</b>
1" (25.4 mm.)	100
3/4"(19.0 mm.)	70 - 100
3/8"(9.5 mm.)	50 - 80
Nº 4 (4.76 mm.)	35 - 65
Nº 10 (2.00 mm.)	25 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	15 - 30
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

**Figura 14:** Granulometría para la base de agregados Clase 2.

**Agregados Clase 3:** Son gravas o rocas trituradas el 25% del material, como se evidencia en la **Figura 15** (MOP-001-F, 2002).

<b>TAMIZ</b>	<b>Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada</b>
3/4"(19.0 mm.)	100
Nº 4 (4.76 mm.)	45 - 80
Nº 10 (2.00 mm.)	30 - 60
Nº 40 (0.425 mm.)	20 - 35
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

**Figura 15:** Granulometría para la base de agregados Clase 3.

**Agregados Clase 4:** Formados por materia derivada de procesos de trituración, y es esencial que carezcan de cualquier contenido de material vegetal. Además, deben presentar una granulometría uniforme, lo que significa que deben tener la graduación adecuada desde grueso hasta fino.

<b>TAMIZ</b>	<b>Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada</b>
2" (50.8 mm.)	100
1" (25.4 mm.)	60 - 90
Nº 4 (4.76 mm.)	20 - 50
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 15

**Figura 16:** Granulometría para la base de agregados Clase 4.

### **Subbase granular**

Esta capa de agregados tiene la función de facilitar el drenaje del agua que se infiltra desde la superficie o asciende por capilaridad. En términos de gastos, su fabricación resulta más rentable en comparación con la capa base granular (Ortiz Mancera, 2017).

### **Subrasante**

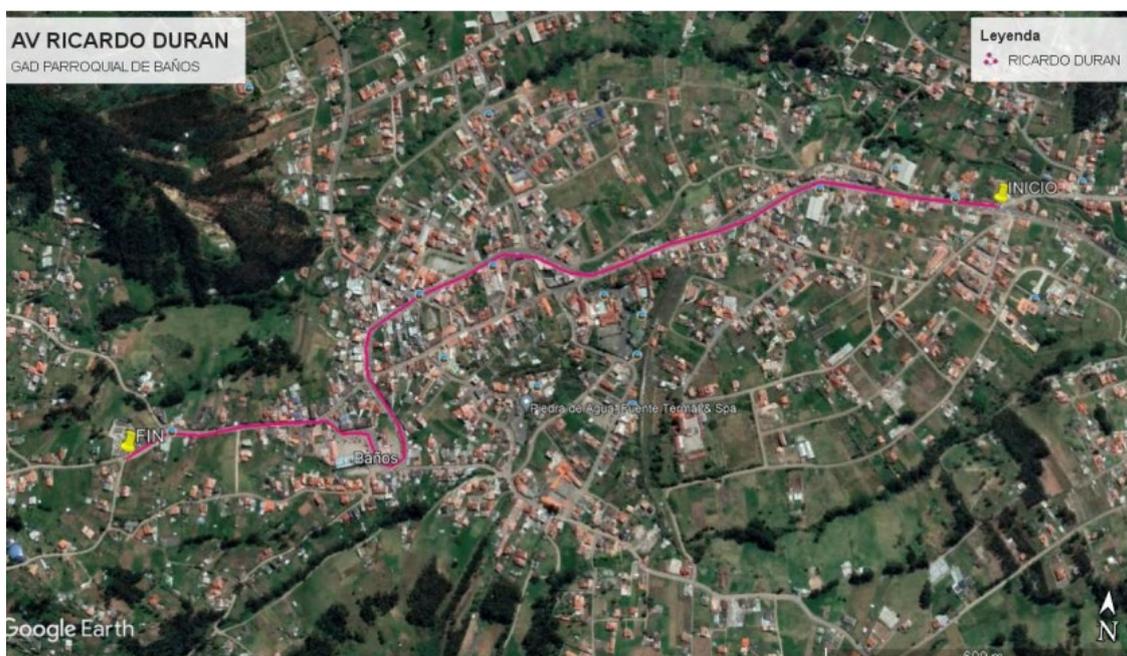
Se trata de la capa de la estructura del pavimento encargada de sustentar todo el conjunto. Generalmente, esta capa está compuesta por el terreno natural en el lugar donde se construirá la carretera. Sin embargo, en ocasiones, es necesario realizar mejoras en sus propiedades para asegurar que cumpla adecuadamente su función (Ortiz Mancera, 2017).

## CAPITULO III. -METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla la metodología empleada para analizar la estabilización de suelos en la avenida Ricardo Durán de la ciudad de Cuenca. Se describe el enfoque sistemático con recopilación de datos, la selección de muestras de suelo, fundamentales para evaluar la eficacia de diferentes técnicas de estabilización de suelos aplicadas en la región.

### 3.1 Ubicación del proyecto

Cuenca se ubica a una altitud de 2.538 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una población estimada de alrededor de 580,000 habitantes. Su área abarca unas 15,730 hectáreas y experimenta un clima con temperaturas que varían entre los 14° C y los 18° C a lo largo de todo el año. El valle en el que se localiza está delineado por sistemas montañosos con características excepcionales, y se caracteriza por un sistema hidrográfico compuesto por cuatro ríos principales: el Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Tarqui, los cuales atraviesan la ciudad de oeste a este. El proyecto consta de un tramo vial con una longitud total de 2.10 km., como se presenta en la **Figura 17**.



**Figura 17:** Ubicación de la avenida Ricardo Durán, Cuenca.

### 3.2 Etapas para la ejecución del proyecto

- Estudio de tránsito.
- Evaluación funcional del pavimento.
- Ensayo de la subrasante.

#### 3.2.1 Diseño de espesores de la estructura de pavimento flexible.

En la evaluación del tráfico para el tramo de estudio en la ciudad de Cuenca, se empleará los datos expuestos por el estudio de Diseño de pavimentos del Gad Parroquial de Baños en 2021 para la rehabilitación de la Avenida Ricardo Durán. Este estudio proporciona datos cruciales para calcular la carga vehicular diaria y proyectada en nuestro proyecto de investigación. AASHTO, requiere una cuidadosa determinación de ejes para 10 y 20 años. Es crucial el valor ya que son los vehículos que van por la vía. En base a los datos de las Tablas 2 y 3, calculó los ejes de 8.2 toneladas para cada tipo de vehículo, mediante la Ecuación (5):

$$ESALs = T_{diseño} \times FECT \quad (5)$$

donde:

- T diseño, tráfico diseñado para 10 y 20 años.
- FECT= Factor Equivalencia de Carga Total de cada vehículo se utiliza la Ecuación (6):

$$FECT = \sum_{i=1}^n FEC_t \quad (6)$$

con:

El dato de 8.2 toneladas se refiere a la cantidad de veces que una carga específica impacta sobre el pavimento durante el período de diseño. En consecuencia, es necesario determinar cuántas repeticiones de carga estándar de 8.2 toneladas (18,000 libras) equivalen a una sola pasada de dicha carga estándar.

Factor Ecuación (7) de la AASHTO.

$$FEC = \frac{Wt_{18}}{Wt_x} \quad (7)$$

Donde:

Factor de equivalencia es la Ecuación (8).

$$\left(\frac{W_x}{W_{18}}\right) = \left(\frac{L_{18} + L_{2s}}{L_x + L_{2x}}\right)^{4.79} * \left(\frac{10^{G/\beta_x}}{10^{G/\beta_{18}}}\right) * (L_{2x})^{4.33} \quad (8)$$

Para encontrar el valor del factor G, se emplea la Ecuación (9):

$$G = \log\left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5}\right) \quad (9)$$

Pt= Pérdida de servicio, es un indicador del nivel de servicio esperado que el pavimento debe proporcionar al término del periodo de diseño. Se ha establecido un valor de 2.50 de acuerdo con las directrices recomendadas por la AASHTO. Este valor refleja las expectativas en cuanto a la serviciabilidad del pavimento al finalizar su período de diseño.

$\beta x$  se emplea la Ecuación (10):

$$\beta x = 0,4 + \frac{0,081(L_x + L_{2x})^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} L_{2x}^{3,23}} \quad (10)$$

Para los 10 y 20 años se revisa los siguientes factores.

**Factor de Distribución por Dirección:**

La vía tiene sentido bidireccional. En consecuencia, se asigna un valor de 0.50 al factor de distribución por dirección como se observa la **Tabla 2**.

**Tabla 2:** Factor de Distribución por Dirección.

Número de carriles en ambas direcciones	FD
1	1.00
2	0.50
4	0.45
6 o más	0.40

**Factor de Distribución por Carril:**

Cuenta con carril por dirección. En consecuencia, se asigna un valor de 1.00 al factor de distribución por carril. Observemos la **Tabla 3**.

**Tabla 3:** Factor de Distribución por Carril.

<b>Número de carriles por dirección</b>	<b>FD</b>
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

### **Factor de Equivalencia de Carga**

Se calcula para cada eje de los diferentes tipos de vehículos establecidos en la Tabla 8. Es clave este valor ya que observa la carga del vehículo.

### **Evaluación de Pavimento**

Esta etapa consistió en determinar el estado superficial del pavimento; indispensable para brindar un servicio adecuado a los usuarios. Un pavimento debe cumplir con ciertas condiciones que garanticen la seguridad y confort durante la vida útil, por tal motivo, para conocer las condiciones superficiales del pavimento se utilizan indicadores o parámetros del estado del pavimento como; IRI, PSI y/o PCI.

El PCI es la metodología para la evaluación y calificación de pavimentos flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.

El deterioro de la estructura del pavimento se considera una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad. La formulación de un índice que abarque estos tres factores ha presentado desafíos debido a la diversidad de condiciones posibles.

(Yogesh, 2013) en su investigación denominada “Development of Overall Pavement Condition Index for Urban Road Network” especifica que el PCI es normalmente usado para definir etapas de mantenimiento para pavimentos existentes, en su investigación presenta la Tabla 4 de acuerdo con el valor del PCI definido presenta propuestas de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción.

En este contexto, la Tabla 4: Mantenimiento y/o Rehabilitación basadas en el PCI, brinda una guía práctica para la planificación y ejecución de actividades de mantenimiento y rehabilitación, con el objetivo de prolongar la vida útil de los pavimentos y garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios de la vía.

**Tabla 4:** Mantenimiento y/o Rehabilitación basadas en el PCI.

Valor	Calificación de la condición del pavimento	Estrategia	Alternativas de mantenimiento sugeridas
85-100	Excelente	Mantenimiento rutinario	Sellados de grietas, reposición de baches y bacheo
70-85	Muy bueno	Mantenimiento preventivo	Construcción de sobrecapas delgadas según AASHTO y sellado de fisuras.
55-70	Bueno	Rehabilitación	Construcción de sobrecapas
40-55	Regular		Fresado y construcción de sobrecarpeta
25-40	Malo		Pacheo de profundidades completas
10-25	Muy malo	Reconstrucción	Reciclado del material existente
0-10	Fallado		Reconstrucción completa

### 3.2.2 Determinación de Patologías

La evaluación de las patologías se llevó a cabo mediante inspección visual, donde se identificaron diversas clases de patologías, se evaluó su grado de severidad y se registraron sus dimensiones según la norma ASTM D 6433-03 "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Survey". En la **Figura 20** se ilustra, un ejemplo, de la identificación de diferentes patologías en la superficie de rodadura.



**Figura 18:** Agrietamiento en bloque (severidad alta).

Para el registro de campo de cada patología, se utilizó el formato presentado en la **Tabla 5**, que incluye información relevante como el nombre de la patología, su severidad (alta, media y baja), el área de muestreo (m<sup>2</sup>) y las dimensiones de la patología (largo, ancho y alto).

**Tabla 5:** Formato para la evaluación funcional del pavimento.

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO							
Parroquia:			Nombre vía:		Área de muestreo (m <sup>2</sup> ):		
Fecha:			Clima:	Soleado () Lluvioso () Nublado ()			
Abscisa inicial:				Abscisa final:			
PATOLOGÍA	SEVERIDAD			DIMENSIONES (m)			ESQUEMA
	L	M	H	Largo	Ancho	Alto	

### 3.2.3 Análisis de la información de los suelos de subrasante.

#### Ensayo de Cielo Abierto

El ensayo cielo abierto se realizó de acuerdo con la norma AASHTO T87-04. La muestra de referencia se realizó mediante el uso de una pala, asegurando representatividad y evitando la contaminación de la muestra. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis

detallado de la capacidad portante del suelo natural a través de mediciones y registros utilizando un flexómetro. La protección personal, como guantes y gafas, se empleó durante la ejecución del ensayo.

### **Ensayo de Contenido de Humedad**

El contenido de humedad se determinó siguiendo las normas AASHTO T265-15 y ASTM D2216-10. Se usó recipientes para humedad (aluminio o latón) y un horno con control de temperatura para medir la cantidad de agua presente en una muestra de suelo de aproximadamente 200 g.

### **Ensayo de Granulometría**

El ensayo de granulometría se llevó a cabo de acuerdo con las normas AASHTO T88-20 y ASTM D422-07.

### **Ensayo de Límite Líquido (Copa Casagrande)**

El ensayo de límite líquido se realizó conforme a las normas AASHTO T89-13 y ASTM D4318-17.

### **Ensayo de Límite Plástico**

La determinación del límite plástico se llevó a cabo siguiendo las normas AASHTO T90-20 y ASTM D4318-17.

### **Ensayo de Proctor Modificado**

El ensayo de Proctor Modificado se realizó según las normas AASHTO T180-20 y ASTM D1557-12.

### **Ensayo de Relación de Soporte California (CBR)**

El ensayo de Relación de Soporte California se llevará a cabo de acuerdo con las normas AASHTO T193-13 y ASTM D1883-16.

### 3.2.4 Ensayos materiales

El proyecto requirió investigación de campo utilizando diversos materiales, asegurando la correcta ejecución de cada actividad planificada, cumpliendo los objetivos planteados. En la **Tabla 6** se muestran cada uno de los materiales y equipos necesarios para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 6:** Materiales y Equipos.

ENSAYO	NORMA	EQUIPO	MATERIALES
Pozo a Cielo Abierto	AASHTO T87-04	Pala Barra Flexómetro Protección Personal	Muestra de Suelo
Densidad de campo (Método del cono y Arena de Ottawa)	AASHTO T191-14 ASTM D1556-07	Aparato de Cono y Arena Placa metálica Cincel Cuchara Balanza Martillo Fundas plásticas Brocha	Muestra de suelo
Contenido de Humedad	AASHTO T265-15 ASTM D2216-10	Recipientes para humedad (aluminio o latón) Horno con control de temperatura	Muestra de suelo aproximadamente 200 g
Gravedad específica de los sólidos de un suelo	AASHTO T100-15 ASTM D854-14	Tamiz #40 Picnómetro de 250 o 500 ml. Termómetro graduado de 0 a 100 °C Embudo Recipientes metálicos Pipeta Máquina de baño María Franela Balanza Horno con control de temperatura Espátula	Muestra de suelo aproximadamente 50 g. que pase el tamiz #40  Agua Destilada
Granulometría	AASHTO T88-20 ASTM D422-07	Tamizadora Tamiz #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200 y fuente Espátula Brocha Recipientes metálicos Horno con control de temperatura Balanza	Muestra cuarteada entre 200 a 1000 g.
Límite Líquido (Copa Casagrande)	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	Aparato Copa Casagrande Acanalador o ranurador Espátula Brocha Mortero de porcelana Pistillo con recubrimiento de caucho Tamiz #40 Recipientes para humedad (aluminio o latón) Balanza Horno con control de temperatura	Muestra de suelo aproximadamente 150 g. que pase el tamiz #40  Agua
Límite Plástico	AASHTO T90-20 ASTM D4318-17	Placa de Vidrio templado Espátula Brocha Mortero de porcelana Pistillo con recubrimiento de caucho Tamiz #40 Recipientes para humedad (aluminio o latón) Balanza Horno con control de temperatura	Muestra de suelo aproximadamente 150 g. que pase el tamiz #40  Agua

Proctor Modificado	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12	Molde $\phi$ 6", base y collarín Martillo de Compactación de 4.5 kg. Probeta graduada de 1000 ml. Palustre Regleta metálica Bandeja metálica Balanza Calibrador Pie de Rey Brocha Recipientes para humedad (aluminio o latón) Horno con control de temperatura	Muestra de suelo aproximadamente 24 kg. que pase el tamiz #4  Agua  Finos de PET/PP/PE
Relación de Soporte California (CBR)	AASHTO T193-13 ASTM D1883-16	Máquina de Compresión Molde $\phi$ 6", base y collarín Martillo de Compactación de 4.5 kg. Probeta graduada de 1000 ml. Palustre Regleta metálica Bandeja metálica Balanza Calibrador Pie de Rey Brocha Recipientes para humedad (aluminio o latón) Horno con control de temperatura	Muestra de suelo aproximadamente 18 kg. que pase el tamiz #4  Agua  Finos de PET/PP/PE

### 3.2.5 Procedimientos de Muestreo

En la fase de exploración llevada a cabo mediante métodos destructivos, se obtuvieron núcleos de la capa de rodadura existente, de los cuales se extrajeron y analizaron varios parámetros relevantes. Entre ellos se incluyen: peso específico bulk, espesores individuales de cada núcleo y contenido de betún asfáltico. Todos los ensayos de laboratorio se llevaron a cabo conforme a las metodologías establecidas con la norma ASTM (American Society for Testing and Materials).

En particular, al abordar la determinación del peso específico bulk de los núcleos, se identificaron patologías como "Pulimento de agregados" y "Agrietamiento en bloque" en toda la extensión de la vía. Debido al desgaste del betún asfáltico, los núcleos presentaron porosidades significativas. En este contexto, para determinar el peso bulk de los núcleos, se siguió el procedimiento definido por la norma ASTM D 1188. En caso de que el porcentaje de agua absorbida excediera el 2.00%, se utilizó parafina como recubrimiento; de lo contrario, se reportó el peso específico bulk sin aplicar dicho recubrimiento.

El contenido de betún asfáltico es otro parámetro empleado para calificar la calidad de la carpeta asfáltica existente, mediante la norma ASTM D 2172 y ASTM D 422.

Se realizaron cuatro calicatas mediante las cuales se determinó los materiales granulares y espesores de cada una. La información se presenta en el **Anexo 2**.

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados derivados del análisis y las investigaciones llevadas a cabo. En este segmento del trabajo, los datos obtenidos, meticulosamente recopilados y procesados, se presentan de manera detallada para revelar patrones, tendencias y correlaciones significativas. A través de la interpretación crítica de estos resultados, se pretende no solo abordar las cuestiones planteadas en los objetivos de la investigación, sino también profundizar en la comprensión global del fenómeno en estudio.

### 4.1 Evaluación del tráfico

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) proyectado para 2021 en la Avenida Ricardo Durán, abarca vehículos livianos, buses y diversos tipos de camiones y cuyos datos constituirán la referencia inicial para el diseño de pavimentos en las vías urbanas y rurales de Cuenca. En la **Tabla 7** se presentan los valores del TPDA del 2021.

**Tabla 7:** Tráfico Proyectado para 2021

TPDA PROYECTADO ANUAL											
Año	Liviano	Bus(2DB)	2D	2DA	2DB	3-A	2S2	2S3	3S2	3S3	TOTAL
2021	9642	275	0	371	0	44	2	143	58	7	10,542

#### 4.1.2 Tasas de Crecimiento

Las tasas de crecimiento anual mostradas en el estudio se calcularon considerando el periodo de 2021-2040, utilizando las recomendaciones de la Coordinación de Factibilidad de MTOP, las cuales serán esenciales para proyectar el tráfico futuro en las vías urbanas y rurales de Cuenca. Estas tasas, presentadas en la **Tabla 8**, son esenciales para proyectar el tráfico futuro en el diseño del pavimento.

**Tabla 8:** Tasas de Crecimiento Anual (%)

Tasas de Crecimiento Anual (%)			
Periodo	Liviano	Bus	Camión
2005-2010	4.49	2.12	3.41
2011-2015	3.99	1.89	3.03
2016-2020	3.6	1.7	2.72
2021-2040	3.27	1.54	2.48

### 4.1.3 Proyección del Tráfico

La proyección del tráfico es fundamental para el diseño del pavimento. Albarracín (2021), proporciona directrices valiosas al considerar.

En la **Tabla 9** se detallan los pesos adoptados para el cálculo de los factores de carga para diferentes tipos de vehículos.

**Tabla 9:** Pesos Cálculo de los Factores Camión.

Tipo de vehículo	Carga, eje llanta Simple (ton)	Carga, Eje Simple llanta Doble (ton)	Carga, Eje Tandem (ton)	Carga, eje Tridem (ton)
Liviano	1,65/ 2,50			
Bus(2DB)	7	11		
2D	3	7		
2DA	7	11		
2DB	7			
3-A	7	11	20	
2S2	7	11	20	
2S3	7			24
3S2	7		20	
3S3	7		20	24

Este enfoque permitió el daño de cada vehículo provoca en el tramo de diseño, crucial para nuestras evaluaciones de estabilización de suelos y diseño de pavimentos. Por lo que la información especificada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, las cuales presentan en **ANEXO 3**.

Se aplica los factores de distribución por dirección, por carril de dirección y equivalencia de carga, se presenta la Tabla 10 y 11 respectivamente indicando el número de ejes equivalentes durante 10 y 20 años.

**Tabla 10:** Cálculo del número de ejes equivalentes, periodo de 10 años.

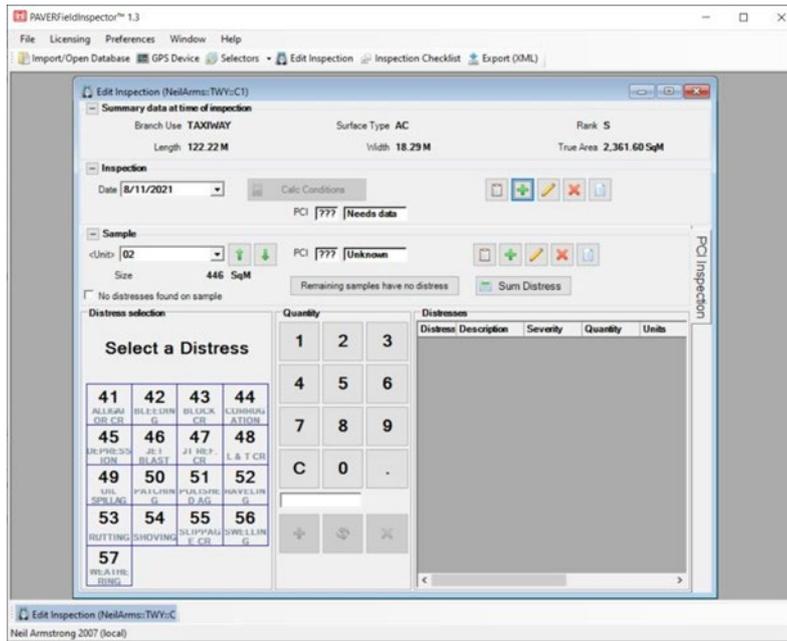
<b>NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES W18</b>					
<b>TIPO</b>	<b>Nº DE EJES</b>	<b>Composición %</b>	<b>FACTOR DE EQUIVALENCIA</b>	<b>TRÁNSITO 10 AÑOS</b>	<b>PERIODO DE 10 años</b>
Liviano	1	91.46%	0.0016	45,705,665	75,199
	1		0.0083		377,854
Bus (2DB)	1	2.61%	0.5494	1,193,185	655,574
	1		3.0060		3,586,739
2D	1	0.00%	0.0173	0	0
	1		0.0566		0
2DA	1	3.52%	0.0173	1,688,490	29,216
	1		0.5494		927,711
2DB	1	0.00%	0.5494	0	0
	1		3.0060		0
3-A	1	0.42%	0.5494	200,385	110,098
	2		2.9067		582,467
2S2	1	0.02%	0.5494	8,395	4,612
	1		3.0060		25,236
	2		2.9067		24,402
2S3	1	1.36%	0.5494	651,525	357,969
	1		3.0060		1,958,498
	3		1.5223		991,812
3S2	1	0.55%	0.5494	263,895	144,992
	2		2.9067		767,074
	2		2.9067		767,074
3S3	1	0.07%	0.5494	32,120	17,648
	2		2.9067		93,364
	3		1.5223		48,896
TOTAL W18					11,546,437
Factor de Distribución por Dirección				FD	0.5
Factor de Distribución Por Carril				FL	1
NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS ESALs				N	5,773,218

**Tabla 11:** Cálculo del número de ejes equivalentes, periodo de 20 años.

NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES W18					
TIPO	Nº DE EJES	COMPOSICIÓN %	FACTOR DE EQUIVALENCIA	TRÁNSITO 20 AÑOS	PERIODO DE 20 AÑOS
Liviano	1	91.46%	0.0015	103,904,915	153,654
	1		0.0075		775,209
Bus (2DB)	1	2.61%	0.5357	2,466,305	1,321,142
	1		3.1019		7,650,309
2D	1	0.00%	0.0157	0	0
	1		0.0519		0
2DA	1	3.52%	0.0157	3,673,725	57,591
	1		0.5357		1,967,929
2DB	1	0.00%	0.5357	0	0
	1		3.1019		0
3-A	1	0.42%	0.5357	436,175	233,649
	2		2.9829		1,301,053
2S2	1	0.02%	0.5357	19,345	10,363
	1		3.1019		60,007
	2		2.9829		57,704
2S3	1	1.36%	0.5357	1,416,930	759,016
	1		3.1019		4,395,220
	3		1.5169		2,149,271
3S2	1	0.55%	0.5357	574,510	307,752
	2		2.9829		1,713,688
	2		2.9829		1,713,688
3S3	1	0.07%	0.5357	69,350	37,149
	2		2.9829		206,862
	3		1.5169		105,194
TOTAL W18					24,976,447
Factor de Distribución por Dirección				FD	0.5
Factor de Distribución Por Carril				FL	1
NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS ESALs				N	12,488,223

#### 4.2 Evaluación funcional

En la determinación del (PCI), se empleó el software PAVERFieldInspector™ Version 1.3 desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers. La interfaz gráfica del programa se presenta en la **Figura 19**, y la información completa de las patologías identificadas en el tramo de estudio se almacena para calcular el PCI al final del proceso.



**Figura 19:** Captura de pantalla de programa

En la **Tabla 12** se muestra el reporte de las patologías determinadas en el tramo específico de la Av. Ricardo Durán, incluyendo descripción, severidad y cantidad en unidades específicas. Estas patologías se clasifican según su descripción y su severidad, así como la cantidad en unidades de metros cuadrados (m<sup>2</sup>) en las que se presentan. Entre las patologías identificadas se encuentran el pulido del agregado, las fisuras tipo "cocodrilo", el agrietamiento por bloques (Bloque y los parches de reparación cada uno de los cuales presenta distintos niveles de severidad y extensión en la superficie del pavimento.

**Tabla 172:** Patologías de Av. Ricardo Durán.

Descripción	Severidad	Cantidad	Unidad
Grieta	N/A	8,000.00	m <sup>2</sup>
Cocodrilo	alta	12.00	m <sup>2</sup>
Cocodrilo	alta	3.00	m <sup>2</sup>
Cocodrilo	Alta	8.00	m <sup>2</sup>
Cocodrilo	Alta	40.00	m <sup>2</sup>
Cocodrilo	Alta	12.00	m <sup>2</sup>
Cocodrilo	Alta	40.00	m <sup>2</sup>
Cocodrilo	Alta	120.00	m <sup>2</sup>
Cocodrilo	Alta	20.00	m <sup>2</sup>
Bloque	Alta	48.00	m <sup>2</sup>
Bloque	Alta	9.00	m <sup>2</sup>
Bloque	Alta	240.00	m <sup>2</sup>
Bloque	Alta	32.00	m <sup>2</sup>
Bloque	Alta	56.00	m <sup>2</sup>
Bloque	Alta	32.00	m <sup>2</sup>
Bloque	Alta	16.00	m <sup>2</sup>

Bacheo	Alta	56.00	m2
Bacheo	Alta	12.00	m2
Bacheo	Alta	240.00	m2
Bacheo	Alta	26.00	m2
Bacheo	Alta	20.00	m2
Bacheo	alta	40.00	m2

La mayoría de las patologías registradas presentan una alta severidad, lo cual sugiere la presencia de problemas significativos en la calidad y durabilidad del pavimento. Estos hallazgos indican la necesidad de implementar medidas correctivas y de mantenimiento urgentes para evitar un deterioro mayor de la infraestructura vial y garantizar la seguridad de los usuarios. La información detallada proporcionada en esta tabla resulta invaluable para la planificación y ejecución de acciones de mantenimiento y rehabilitación, permitiendo a los responsables de la gestión vial priorizar y asignar recursos de manera efectiva para abordar las patologías identificadas en la Avenida Ricardo Durán.

Con el análisis del software PAVERFieldInspector™ Version 1.3, se obtiene un valor del PCI igual a 17. La "Av. Ricardo Durán" tiene una calificación de la condición del pavimento "muy malo", y se recomienda una reconstrucción mediante el reciclado de la carpeta asfáltica existente. Este resultado se alinea con el objetivo de evaluar y diagnosticar la condición estructural del pavimento para proponer intervenciones adecuadas.

### **4.3 Estudio de la capa de rodadura**

Se realizaron núcleos en la capa de rodadura existente, de los cuales se extrajeron y analizaron varios parámetros relevantes. Entre ellos se incluyen:

- Peso específico bulk.
- Espesores individuales de cada núcleo.
- Contenido de betún asfáltico.

Todos los ensayos de laboratorio se llevaron a cabo conforme a las metodologías establecidas norma ASTM (American Society for Testing and Materials).

**Tabla 183:** Peso específico Bulk y espesores.

Costado	Abscisa	Peso Bulk promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor promedio	
			cm	pulg
Izquierdo	0+500	2190	8.92	3.51
Derecho	1+000	2148	8.77	3.45
Izquierdo	1+500	2211	6.62	2.60

#### 4.3.1 Contenido de betún asfáltico

La evaluación del contenido de betún asfáltico se llevó a cabo conforme a la normativa ASTM D 2172 y ASTM D 422, como se detalla en la **Tabla 14**. La información se presenta para diferentes ubicaciones y especificaciones, abarcando aspectos como la abscisa, el contenido de betún asfáltico en porcentaje, y los porcentajes de paso para distintos tamaños de partículas.

**Tabla 194:** Extracción de asfalto y granulometría.

Costado	Abscisa	Contenido de betún asfáltico (%)	% Pasa					
			3/4"	1/2"	No.4	No.8	No.50	No.200
Izquierdo	0+500	6.72	100	97	66	44	18	10
Derecho	1+000	5.70	100	96	65	43	22	6
Izquierdo	1+500	3.67	100	95	64	48	14	7
Especificación (MOP-001-F 2002) - Faja 1/2			100	90-100	44-74	28-58	5-21	2-10

Esta tabla proporciona datos fundamentales para la evaluación del estado estructural del pavimento y la identificación de posibles áreas de preocupación en términos de densidad y espesor. Estos valores son críticos para la planificación de actividades de mantenimiento y rehabilitación, ya que permiten detectar anomalías y realizar ajustes precisos para garantizar la integridad y la durabilidad de la infraestructura vial en la Avenida Ricardo Durán.

#### 4.3.2 Estudio de materiales granulares

En el análisis de materiales granulares, se realizaron ensayos de laboratorio en las calicatas correspondientes. La **Tabla 15** resume estos ensayos, presentando información sobre espesores, límites de Atterberg, humedad, granulometría, y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Se destaca la descripción de los materiales, indicando la presencia de grava y arena, el contenido de finos, y la

clasificación correspondiente. **Tabla 205:** Cuadro resumen ensayos de laboratorio, materiales granulares.

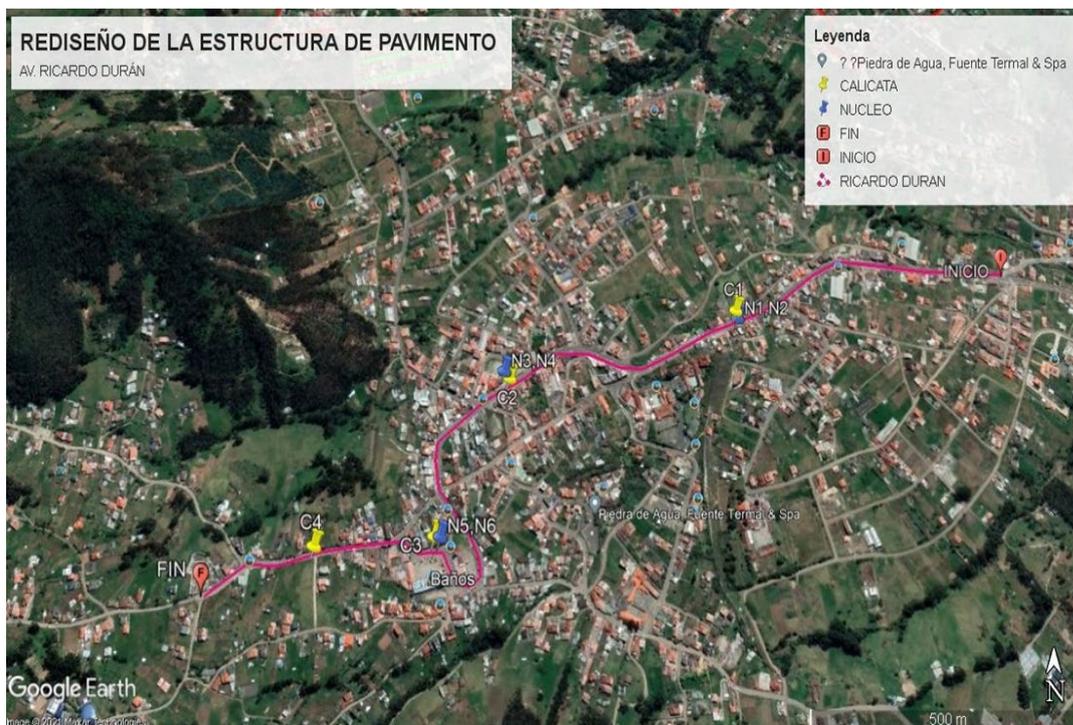
CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE LABORATORIO: MATERIALES GRANULARES											
CALICATA	MATERIAL	ESPESOR (cm)	LIMITES ATTERBERG			HUMEDAD Natural	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN	
			LL (%)	LP (%)	IP (%)		% de Grava	% de Arena	% de Finos (Pasa No. 200)	SUCS	Descripción
C1	BASE	20	25.33	20.74	4.59	9.3	61	31	8	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla
	SUBBASE	20	23.75	18.82	4.93	13.82	65	24	11	GP-GM	Grava mal graduada con limo
C2	BASE	20	-	NP	NP	9.86	66	21	13	GP-GM	Grava mal graduada con limo
	SUBBASE	20	23.75	18.82	4.93	13.82	65	24	11	GP-GM	Grava mal graduada con limo
C3	BASE	20	-	NP	NP	8.37	72	20	8	GP-GM	Grava mal graduada con limo
	SUBBASE	20	-	NP	NP	13.41	69	22	9	GP-GM	Grava mal graduada con limo
C4	BASE	20	-	NP	NP	7.4	60	28	12	GP-GM	Grava mal graduada con limo
	SUBBASE	20	-	NP	NP	13.41	69	22	9	GP-GM	Grava mal graduada con limo

La muestra de material granular presenta características particulares en términos de límites de Atterberg, contenido de humedad y distribución granulométrica. Por ejemplo, la muestra C1, clasificada como grava bien graduada con arcilla, exhibe un contenido de humedad del 9.3% y una distribución granulométrica con un alto porcentaje de grava y arena, lo que indica una buena gradación del material. En contraste, las muestras C2, C3 y C4 muestran un contenido de humedad y una distribución granulométrica similares, clasificadas como grava mal graduada con limo, aunque con variaciones en los límites de Atterberg y otros parámetros.

Estos datos son esenciales para comprender las propiedades y la calidad de los materiales granulares utilizados en la construcción de la base y subbase del pavimento en la Avenida Ricardo Durán. La información proporcionada en esta tabla facilita la selección adecuada de materiales y el diseño de mezclas que cumplan con los requisitos de resistencia, estabilidad y durabilidad para garantizar la integridad y el rendimiento óptimo del pavimento en la vía.

#### 4.3.3 Estudio de la subrasante

Se realizó perforaciones de 1.50 metros de profundidad detalladas a continuación:



**Figura 170:** Campaña de exploración zona de estudio.

En la **Tabla 16** se detallan los resultados geomecánicos derivados de los ensayos de laboratorio realizados en los materiales. La **Figura 20** proporciona la ubicación precisa de las calicatas correspondientes.

**Tabla 216:** Cuadro resumen ensayos de laboratorio subrasante.

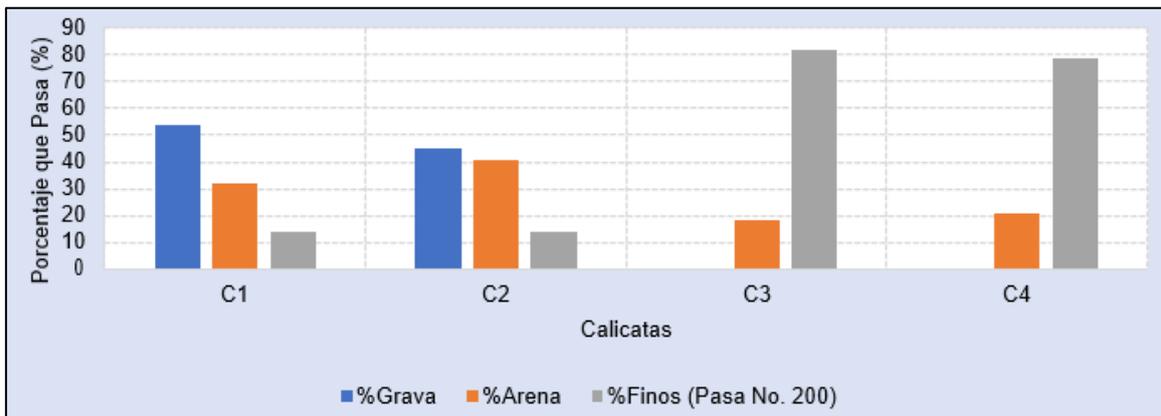
CUADRO RESUMEN ENSAYOS DE LABORATORIO: SUBRASANTE												
Calicata	LIMITES ATTERBERG			HUMEDAD	GRANULOMETRÍA			PROCTOR		CBR	CLASIFICACIÓN	
	LL	LP	IP		Natural	% de Grava	% de Arena	% de Finos (Pasa No. 200)	Densidad		Humedad	95%
	(%)	(%)	(%)	Seca max. (kg/m <sup>3</sup> )					Optima			
C1	24.55	19.76	4.79	13.35	54	32	14	1918	10.67	38	GC	Grava arcillosa
C2	25.55	20.32	5.23	14.83	45	41	14	1934	12.56	19	GC	Grava arcillosa
C3	45.67	23.36	22.31	34.09	0	18	82	1710	14.76	8	CL	Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad
C4	45.11	38.62	6.49	47.88	0	21	79	1329	28.06	2.9	ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad

Las diferentes muestras de subrasante presentan una amplia variedad de propiedades geotécnicas. Por ejemplo, la muestra C1, clasificada como grava arcillosa según el SUCS, muestra valores de límites de Atterberg y humedad que indican una moderada plasticidad y contenido de humedad. Además, la densidad Proctor y el CBR sugieren una buena compactación y capacidad de soporte de la subrasante. En contraste, las muestras C3 y C4 presentan características propias de arcillas y limos inorgánicos de baja

compresibilidad, respectivamente. Estos suelos muestran valores más altos de humedad y menor capacidad de soporte, lo que sugiere la necesidad de medidas adicionales de estabilización para garantizar la adecuada resistencia y estabilidad.

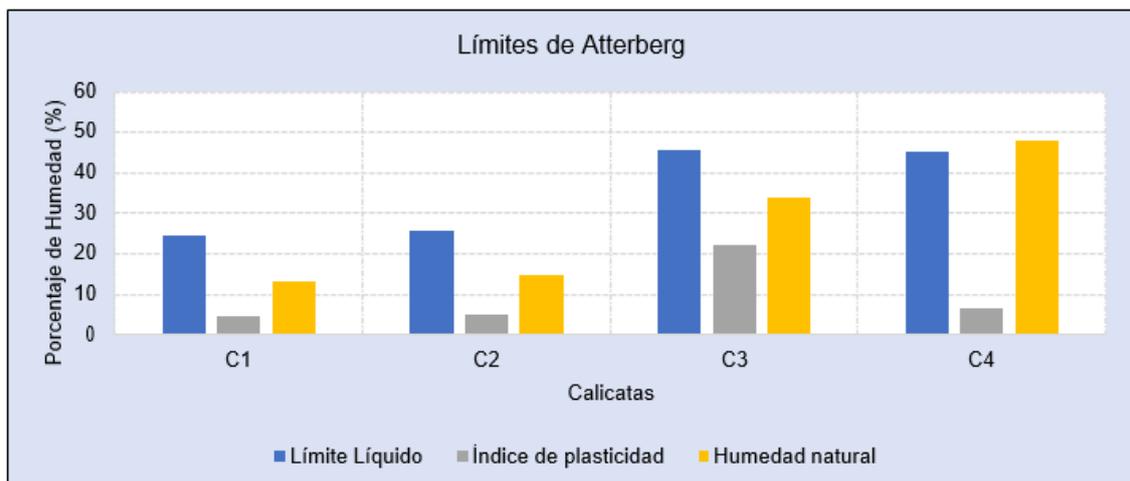
#### 4.3.4 Análisis de ensayos de laboratorio para el suelo de subrasante

La **Figura 21** exhibe la distribución granulométrica de los materiales presentes en la vía de estudio. Se observa que las calicatas C1 y C2 contienen materiales granulares, mientras que C3 y C4 consisten en materiales finos, como arcillas. Aunque los materiales de C1 y C2 se comportan como mejoramiento existente, debido al alcance del bulbo de presiones ( $D_f=1.50$  m), se consideran subrasante.



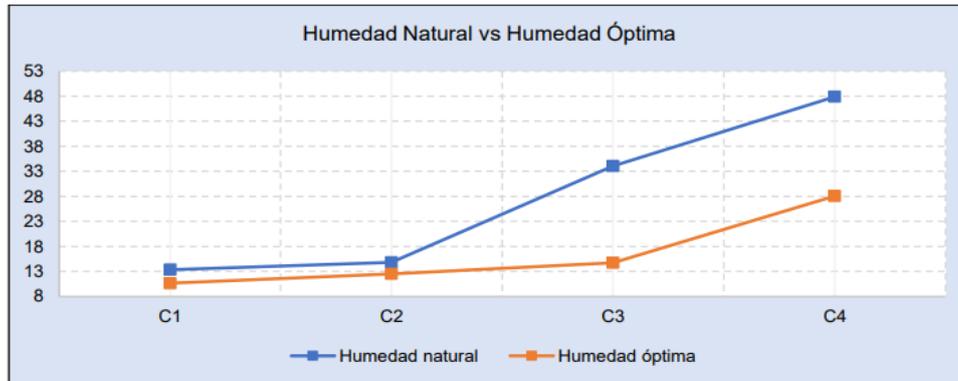
**Figura 181:** Distribución granulométrica de los materiales.

En la **Figura 21**, valores de plasticidad de los materiales, evidenciando que los materiales de C3 y C4 poseen límites líquidos promedio de 45.39%, indicando características arcillosas.



**Figura 192:** Valores de Límites de Atterberg.

La **Figura 22** muestra humedad óptima obtenidos a través del ensayo de P. Modificado y los valores de humedad natural. La conclusión es que la humedad natural del suelo todo el tiempo excede la humedad óptima. Por tanto, se sugiere diseñar un sistema drenaje en toda la vía. Esto se debe a que los geo materiales predominantes en la zona tienen matrices arcillosas con una permeabilidad muy baja, impidiendo su proceso de saturación.



**Figura 203:** Valores de la relación de humedad natural vs óptima.

La humedad natural exhibe un aumento significativo, especialmente entre C3 y C4, en contraste con la humedad óptima que muestra un crecimiento más moderado. En el análisis de los datos, se observa que las condiciones C1 y C2 presentan valores similares para ambas humedades, sugiriendo que en esas condiciones la humedad natural se aproxima a la humedad óptima. A partir de la condición C3, se nota un desajuste creciente entre las dos humedades, indicando que la humedad natural excede el valor de la humedad óptima. Este desajuste es más pronunciado en la condición C4, lo cual podría indicar que bajo dichas condiciones la humedad natural supera considerablemente lo que sería considerado como un estado óptimo, lo que podría tener implicaciones significativas en el contexto de estudio, como, por ejemplo, la gestión del riego en la agricultura o la estabilidad de estructuras en ingeniería civil, dependiendo de la aplicación específica de estos datos.

#### 4.3.5 CBR de diseño

Se realizó según los criterios de la **Tabla 17**.

**Tabla 227:** Rango del CBR para clasificación del material de subrasante. Fuente: Assis A, 1988.

Calidad	CBR (%)
Buena	>15
Buena-Mediana	5<BM<15
Mediana-Mala	2<MM<5
Mala	<2

Mayoritariamente, los valores del CBR de la subrasante pertenecen a materiales de calidad "Mediana-Mala" a "Buena", con valores que varían entre 2.90% y 38%.

De los resultados obtenidos en la campaña de exploración en la vía, se dispone de varios valores de CBR derivados de los materiales de la subrasante. Para determinar un valor representativo, se llevó a cabo un análisis estadístico de estos datos, conforme a las recomendaciones del Instituto del Asfalto.

En la **Tabla 18**, se presenta el valor del percentil, que depende del número de ejes equivalentes (W18).

**Tabla 1823:** Valor de percentil por nivel de tráfico.

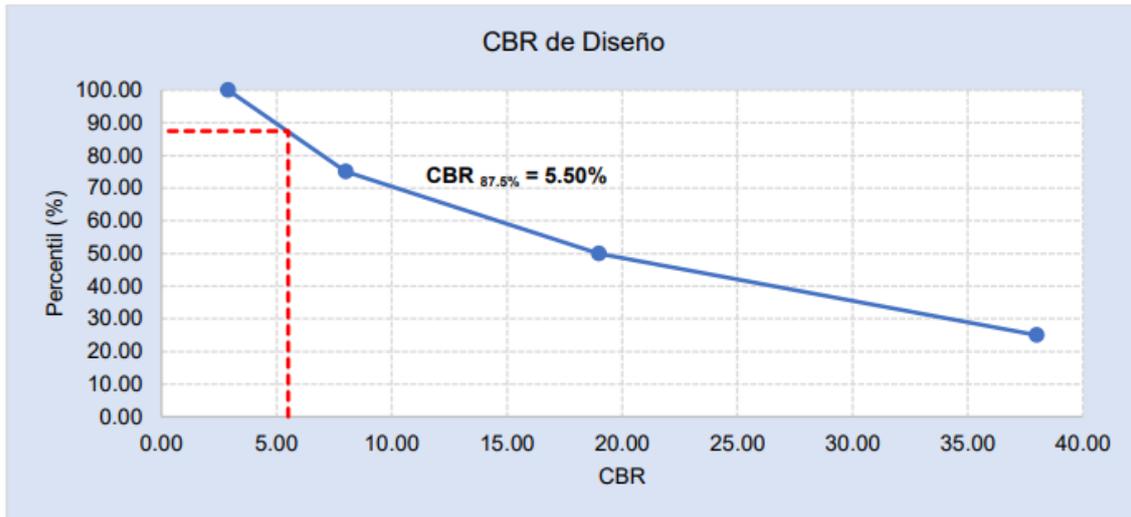
Valor del percentil por nivel de tráfico	
Nivel de Tráfico	Valor de percentil para diseño de subrasante
< de 10.000 ESAL's	60
Entre 10.000 y 1'000.000 ESAL's	75
> de 1'000.000 ESAL's	87.5

Fuente: MS-1 Del Instituto del Asfalto Manual (Velázquez, 2004)

En el análisis del tramo evaluado, se determinó un CBR de 5.50% con un percentil de 87.5%. Esta clasificación sitúa la subrasante como de calidad "Buena-Mediana", conforme a la **Tabla 19**.

**Tabla 19:** Valores de CBR.

Calicata	CBR al 95% de Compactación	Valores mayores o iguales	% de resultados mayores o iguales
C4	2.9	4	100.00
C3	8	3	75.00
C2	19	2	50.00
C1	38	1	25.00



**Figura 214:** CBR de diseño.

### 4.3.6 Módulo Resiliente

El Módulo Resiliente de la subrasante, aplicaron las normas AASHTO, basadas en el CBR de diseño. Las Ecuaciones (11) y (12) fueron utilizadas para inferir un valor de Módulo Resiliente de 7738 psi, partiendo del CBR de diseño (CBR DISEÑO=5.50%) para la "vía de estudio".

$$Mr(Psi) = 2555 \times CBR^{0.65}, CBR \leq 10\% \text{ (AASHTO 2002)} \quad (11)$$

$$Mr(Psi) = 4326 \ln(CBR) + 241 \quad CBR > 10\% \quad (12)$$

Con base en el valor de CBR designado (CBR DISEÑO=5.50%) para la "vía de estudio", se determina un Módulo Resiliente de 7738 psi.

## 4.4 Pavimento flexible

### 4.4.1 Parámetros de diseño

En la determinación de los espesores de las capas del pavimento vial, se AASHTO 1993. El objetivo primordial es diseñar el pavimento para evitar que las tensiones y deformaciones generadas por el tráfico vehicular superen la capacidad de la subrasante para soportarlas. En este contexto, se busca prevenir humedades en subrasante y bases, así como el aumento de la humedad que, aunque no alcance la saturación, podría afectar

el comportamiento del pavimento. Al aplicar el método AASHTO 93, se consideran varios parámetros importantes.

#### **4.4.2 Restricciones de Tiempo**

Las restricciones temporales están vinculadas al nivel de servicio ofrecido a los usuarios de la vía. Estos factores permiten seleccionar estrategias de diseño, desde estructuras diseñadas para durar todo el período de análisis hasta construcciones por etapas con una estructura inicial y sobrecapas programadas.

En la propuesta de este documento, se contempla un periodo de diseño de 10 años, seguido de la incorporación de una capa asfáltica como refuerzo estructural para alcanzar un periodo de diseño total de 20 años. Esta estrategia busca establecer una construcción por etapas y desarrollar un plan de mantenimiento efectivo.

#### **4.4.3 Factor de Confiabilidad**

Criterios relacionados con el rendimiento del pavimento frente a las solicitudes externas. La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado cumpla satisfactoriamente el diseño.

El factor de confiabilidad de diseño considera variaciones al azar en la predicción del tránsito y del comportamiento, proporcionando un nivel predefinido de confianza (R) en la supervivencia del pavimento durante su periodo de diseño. La **Tabla 20** presenta valores AASHTO con niveles de confianza.

**Tabla 20:** Niveles de confiabilidad.

Clasificación	Nivel de Confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas interprovinciales y otras	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras de Tránsitos	80 – 95	75 – 95
Carreteras locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Guía de Diseño AASHTO 1993.

La vía se sitúa en una zona de estudio con un nivel de confiabilidad del 85%, dado que funciona como "colectora de tránsito" y está ubicada en el área urbana del cantón Cuenca.

Para AASHTO, la desviación estándar total ( $S_o$ ), depende del pavimento.

Los valores sugeridos de  $S_o$  oscilan entre [0.40 - 0.50], y para rígidos, entre [0.35 - 0.45].

En el caso de la zona de estudio, se adoptará un valor de  $S_o=0.45$  para el pavimento flexible.

#### 4.4.4 Serviciabilidad

Representa la comodidad que ofrecerá inicialmente y disminuirá con el tiempo. Según AASHTO, los valores recomendados varían son los siguientes:

Serviciabilidad Inicial:

- $p_0 = 4.5$  para pavimentos rígidos y 4.2 para pavimentos flexibles

Serviciabilidad Final:

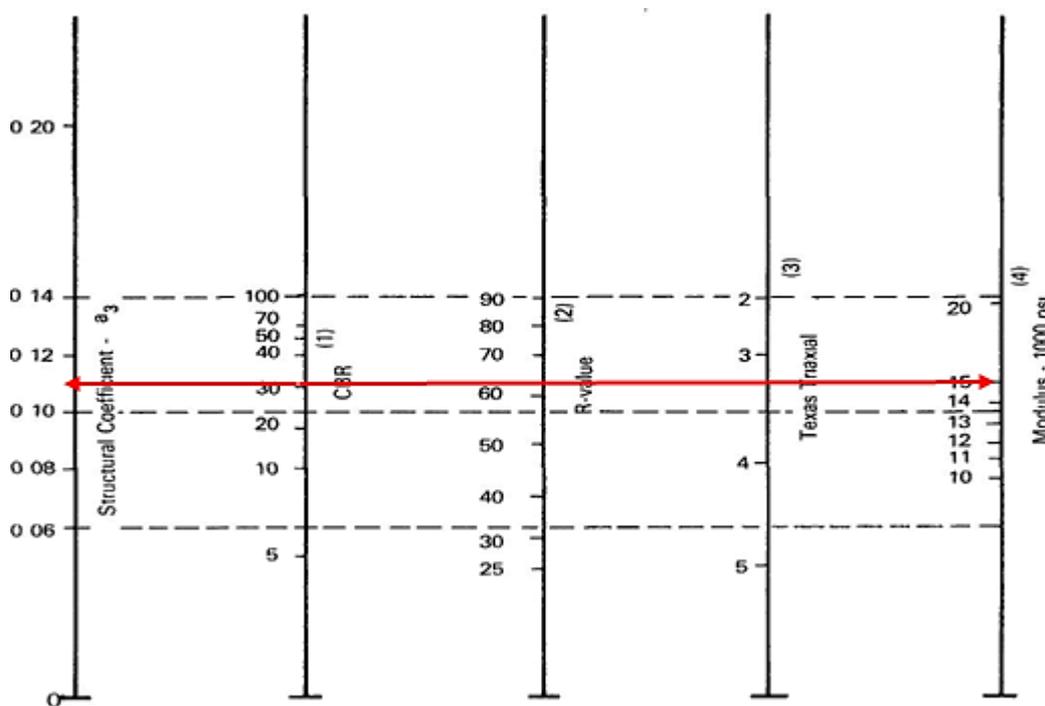
- $p_t = 2.5$  o 3 para caminos principales y 2.0 para caminos secundarios

Se ha considerado un índice de serviciabilidad inicial de 4.2 y final de 2.5 para la vía en cuestión, lo que implica una pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ) de 1.70 en el diseño del pavimento flexible.

#### 4.4.5 Propiedades de la Subbase Granular Existente

Para caracterizar las capas de la subbase, se requiere un CBR igual o superior al 30%, según la norma MOP-001-F 2002. La **Figura 25** de AASHTO 1993 presenta un coeficiente estructural de 0.11 y un módulo elástico de 15,000 psi. Sin embargo, para subbases existentes, se considera un coeficiente estructural de 0.09.

El coeficiente estructural de 0.09 se justifica para subbases existentes debido a su nivel de consolidación y compactación, que puede resultar en una menor capacidad portante en comparación con nuevas construcciones. Esta reducción en la capacidad estructural es consistente con prácticas de ingeniería establecidas para adaptarse a condiciones de suelo previamente compactado y consolidado.



**Figura 225:** Variación de los coeficientes de capa de subbase.

#### 4.4.6 Propiedades de la Base Granular Clase I

Requiere un CBR mínimo del 80%, según la **Figura 26**. Esto proporciona un coeficiente de capa de 0.130 y un módulo elástico de 28,000 psi.

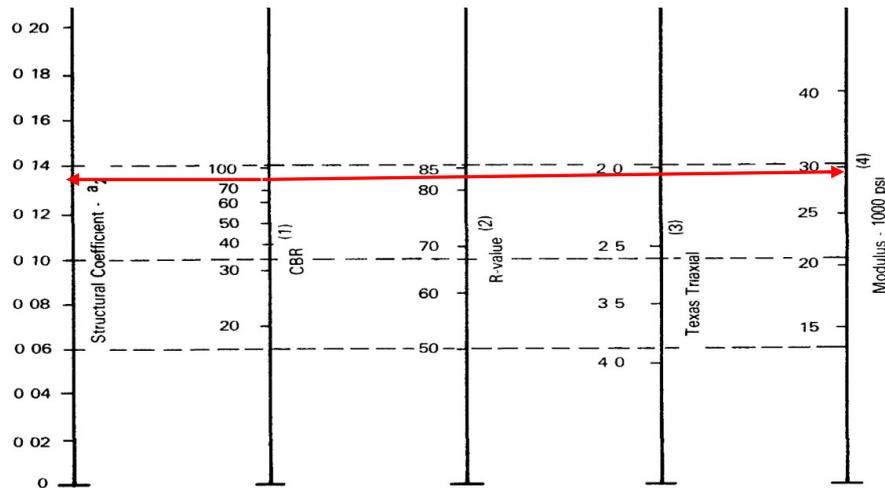


Figura 236: Variación de los coeficientes de capa para bases granulares.

#### 4.4.7 Propiedades de la Base Granular Mezclada con Cemento

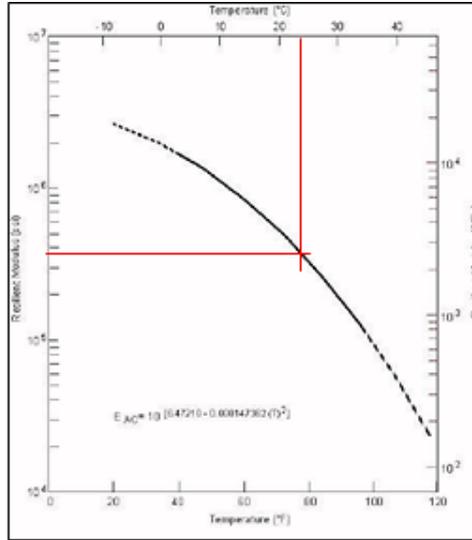
Para determinar el módulo elástico de la capa base estabilizada con cemento Portland, se aplican los datos recomendados en la guía de diseño AASHTO 93. La **Figura 27** establece un coeficiente de capa de 0.32 para capa la base estabilizada con cemento Portland debido a su mayor rigidez y capacidad estructural en comparación con otras capas del pavimento. Este valor refleja la contribución significativa de la capa base al soporte estructural y la distribución de cargas, asegurando un diseño adecuado y cumplimiento con las especificaciones de resistencia y durabilidad establecidas por las normativas MOP-001-F 2002. y un módulo elástico de 200,000 psi, cumpliendo así con las especificaciones MOP-001-F 2002.

COEFICIENTE DE CAPAS DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHO		
CLASE DE MATERIAL	NORMAS	COEF. (ca)
<b>CAPA DE SUPERFICIE</b>		
Concreto Asfáltico	EST. DE MARSHALL 1000-1800 LBS	0.134-0.173
Arena Asfáltica	EST. DE MARSHALL 500-800 LBS	0.079-0.118
Carpeta Bituminosa Mezclada en el Camino	EST. DE MARSHALL 300-600 LBS	0.059-0.098
<b>CAPA DE BASE</b>		
Agregados Triturados graduados uniformemente	P.I. 0-4, C B R > 100%	0.047-0.055
Grava Graduada Uniformemente	P.I. 0-4, C B R > 30- 80%	0.028-0.051
Concreto Asfáltico	EST. DE MARSHALL 1000-1600 LBS	0.098-0.138
Arena Asfáltica	EST. DE MARSHALL 500-800 LBS	0.059-0.098
Agregado Grueso Estabilizado con cemento	RESIST. A LA COMP. 28-46 KG/CM2	0.079-0.138
Agregado Grueso Estabilizado con cal	RESIST. A LA COMP. 7 KG/CM2	0.059-0.118
Suelo Cemento	RESIST. A LA COMP. 18-32 KG/CM2	0.047-0.079

Figura 247: Coeficientes estructurales de materiales (AASHTO, 1993).

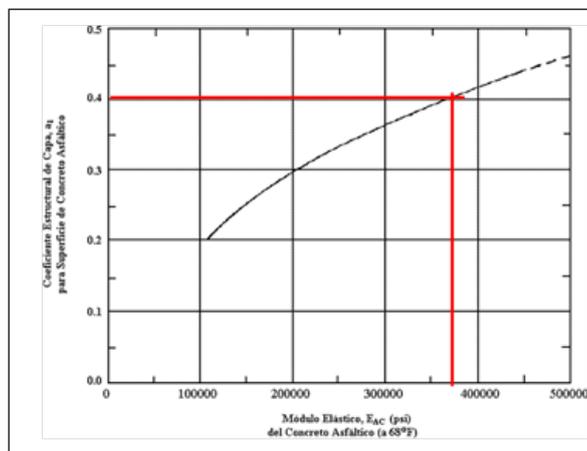
#### 4.4.8 Concreto Asfáltico en Caliente

El asfalto tiene un módulo elástico de 380,000 psi, correlacionado con la temperatura máxima de la zona de estudio (23.9 °C). La Figura 28, representa la vinculación entre asfalto y temperatura.



**Figura 2825:** Relación temperatura vs módulo elástico del concreto asfáltico (AASHTO, 1993).

La Figura 29 (AASHTO, 1993) establece la relación entre el módulo elástico del concreto asfáltico en caliente y el coeficiente estructural de la carpeta de rodadura.



**Figura 2926:** Relación del coeficiente estructural vs módulo elástico del asfalto (AASHTO, 1993).

#### 4.5 Diseño de pavimentos flexibles Método AASHTO 93

Pavimentos flexibles implica analizar varios factores, como tráfico, drenaje, clima, propiedades del suelo, nivel de serviciabilidad y el grado de confiabilidad deseado, en la vía. Son esenciales para ver cómo se comporta el pavimento y evitar que se alcance niveles inadecuados durante su periodo de diseño. El diseño para pavimentos flexibles es de 10 años pero se diseña para 20 años, con un mantenimiento en 10 años.

La AASHTO 1993 presenta la Ecuación (13):

$$\log W_{18} = Z_{R-S_o} + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log M_R - 8.07 \quad (13)$$

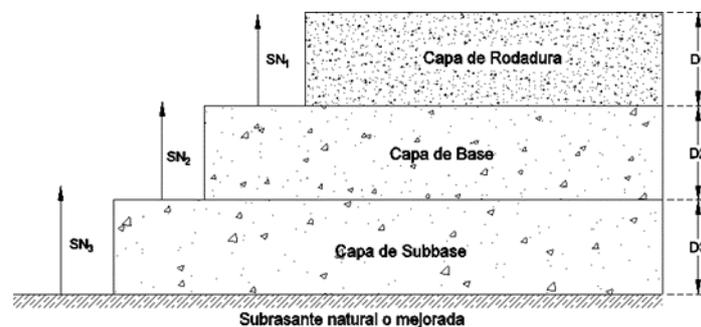


Figura 270: Subrasante natural o mejorada

El Número Estructural total del pavimento se encuentra en función de los espesores efectivos ( $D_i$ ) de cada una de las capas que lo constituirán, de los coeficientes de drenaje de estas ( $m_i$ ) y de los coeficientes estructurales ( $a_i$ ) que representan la resistencia relativa del material de cada capa, para lo cual se aplica la Ecuación (14):

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + \dots + a_n D_n m_n \quad (14)$$

**Drenaje:**

En la **Tabla 21** se dan definiciones generales para diferentes niveles de drenaje de la estructura.

**Tabla 2124:** Calidad de drenaje. Fuente AASHTO93

Calidad del Drenaje	Término para remoción del agua
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no drena

El nivel de drenaje del pavimento flexible se aborda mediante el uso de coeficientes de capas modificados, que se encuentran en la **Tabla 22** y se aplican solo a capas granulares.

**Tabla 225:** Valores del coeficiente de drenaje (mi).

Valores del coeficiente de drenaje (mi) recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y subbase granulares				
Calidad del drenaje	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de e humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Aceptable	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

El coeficiente de drenaje (*mi*) para materiales granulares es de 1.00, considerando que la calidad del drenaje es aceptable, con una exposición de 5-25%.

Es impráctico, antieconómico colocar capas de pavimento muy delgadas, los espesores mínimos que se presentan en la **Tabla 23**.

**Tabla 263:** Espesores mínimos recomendados por la AASHTO.

Espesores mínimos (pulg)		
N° de ejes equivalente (millones)	Concreto asfáltico	Base granular
<0.05	1.0 o TSD	4
0.05-0.15	2.0	4
0.15-0.50	2.5	4
0.50-2.00	3.0	6
2.00-7.00	3.5	6
>7.00	4.0	6

#### 4.5.1 Valores Adoptados para el Diseño

La **Tabla 24** incluye los parámetros adoptados para el diseño de la zona de estudio.

**Tabla 274:** Datos Iniciales.

VALORES ADOPTADOS		
Número de ejes Equivalentes para 10 años (N)	5'773218	
Número de ejes Equivalentes para 20 años (N)	12'488223	
Temperatura máxima de la zona	23.9	°C
Módulo elástico del Concreto Asfáltico	380000	psi
Coefficiente estructural mezcla asfáltica	0.4	a <sup>1</sup>
Módulo elástico de la Base granular	28000	psi
Coefficiente estructural base granular	0.13	a <sup>2</sup>
Módulo elástico de la subbase granular existente	15000	psi
Coefficiente estructural subbase granular existente	0.09	a <sup>2</sup>
Módulo elástico de la Base granular mezclada con cemento y reciclada con asfalto	200000	psi
Coefficiente estructural base granular mezclada con cemento y reciclada con asfalto	0.32	a <sup>2</sup>
Coefficiente de drenaje de la base / subbase existente	1	m <sup>2</sup>
Coefficiente de drenaje de la mezcla con cemento	1	m <sup>2</sup>
Índice de Servicio Final (Pt)	2.50	
Índice de Servicio Inicial (Po)	4.20	
Δ PSI	1.70	
Confiabilidad	85	%
ZR Desviación estándar normal	-1.04	
So Factor de corrección - predicción del tránsito y comportamiento de la estructura	0.45	
CBR de diseño (95%)	5.50	%
Módulo Resiliente de la Sub-rasante	7738	psi

#### 4.5.2 Alternativa de diseño: Carpeta Asfáltica, Base Reciclada con Asfalto y mezcla con cemento, Subbase Existente

Datos de la **Tabla 24**, presenta **Figura 31** un pavimento flexible, considerando una carpeta asfáltica en caliente y AASHTO 93. Además, en la **Tabla 25** existe análisis de espesores de capas y estructura.

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 85 %  $Z_r = -1.037$  So 0.45

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 7738 psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN = 4.36

W18 = 5773218

Calcular Salir

**Figura 281:** Número Estructural Requerido para un periodo de 10 años.

**Tabla 285:.** Espesor de pavimento flexible para un periodo de 10 años.

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES									
DATOS INICIALES									
Número de Ejes Equivalentes	5773218			Índice de Servicio Inicial (Po)	4.2				
Confiabilidad	85	%		Índice de Servicio Final (Pt)	2.5				
Desviación estándar normal ( $Z_R$ )	-1.04			$\Delta$ PSI	1.7				
So Factor de corrección - predicción del tránsito y comportamiento de la estructura	0.45			Número de Capas	3				
MÉTODO AASHTO 93									
CAPA	Descripción	Módulo Elástico psi	ai	mi	SN necesario	Di in	Di* in	SN*	
1	Capa Asfáltica	380000	0.400	1		3.01	4.00	1.60	
2	Base reciclada con cemento y asfal.	200000	0.320	1		5.66	5.91	1.89	
3	Subbase existente	15000	0.090	1		9.63	9.84	0.89	
4	Subrasante	7738							
					4.36			4.38	
NOMENCLATURA									
ai	Coeficiente estructural de la capa i			Di*	SN necesario < SN * CUMPLE				
mi	Coeficiente de drenaje de la capa i			SN*	Espesor de capa i-ésima corregido (definitivo)				
Di	Espesor de la capa I (obtenido de un predimensionamiento)				Número estructural calculado				

La **Tabla 25** muestra la estructura proyectada para un periodo de 10 años.

**Tabla 296:.** Estructura de pavimento definida para un periodo de 10 años.

CAPA	Diseño de pavimento flexible (10 años)	
	pulg	cm
Carpeta asfáltica en caliente	4.00	10.16
Base reciclada con cemento y estabilizada con cemento (6.80%)	5.91	15.00
Subbase existente	9.84	25.00
	TOTAL	50.16

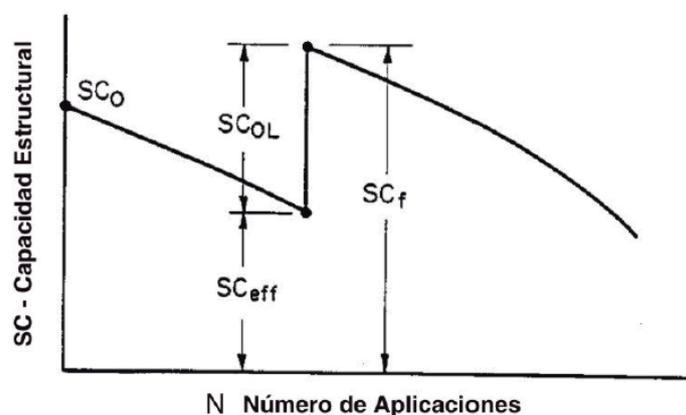
La estructura definida en la **Tabla 26** está diseñada para un ciclo de vida útil de 10 años. En el siguiente apartado se propone un refuerzo para extender la vida útil a 20 años.

Para 10 años, como se describe en la Tabla 28, muestra una configuración de capas que cumple con las especificaciones actuales en términos de resistencia y durabilidad. Sin embargo, al analizar estos datos, se destaca la necesidad de evaluar la capacidad de las capas existentes, como la carpeta asfáltica y la base reciclada con cemento, para mantener sus propiedades estructurales durante un período extendido de 20 años. Además, se sugiere considerar la implementación de un refuerzo o renovación del pavimento para extender su vida útil, tomando en cuenta aspectos técnicos, económicos y de mantenimiento.

#### 4.5.3 Sobre capa de refuerzo de concreto asfáltico.

Un pavimento al estar sometido a cargas de tráfico reiterativas a lo largo del tiempo, este empieza a deteriorarse y el grado de severidad, dependerá de su capacidad estructural. En un principio, un pavimento contará con una capacidad estructural  $SC_0$ , la cual irá decreciendo a través del tiempo, este deterioro en mayor o menor medida según la carga vehicular al que sea sometido, llegando a una capacidad efectiva  $SC_{eff}$ .

El procedimiento de la AASHTO, basado en la deficiencia estructural de un pavimento, establece que la deficiencia estructural  $SC_0$ , es igual a la diferencia entre el  $SC_f$  y  $SC_{eff}$  como se muestra en la **Figura 32** a continuación.



**Figura 32.** Capacidad estructural en función al tiempo y tráfico

La determinación de del parámetro SCef, es el de mayor complejidad. Para pavimentos flexibles será establecerá el número estructural SN, y su capacidad estructural eficaz por SNef, y el parámetro SNf como la capacidad estructural requerida a futuro.

Para la evaluación de un pavimento, es necesario, tomar en cuenta la condición actual y determinar el comportamiento futuro de sus componentes, la inspección visual, los ensayos no destructivos y el daño por fatiga de tráfico son metodologías que nos permiten evaluar la capacidad estructural de un pavimento.

Para calcular el refuerzo de concreto asfáltico, se considera el número estructural efectivo obtenido a 10 y 20 años respectivamente para cada tramo/acceso analizado, utilizando la Ecuación (15) .

$$D_{ol} = \frac{SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{SN_f - SN_{ef}}{a_{ol}} \quad (15)$$

Donde:

- $SN_{ol}$ : Número estructural requerido para el refuerzo (sobrecarpeta).
- $a_{ol}$ : Coeficiente estructural de la capa de hormigón asfáltico correspondiente a 0.40.

**Figura 33:** Número Estructural Requerido para un periodo de 20 años.

En la zona de estudio, considerando los números estructurales obtenidos para 20 años (SNf=4.89) y 10 años (SNef=4.38) y aplicando la ecuación anterior, se determina que el espesor de refuerzo requerido para cubrir la demanda de los próximos 10 años es de 1.27 pulgadas; por razones constructivas, se recomienda un refuerzo de 1.50 pulgadas. La **Tabla 27** resume la construcción para la estructura mencionada.

**Tabla 307:** Estructura final de pavimento considerando 2 etapas de construcción.

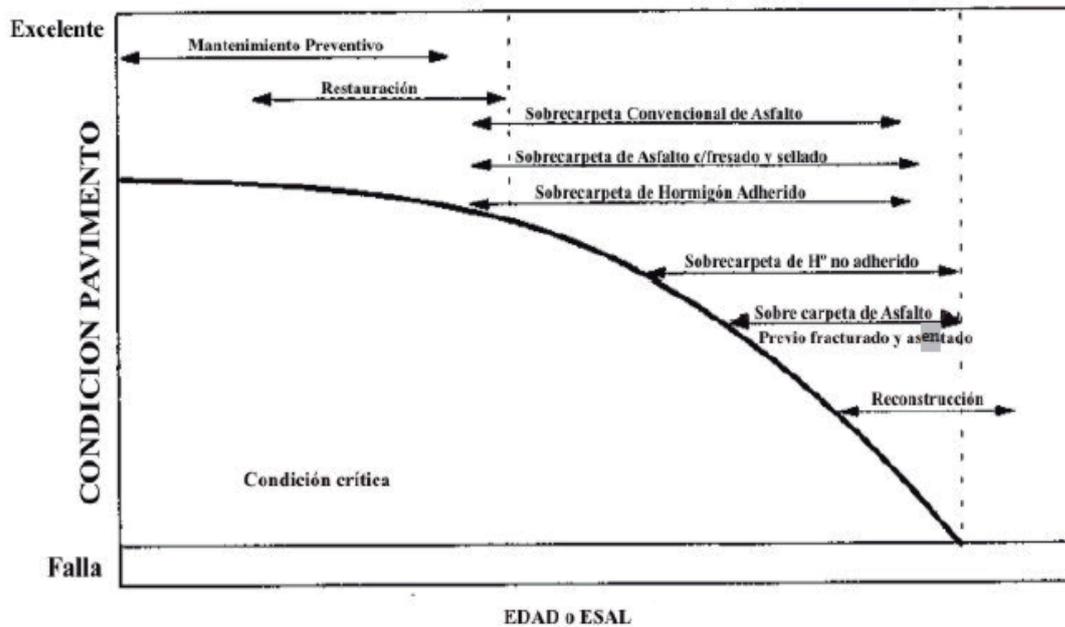
CAPA	Diseño de pavimento flexible (20 años)	
	pulg	cm
Refuerzo asfáltico (10 años)	1.50	3.81
Carpeta asfáltica en caliente	4.00	10.16
Base reciclada con cemento y estabilizada con cemento (6.80%)	5.91	15.00
Subbase existente	9.84	25.00
	TOTAL	53.97

#### 4.5.4 Proceso constructivo de rehabilitación

La colocación de sobrecarpetas, es la técnica más utilizada para la corrección de la capacidad estructural de un pavimento. Según la AASHTO existen cuatro procesos para la rehabilitación de una estructura:

- Restauración
- Reciclado
- Reencarpetado
- Reconstrucción – completa

Se debe realizar la evaluación de un pavimento, para poder determinar el origen de las causas que aportan al decrecimiento de la capacidad estructural del mismo, y luego de este análisis tener visión clara, para poder establecer la colocación de una sobrecarpeta como medida de mitigación del daño en el pavimento.



**Figura 34.** Espectro de la rehabilitación de pavimentos rígidos (Darter y Hall 1990)

Las técnicas de reparación pueden ser utilizadas en un conjunto de combinaciones, para mejorar el desempeño de la estructura, sin embargo, en algunos casos es mejor optar por una reconstrucción total a una sobrecarpeta, hablando desde el punto de vista económico.

Antes de la toma de decisión, es necesario realizar un diagnóstico de la estructura, para lo cual se recopila la siguiente información: Condición del pavimento, Condición de la berma, Diseño del pavimento, Materiales y propiedades de los suelos, Volumen de tráfico y cargas, Condiciones climáticas, Condiciones de drenaje, Factores geométricos, Aspectos de seguridad, entre otros. Al finalizar la etapa de recolección de datos, se realiza una evaluación de estos para llegar a una posible solución de reparación. Observar **tabla 28**.

**Tabla 28:** Reparaciones y métodos preventivos para pavimento flexible (AASHTO 1993).

<b>Deterioro</b>	<b>Métodos de reparación</b>	<b>Métodos preventivos</b>
Bombeo	Inyección	Resellar juntas Restauración de transferencia de carga Subdrenaje Soporte de esquina
Escalonamiento	Fresado Sobrecarpeta estructural	Inyección Resellado de juntas Restauración de Transferencia de carga Subdrenaje Soporte de esquina
Fisuras en losas	Reparación de espesor total Reemplazo/Reciclar carril	Inyección ante la pérdida de soporte Restauración de Transferencia de carga Sobrecarpeta estructural
Desportilladuras en juntas y fisuras	Reparación en espesor total Reparación de espesor parcial	Resellado de juntas
Levantamiento	Reparación en espesor total	Juntas de disminución de presión Resellado de juntas y fisuras
Punzonamiento	Reparación en espesor total	Grout con polímeros o epóxicos Lechada por pérdida de soporte Bermas rígidas
Fisuras en piel de cocodrilo	Reparación en espesor total	Sellado de fisuras
Exudación	Aplicar arena caliente	
Fisuras en bloque	Sellado de fisuras	
Depresión	Sobrecarpeta de nivelación	
Agregados pulidos	Resistencia al deslizamiento Tratamiento superficial Sello	
Baches	Reparación en espesor total	Sellado de fisuras y sellos de capa
Bombeo	Reparación en espesor total	Sellado de fisuras y sellos de capa
Descascaramiento y oxidación	Sellos de capa	Agente rejuvenecedor
Ahuellamiento	Sobrecarpeta de nivelación y fresado en frío	
Hinchamiento	Remoción y reemplazo	Impermeabilización de la berma

Con base en lo anterior, y de acuerdo con lo que se evidencia en la Figura 35, la capa de rodadura ha experimentado una pérdida del 90% de su integridad debido a fatiga (carga excesiva de tráfico) y, por ende, ha alcanzado su vida útil.



**Figura 35:** Estado actual de la capa de rodadura.

El proceso constructivo propuesto implica un fresado total de la carpeta asfáltica existente, con un espesor de fresado de 4 pulgadas (espesor variable). Este material fresado se reciclará con la capa de base existente, con un espesor de 15 centímetros. Finalmente, este material reciclado (asfalto fresado y base existente) se mezclará con cemento para formar la capa final. Posteriormente, se instalará una nueva carpeta asfáltica en caliente con un espesor de 4 pulgadas, permitiendo la construcción de 2 capas de 2 pulgadas cada una.

#### **4.6 Análisis Económico**

La evaluación de gastos de un proyecto es esencial en la fase de planificación de la construcción. Su objetivo es asignar valores económicos y financieros, identificando la opción óptima para llevar a cabo. La estimación inicial de costos es aproximada, se adapta a las particularidades de la obra y puede variar a lo largo del tiempo debido a cambios en la ejecución y fluctuaciones en los precios del mercado.

##### 4.6.1 Costo por m<sup>2</sup> de construcción vial

Para calcular el costo por metro cuadrado de construcción de obra vial utilizando tanto el método tradicional (Subbase clase III, Base clase I y Carpeta Asfáltica con espesor de 4 pulgadas) como la estabilización del material in situ (Base Estabilizada con emulsión

asfáltica y Carpeta Asfáltica con espesor de 4 pulgadas), se llevará a cabo un análisis detallado que incluirá tanto los costos directos como los indirectos. Esto permitirá obtener una estimación precisa del costo por metro cuadrado para cada método de construcción vial.

#### **4.6.2 Costos de Equipos y Herramientas**

Para determinar los costos de equipos y herramientas necesarios para el análisis del proyecto, se utilizarán como referencia los precios actuales del mercado para el alquiler de maquinaria utilizada en obras civiles en esta fecha. Estos precios servirán como base para calcular y estimar los costos asociados con el uso de equipos específicos requeridos para el proyecto en cuestión.

#### **4.6.3 Costos de Mano de Obra**

Para determinar los salarios mínimos del personal en servicios técnicos, se utilizará la información proporcionada por la Contraloría General del Estado para la construcción. Esto se basará en la tabla de remuneración básica unificada mínima correspondiente al año 2023. Estos datos servirán de base para realizar un análisis detallado de los costos laborales asociados con el personal técnico y arquitectónico involucrado en el proyecto.

#### **4.6.4 Costos de materiales**

Para obtener los costos de los materiales, sería beneficioso consultar los precios actuales establecidos en el mercado de la construcción, considerando las especificaciones técnicas detalladas del proyecto. Esto permitirá tener una estimación precisa de los costos de los materiales específicos requeridos para la obra, teniendo en cuenta las características y calidades necesarias según las especificaciones del proyecto.

#### **4.6.5 Costos de Transporte**

Para calcular el costo de transporte, sería útil consultar los precios actuales que se manejan en el mercado de la construcción, teniendo en cuenta la tarifa por metro cúbico por kilómetro (m<sup>3</sup>-Km). Esto proporcionaría una estimación precisa de los costos asociados con el transporte de materiales o equipos a lo largo de la distancia requerida para el proyecto en cuestión.

#### **4.6.6 Análisis de Precios Unitarios (APU)**

(APU) implica proceso para calcular los costos individuales de cada aspecto de trabajo por cada unidad de medida requerida en el proyecto. Esto incluye la evaluación de los costos asociados con equipos, herramientas, mano de obra, materiales y transporte.

Este análisis fragmenta el precio en sus componentes individuales. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo se presenta la plantilla utilizada para este propósito.

**Tabla 29:** Plantilla de formato para el análisis de los precios unitarios.

<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</b>					
PROYECTO: Análisis de estabilización de suelo para los pavimentos de la ciudad de Cuenca y su influencia en el diseño					
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
Rubro:				Unidad:	M3
Detalle:					
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D = C*R$
			SUBTOTAL M		
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Jornal/ hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D = C*R$
			SUBTOTAL N		
<b>MATERIALES</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unit.	Costo
		Kg.	A	B	$C = A*B$
			SUBTOTAL		
<b>TRANSPORTE</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unit.	Costo
		Kg.	A	B	$C = A*B$
			SUBTOTAL		
Costo unitario directo (m+n+o+p)					
Indirectos .....% 3.00% (q)					
Costo total del rubro (q+r+s)					
<b>Costo unitario propuesto</b>					

**Tabla 30:** Análisis de los precios unitarios

**Rubro:**

Tendido, compactado y mezclado de base reciclada con asfalto fresado, incluye cemento (Dosificación 150 kg de cemento por m3)

**Unidad:** m3**Detalle:**

<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
Herramientas varias	4,00	0,38	1,52	0,02230	0,03
Motoniveladora	1,00	45,00	45,00	0,02230	1,00
Rodillo Vibratorio	1,00	30,00	30,00	0,02230	0,67
Tanquero de agua	1,00	19,00	19,00	0,02230	0,42
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>2,12</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Peón	5,00	3,83	19,15	0,02230	0,43
Técnico obras civiles	1,00	4,09	4,09	0,02230	0,09
Operador de motoniveladora	1,00	4,29	4,29	0,02230	0,10
Operador de rodillo autopropulsado	1,00	4,09	4,09	0,02230	0,09
CHOFER: Tanqueros (Estr. Oc. C1)	1,00	5,62	5,62	0,02230	0,13
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,84</b>
<b>MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Cemento Portland Tipo I puesto en obra	saco	3,00	8,07	24,21	
Agua	lt	80,00	0,01	0,80	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>25,01</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0,00</b>	
	<b>TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>				<b>27,97</b>
	<b>INDIRECTOS</b>				18 %
	<b>UTILIDAD</b>				%
	<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>33,00</b>
	<b>VALOR OFERTADO</b>				<b>33,00</b>

**Tabla 31:** Resultados de precios unitarios

<b>PRECIOS UNITARIOS PARA UNA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS</b>	
Coste base cemento:	\$ 33,00 Costo Unitario Propuesto
Coste de mantenimiento decenal: \$ 0,34 en los primeros 10 años.	

### **3.1.1 Discusión de resultados**

El análisis de precios unitarios (APU) reveló resultados significativos para la evaluación económica del proyecto de estabilización de suelos en los pavimentos de Cuenca. El coste unitario estimado se sitúa en \$16,82 por unidad, proporcionando así una base fundamental para comprender los gastos individuales asociados con cada aspecto del proyecto vial.

En complemento con este hallazgo, el coste de mantenimiento proyectado para el periodo decenal inicial es de \$0,34. Esta cifra relativamente baja durante los primeros 10 años sugiere la eficacia potencial de la estabilización del suelo para los pavimentos urbanos y rurales. Implica, asimismo, una posible reducción considerable en los gastos de mantenimiento a largo plazo, lo cual podría generar ahorros significativos para las autoridades responsables del cuidado y mantenimiento de las vías. No obstante, es esencial considerar la proyección de costos futuros más allá de este período inicial. Esto implica evaluar cómo estos costos podrían evolucionar con el tiempo y cómo las fluctuaciones del mercado podrían impactar los presupuestos futuros. Esta perspectiva permitirá una planificación financiera más precisa y una gestión efectiva de recursos a largo plazo. En este sentido, la estabilidad de los costos a lo largo del tiempo es crucial. Las variaciones en los precios de materiales y la mano de obra podrían influir en la viabilidad económica del proyecto a largo plazo. Por consiguiente, es fundamental considerar estas variables al planificar los presupuestos futuros y desarrollar estrategias de mitigación de riesgos financieros.

Una recomendación clara se desprende de estos análisis: continuar implementando la estabilización de suelos para los pavimentos de Cuenca. Los costos unitarios razonables y los bajos gastos de mantenimiento iniciales respaldan esta sugerencia, aunque se sugiere la exploración de técnicas alternativas o prácticas optimizadas para potencializar aún más la eficiencia económica del proyecto.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Los resultados obtenidos de la evaluación del tráfico, la proyección futura y el cálculo de ejes equivalentes revelan algunas tendencias: En primer lugar, se proyecta un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) en la Avenida Ricardo Durán, abarcando vehículos livianos, buses y camiones de diferentes tipos. Estas cifras fueron cruciales para el diseño de pavimentos en Cuenca. Las tasas de crecimiento anual mostraron un patrón decreciente del tráfico a lo largo del tiempo, sustanciales para proyecciones futuras, para 10 años 5'773.218 número de equivalentes acumulados y para 20 años 12'488.223.
- La Evaluación Funcional del Pavimento, especialmente el Índice de Condición del Pavimento (PCI), proporciona una visión profunda del estado del pavimento. En el caso específico de la Avenida Ricardo Durán, el PCI obtenido reveló la necesidad de una reconstrucción, alineándose con el objetivo de evaluar y diagnosticar la condición estructural para intervenciones adecuadas, por lo que es necesario realizar un fresado de carpeta asfáltica, escarificar la base reciclada, compactar la subrasante, en lugares donde es necesario colocar pedraplen, posterior realizar la colocación de la base reciclada con cemento y para colocar la capa de rodadura de 4" de asfalto de acuerdo al diseño.
- El análisis de la capa de rodadura, los materiales granulares y la subrasante revelaron datos relevantes. Los ensayos de laboratorio mostraron la presencia de patologías, porosidades en la capa de rodadura y clasificaciones de materiales. Los resultados del CBR indican la subrasante, fundamental el diseño de pavimentos. Tiene un CBR de calidad Buena – mediana.
- Para la propuesta se realizó la colocación de 4" de asfalto, base reciclada con cemento 6.8 % 15 cm, y la subbase de 25 cm que existe con un recapeo de 20 años de 1.5" de recapeo.
- El análisis económico respalda la viabilidad y los efectos positivos de intervenir en la Avenida Ricardo Durán. Los costos previstos para reconstruir y mantener el pavimento están respaldados por los beneficios que generarán a largo plazo.
- Considerando la reducción significativa en costos de mantenimiento derivados de una reconstrucción integral y la prolongación del ciclo de vida del pavimento, se

evidencia una ventaja económica. Además, se proyecta una disminución en los costos asociados con congestiones viales y accidentes, generando ahorros adicionales para la comunidad. En resumen, el análisis económico sustenta la inversión en la mejora de la infraestructura vial, asegurando un retorno positivo tanto en términos financieros como en calidad de vida para los usuarios de la vía.

- Finalmente, los resultados del proyecto sugieren que la estabilización de suelos no solo proporciona una base más sólida y duradera para los pavimentos, sino que también tiene un impacto positivo en la reducción de los costos de mantenimiento a largo plazo. Esto tiene implicaciones significativas para la sostenibilidad y la gestión financiera de la infraestructura vial en la ciudad.
- La técnica de estabilización demostró ser efectiva para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, optimizando así el rendimiento de los pavimentos mejoró la capacidad portante del suelo, reduciendo la deformación permanente y la falla del pavimento, así como los costos totales de construcción y mantenimiento de pavimentos.

#### **4.1 Recomendaciones**

- Basándonos en los hallazgos obtenidos durante el desarrollo de este proyecto de investigación, se derivan diversas recomendaciones que podrían fortalecer futuros estudios en esta área. Primero, se sugiere ampliar el alcance temporal de la investigación para capturar posibles variaciones estacionales que podrían influir en los resultados. Además, sería pertinente explorar en profundidad las variables secundarias identificadas, lo que podría proporcionar una comprensión más completa del fenómeno en estudio.
- Para enriquecer la validez de los resultados, se propone aumentar el tamaño de la muestra y diversificar los grupos demográficos involucrados, abarcando una gama más amplia de perspectivas y experiencias. Esto, a su vez, permitiría realizar análisis comparativos más sólidos y generalizables.
- Se sugiere extender el período de estudio para capturar posibles variaciones estacionales que podrían influir en los resultados. Esto permitirá una comprensión más completa de los efectos de la estabilización de suelos en diferentes condiciones climáticas y a lo largo del tiempo.

- Se propone realizar un seguimiento continuado de los pavimentos estudiados para evaluar la durabilidad y eficacia de la estabilización de suelos a lo largo del tiempo.
- Analizar la importancia de la viabilidad económica a largo plazo, se recomienda realizar evaluaciones periódicas de los costos de materiales y mano de obra. También se sugiere la exploración continua de técnicas alternativas o prácticas optimizadas, para mejorar aún más la eficiencia económica y técnica del proyecto.

## Anexos

- Anexo 1. Conteo Vehicular y Velocidad

FECHA:		14/10/2021										HORA FIN:				
HORA INICIO:		00:00										24:00:00				
Fecha	Hora	Motos o Bicicletas	Vehículos de pasajeros livianos	Camionetas o vans con remolque	Buses de dos y tres ejes	Camiones de dos ejes	Camiones de 3 ejes	Camiones de más de cuatro ejes	Camiones de cuatro ejes (incluye remolques)	Camiones de 5 ejes (parte tractora y parte motora)	Camiones de más de 6 ejes	Camiones de 5 ejes (multi-trailer)	Camiones de 6 ejes (multi-trailer)	Camiones de 7 o más ejes (multi-trailer)	Desconocido	Total
14/10/2021	00:00-00:59	2	27	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
14/10/2021	01:00-01:59	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
14/10/2021	02:00-02:59	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
14/10/2021	03:00-03:59	0	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
14/10/2021	04:00-04:59	1	19	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
14/10/2021	05:00-05:59	1	81	8	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	94
14/10/2021	06:00-06:59	8	137	9	4	6	3	0	1	2	0	0	0	0	0	170
14/10/2021	07:00-07:59	18	222	14	7	8	3	0	5	2	1	0	0	0	0	280
14/10/2021	08:00-08:59	13	194	23	9	3	4	1	8	2	2	0	0	1	0	260
14/10/2021	09:00-09:59	9	189	16	7	7	6	2	2	2	0	0	0	0	0	220
14/10/2021	10:00-10:59	14	301	26	6	3	6	0	4	3	0	0	0	0	0	363
14/10/2021	11:00-11:59	11	391	33	8	5	5	0	5	3	0	0	0	0	0	461
14/10/2021	12:00-12:59	11	391	50	7	7	2	2	5	2	0	0	0	0	0	477
14/10/2021	13:00-13:59	10	399	31	6	2	1	0	6	3	0	0	0	0	0	458
14/10/2021	14:00-14:59	23	364	28	7	5	2	0	8	1	1	0	0	0	0	439
14/10/2021	15:00-15:59	15	346	36	3	9	2	1	4	1	0	0	0	0	0	417
14/10/2021	16:00-16:59	21	375	25	4	4	3	1	3	1	0	0	0	0	0	437
14/10/2021	17:00-17:59	16	349	35	0	4	2	0	1	0	0	0	0	0	0	407
14/10/2021	18:00-18:59	23	365	29	4	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	428
14/10/2021	19:00-19:59	17	364	25	6	4	3	0	0	1	0	0	0	0	0	420
14/10/2021	20:00-20:59	17	288	21	8	3	2	0	2	2	0	0	0	0	0	343
14/10/2021	21:00-21:59	8	229	14	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	255
14/10/2021	22:00-22:59	9	193	16	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	220
14/10/2021	23:00-23:59	5	142	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158

Fecha	Hora	5-14 KPH	15-24 KPH	25-34 KPH	35-44 KPH	45-54 KPH	55-64 KPH	65-74 KPH	75-84 KPH	85-94 KPH	95-104 KPH	105-114 KPH	115-124 KPH	125-134 KPH	135-144 KPH	145-154 KPH	Total
14/10/2021	00:00-00:59	0	1	0	15	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
14/10/2021	01:00-01:59	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
14/10/2021	02:00-02:59	0	0	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
14/10/2021	03:00-03:59	0	1	3	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
14/10/2021	04:00-04:59	0	2	3	12	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
14/10/2021	05:00-05:59	0	1	18	51	24	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94
14/10/2021	06:00-06:59	0	6	34	88	40	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	170
14/10/2021	07:00-07:59	1	0	60	157	48	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	288
14/10/2021	08:00-08:59	1	20	65	136	33	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	260
14/10/2021	09:00-09:59	0	11	71	108	30	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	220
14/10/2021	10:00-10:59	3	27	126	180	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	363
14/10/2021	11:00-11:59	3	33	178	215	29	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	481
14/10/2021	12:00-12:59	4	25	170	247	26	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	477
14/10/2021	13:00-13:59	2	22	192	209	32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	458
14/10/2021	14:00-14:59	2	23	164	230	26	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	439
14/10/2021	15:00-15:59	0	28	166	202	32	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	417
14/10/2021	16:00-16:59	0	16	172	216	31	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	437
14/10/2021	17:00-17:59	2	21	160	200	32	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	407
14/10/2021	18:00-18:59	2	12	162	223	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	428
14/10/2021	19:00-19:59	0	0	141	237	31	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	420
14/10/2021	20:00-20:59	1	13	107	188	33	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	343
14/10/2021	21:00-21:59	2	8	102	117	26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	266
14/10/2021	22:00-22:59	0	7	74	119	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230
14/10/2021	23:00-23:59	0	2	42	88	24	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158

• Anexo 2. Ensayo de materiales

ENSAYO :		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO	
NORMA :		ASTM D 422-63	
Fecha de Extracción :		sábado, 2 de octubre de 2021	
Fecha de Ensayo :		lunes, 4 de octubre de 2021	
Revisado por :		Ing. Flavio Albarracín LL	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO</b>			
Peso Inicial de la Muestra Seca		549.00	gr
Peso de la Muestra Después del Lavado		439.60	gr
Perdida por Lavado		109.40	gr
Tolerancia	80.073	%	
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (gr)	Ret Acumulado (%)
4"	101.60		
3"	76.20		
2½"	63.50		
2"	50.80	135.00	3.75
1½"	38.10	138.00	7.58
1"	25.40	16.00	8.03
¾"	19.00	186.00	475.00
1/2"	12.70	494.00	969.00
3/8"	9.53	397.00	1366.00
N°4	4.75	817.00	2183.00
PASA N°4		1417.00	
N°10	2.00	136.80	70.45
N°40	0.43	204.80	85.13
N°200	0.075	96.00	437.60
PASA 200		2.00	
Total Retenido :			
<b>RESUMEN</b>			
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		ESPECIFICACION MTOP	
Grava =	61	Límite Líquido:	LL = 25.33
Arena =	31	Límite Plástico:	LP = 20.74
Finos =	8	Índice de Plasticidad :	IP = 4.59
		Contenido de Humedad :	Wn = 9.30
		Grado de Consistencia :	Kw =
		Grado de Consistencia :	
<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>			
SUCS :	GW-GC Grava bien graduada con arcilla		
AASTHO :	A-2-4 (0)		

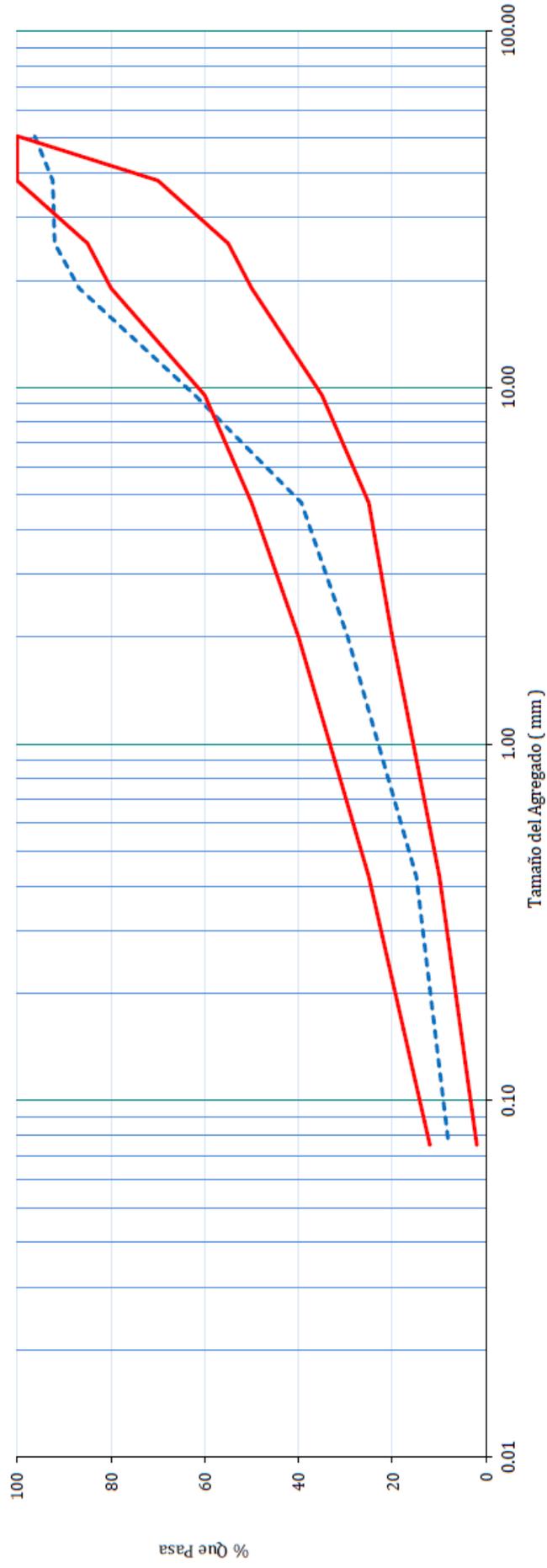
  

Calicata No :		1	
Profundidad:		NO	
Abscisa :		NO	
Material :		BASE CLASE 1A	
Lugar de Extracción :		Avenida Ricardo Durán	
Procedencia		Material granular existente	
<b>HUMEDAD NATURAL</b>			
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO TARRO (gr)
71		38.37	10.04
62		42.35	10.05
<b>LIMITE LIQUIDO</b>			
16L	39	69.02	37.54
30L	30	71.44	44.38
23L	20	41.82	18.87
13L	11	40.90	18.70
<b>LIMITE PLASTICO</b>			
63L		7.56	7.37
92L		18.75	18.54
		6.46	20.88
		17.52	20.59
		9.42	9.30
		23.64	24.76
		26.17	25.33
		28.25	20.74

**HUMEDAD vs No. GOLPES**

CURVA GRANULOMÉTRICA - BASE CLASE I A



METODO =	C	MOLDE # 1	Peso =	6055	gr
PROCTOR =	MODIFICADO	# Capas / Mol = 3	Volumen =	945	cc
		# Golpes / Capa = 56	Diametro =	4	pulg

**DENSIDAD DE LABORATORIO**

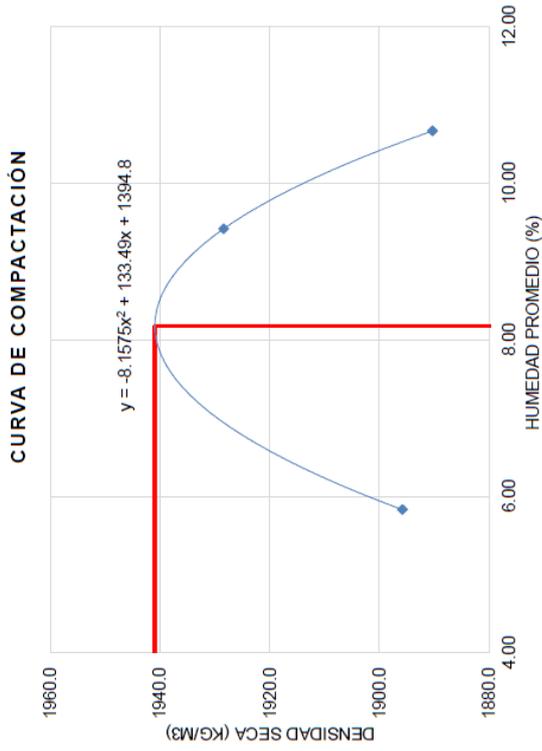
Molde #	1	2	3	4	5
Humedad inicial (%)	4	7	10		
Peso suelo hum + Molde (gr)	7951	8049	8032		
Densidad Húmeda ( Kg/m³)	2006	2110	2092		
Densidad Seca ( Kg/m³)	1896	1928	1890		

**PORCENTAJE DE HUMEDAD OPTIMA**

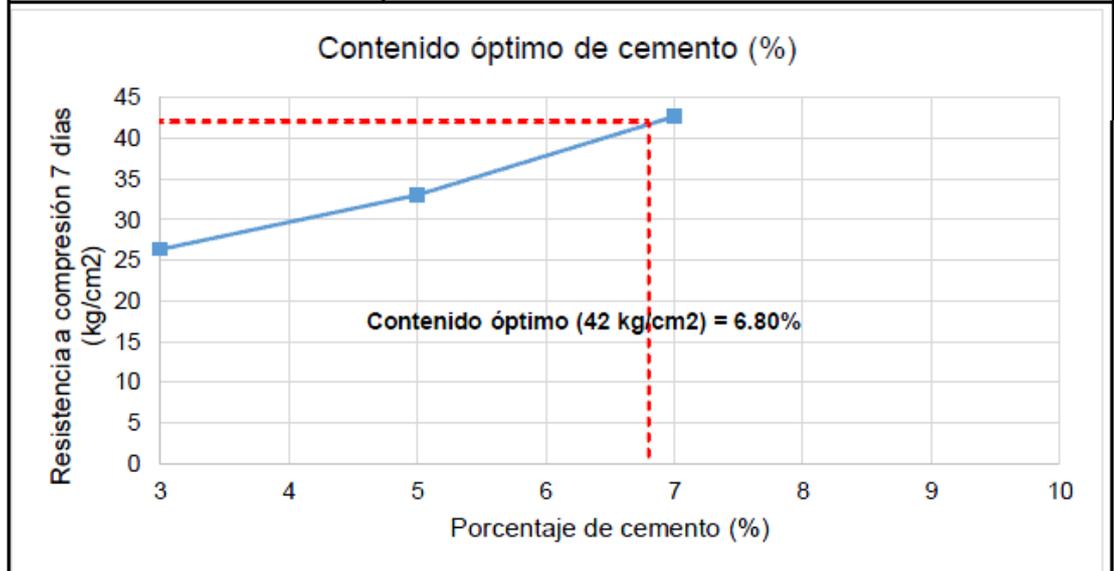
Molde #	1	2	3
Tarro #	91	67	94
Peso humedo + tarro	56.47	53.79	57.21
Peso seco + tarro	53.82	51.45	53.14
Peso de tarro	10.07	9.70	10.15
% de Humedad	6.06	5.60	9.47
% Promedio humedad	5.83	9.42	10.67

Observaciones :

Den. Máxima =	1.941 kg/m3
Hum. Optima =	8.18 %



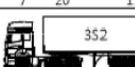
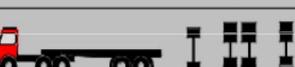
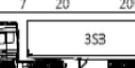
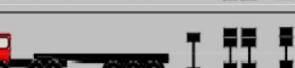
Porcentaje de cemento (%)	Resistencia a compresión - 7 días de curado (kg/cm <sup>2</sup> )
3	26.37
5	33.05
7	42.7



**Contenido de cemento óptimo = 6.80%**

- Anexo 3. Tabla de ejes

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
3S3			48	20,50	2,60	4,30

## Bibliografía

- Sociedad Mexicana de Ingeniería. (2019). *Geotecnia*.
- AASTHO. (1993). *Guide for desing of pavement structures*. AASTHO.
- Borselli, L. (2023). *Geotecnia I*. Recuperado el 10 de Octubre de 2023, de <https://www.lorenzo-borselli.eu/geotecnia1/>
- C. Kraemer, J. S. (2004). *Ingenieria de Carreteras VolIII*. Obtenido de ACADEMIA.edu: [https://www.academia.edu/43380215/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_Carreteras\\_Vol\\_I\\_I\\_Carlos\\_Kraemer\\_Jos%C3%A9\\_Mar%C3%ADa\\_Pardillo\\_Sandro\\_Rocci\\_Manuel\\_G\\_Romana\\_V%C3%ADctor\\_S%C3%A1nchez\\_Blanco\\_Miguel\\_%C3%8In\\_gel\\_del\\_Val](https://www.academia.edu/43380215/Ingenier%C3%ADa_de_Carreteras_Vol_I_I_Carlos_Kraemer_Jos%C3%A9_Mar%C3%ADa_Pardillo_Sandro_Rocci_Manuel_G_Romana_V%C3%ADctor_S%C3%A1nchez_Blanco_Miguel_%C3%8In_gel_del_Val)
- Caro Spinel, S. (2018). *Prácticas Ssotenibles en infraestructura vial*. Universidad de los Andes.
- Carpio, E. (2014). *Pavimentos de la ciudad de Cuenca*. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, Guayaquil.
- CONGOPE. (2019). *Plan de desarrollo vial de la provincia*. Cuenca: BID. Obtenido de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Azuay-plan-vial-integral.pdf>
- COOTAD. (2019). *Código organico territorial*. Obtenido de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_org.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdf)
- Duque Escobar, G., & Enrique Escobar, C. (2016). *Geomecánica*. Recuperado el 30 de Octubre de 2023, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/geomecanica.pdf>
- Fonseca, A. (1999). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Obtenido de <https://mega.nz/file/mTwBnKiK#N4rrUPz5vdLZfVfKxrdJgRDgkWcKM7V7myLGq03WIBY>
- Gaibor, G. (2021). *Desarrollo de modelo predictivo de límites*. Obtenido de <https://repositorio.ub.edu.ar/bitstream/handle/123456789/9544/Gaibor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garzon Reina, A. M., & Hernández Mendez, L. Y. (15 de Mayo de 2019). *Proceso constructivo de Pavimento*. Recuperado el 30 de Octubre de 2023, de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5711/CARTILLA.pdf?sequence=2>
- Gomez, Luna, E. (01 de Abril de 2014). *Metodología de revisión de literatura para la gestión científica y de la información, a través de su estructuración y sistematización*. Obtenido de Scielo: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532014000200021](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200021)
- Gutierrez Klinsky , L. (23 de oCTUBRE de 2020). *CAF*. Obtenido de ¿Cómo optimizar los recursos para mejorar las vías urbanas?:

<https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2020/10/como-optimizar-los-recursos-para-mejorar-las-vias-urbanas/>

- Hernández Sampieri, R., & Fernández Collado, C. (01 de Enero de 1997). *Metodología de la Investigación*. Obtenido de MCGRAW-HILL: [https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n\\_Sampieri.pdf](https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf)
- ICPA. (01 de Julio de 2015). *Construcción de Bases y Subbases de Suelo Cemento*. Recuperado el 30 de Octubre de 2023, de <https://icpa.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/2015-07-Construccion-Suelo-Cemento.pdf>
- Kroger, S., & Kroger, I. (2019). Emulsiones asfálticas por grado de desempeño. *Congreso Ibero americano del asfalto*, 1803 - 1814.
- Menendez Acurio, J. R. (15 de Agosto de 2009). *Ingeniería de Pavimentos*. Recuperado el 30 de Octubre de 2023, de <https://es.scribd.com/document/378106092/4-Ingenieria-de-Pavimentos-Materiales-Diseno-Y-Conservacion-Jose-Rafael-Menendez-Acurio-1ra-Edicion>
- Montejo Fonseca, A. (1999). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Recuperado el 30 de Octubre de 2023, de [https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria\\_de\\_pavimentos\\_Alfonso\\_Montejo\\_Fonseca](https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo_Fonseca)
- MOP-001-F. (2002). *Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes*. Recuperado el 30 de Octubre de 2023, de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)
- MTOP. (2002). *Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes*. ECUADOR: MOP. Obtenido de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)
- Ortiz Mancera, A. L. (2017). *Proceso constructivo de pavimento*. Recuperado el 30 de Octubre de 2023, de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6833/OrtizManceraAngieLorenaAnexo-1.pdf;jsessionid=93B5BC21436AC23524D791DB195EA176?sequence=2>
- Pérez Valcárcel, J. (2018). *Mejora y consolidación de suelos*. E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA.
- Rico Rodríguez, A. (2005). *La Ingeniería De Los Suelos en las Vías Terrestres*. Recuperado el 30 de Octubre de 2023, de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/Libro/lb6.pdf>
- Rosetti, R. C., & Begliardo, H. F. (Agosto de 2005). *Compactación de suelos*. Recuperado el 30 de Octubre de 2023, de <https://docplayer.es/40689479-Generalidades-sobre-compactacion-de-suelos-indice.html>

- Rubio, J. V., & Nascimento, C. (2020). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos I*. Obtenido de [https://portal.unila.edu.br/editora/livros/copy3\\_of\\_Manual\\_Suelos.pdf](https://portal.unila.edu.br/editora/livros/copy3_of_Manual_Suelos.pdf)
- SMIG. (2019). *Avances en la Ingeniería de obras geotecnicas*. Órgano oficial de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C.
- Terzaghi, K., & Peck, R. (200). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. México, D.F.: Editorial Limusa.
- Velázquez, M. (2004). *Manual del Asfalto*. Bilbao, España: URMO.
- Villalaz, C. (2004). *Mecanica de suelos y cimentaciones*. Recuperado el 30 de Octubre de 2023, de <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>
- Villalobos, F. (2020). *Mecanica de Suelos*. Obtenido de <https://tienda.ucsc.cl/app/uploads/2020/03/Extracto-Libro-Mecanica-de-Suelos-17-10-016.pdf>
- Villegas, R., Jose, A., & Loria, L. (2018). Diseño de mezcla asfáltica con materiales de desecho. Obtenido de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/jvidal,+8.1\\_01.pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/jvidal,+8.1_01.pdf)

## CERTIFICACIÓN DE REVISIÓN DE PROYECTO DE TITULACIÓN

Por medio de la presente, Yo Davide Besenzon Venegas, Coordinador del Programa de Maestría en Geotecnia de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), certifico que:

Con fecha 09 de julio de 2022, el estudiante Juan Pablo Ugalde Vintimilla con número de identificación 0105301162, de la Cohorte 3, presentó la propuesta de su tema de titulación al Comité Académico del programa. Posteriormente, con fecha 17 de agosto de 2022, el Comité revisó y aprobó la propuesta mediante la FICT-CA-GEOTEC-014-2022, cumpliendo con los requisitos establecidos para la aprobación del tema.

A partir de dicha aprobación, el estudiante mantuvo reuniones periódicas con el tutor designado, Jaime Asdrúbal Bojorque Ñeguez, para la elaboración y desarrollo de su proyecto de titulación, siguiendo los lineamientos establecidos por el programa. Con fecha 18 de julio de 2024, el estudiante presentó y sustentó su proyecto de titulación ante el tribunal evaluador asignado, cumpliendo con el proceso formal de evaluación académica.

Por lo tanto, en calidad de Coordinador del Programa de Maestría en Geotecnia, certifico que el trabajo de titulación denominado "**Análisis de estabilización de suelo para los pavimentos de la ciudad de Cuenca y su influencia en el diseño**", realizado el estudiante Juan Pablo Ugalde Vintimilla con número de identificación 0105301162, ha sido revisado y evaluado conforme a los lineamientos y estándares establecidos por el programa.

Debido a circunstancias externas, no ha sido posible obtener las firmas de los involucrados (estudiante, tutor(es) y/o evaluadores). No obstante, en calidad de Coordinador del Programa, certifico que el proyecto cumple con los requisitos académicos y ha sido revisado para su presentación y archivo institucional.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
DAVIDE BESENZON  
VENEGAS

M. Sc. Davide Besenzon Venegas  
**Coordinador de la Maestría en Geotecnia**