



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

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE DE SUB-BASE EN 3
CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA
DISEÑO DE PAVIMENTO”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

MARIN PALTIN SHEILLY NAHOMY

MENDEZ ROCA KATHYA AZUCENA

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

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

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE DE SUB-BASE EN 3
CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA
DISEÑO DE PAVIMENTO”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

MARIN PALTIN SHEILLY NAHOMY

MENDEZ ROCA KATHYA AZUCENA

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Lucrecia Moreno Alcivar
MSc PhD
DIRECTORA DE LA CARRERA



Ing. Daniel Campoverde Campoverde
DOCENTE TUTOR



Ing. Néstor Orrala Vera MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Richard Ramírez Palma MSc
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme la oportunidad de cumplir mis sueños y crecer profesionalmente.

A mis padres por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante sin ellos este logro no habría sido posible.

Y de manera muy especial a Cristian Medina, por ser parte de mi vida y por su apoyo incondicional.

Les dedico este logro que también es suyo y deseo se sientan orgullosos de mí.

“Dedicatoria”

Marin Paltín Sheilly Nahomy

DEDICATORIA

A DIOS, por su guía, por iluminar mi camino y permitirme culminar esta etapa académica.

A mi madre, María Eugenea Roca Malavé, pilar fundamental en esta etapa de mi vida, cuyo apoyo constante, dedicación, ejemplo de perseverancia, amor y sacrificio. Por eso te dedico este trabajo madre mía, te amo.

“Dedicatoria”

Mendez Roca Kathya Azucena


CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor de trabajo de investigación para titulación del tema “EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE DE SUB BASE EN 3 CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO” elaborado por las Srtas.

SHEILLY NAHOMY MARÍN PALTIN y KATHYA AZUCENA MÉNDEZ ROCA, estudiantes egresados de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 8% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto, reporte de similitud.

Atetamente,

f. 
Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.
C.I. 099790680-3
DOCENTE TUTOR



TESIS REVISION FINAL

8%
Textos sospechosos



- 1% Similitudes**
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
- < 1% Idiomas no reconocidos**
- 6% Textos potencialmente generados por la IA**

Nombre del documento: TESIS REVISION FINAL.pdf
ID del documento: 2daa2b084172b81c848b149e608270efb522f76c
Tamaño del documento original: 483,72 kB

Depositante: DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE
CAMPOVERDE
Fecha de depósito: 12/11/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 12/11/2025

Número de palabras: 15.342
Número de caracteres: 101.078

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upla.edu.pe 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (99 palabras)
2	es.geologyscience.com Ingeniería Geología Métodos y Áreas de Aplicación	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
3	repositorio.utmachala.edu.ec	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
4	hdl.handle.net Análisis de permeabilidad de suelos granulares mediante difere...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
2	paduamateriales.com Coeficiente de permeabilidad: unidades, medición y apli...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
3	repositorio.udes.edu.co La Compactación y su Influencia en la Perdurabilidad d...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
4	hdl.handle.net Evaluación de subbase granular tratada con residuos de concret...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
5	libro-pavimentos.blogspot.com COEFICIENTE DE DRENAJE Cd Pavimentos	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)


DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **SHEILLY NAHOMY MARÍN PALTIN** y **KATHYA AZUCENA MÉNDEZ ROCA**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE DE SUB BASE EN 3 CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

f. Kathya Méndez R
Kathya Azucena Méndez Roca
C.I. 240006282-0
AUTOR DE TESIS

f. 
Sheilly Nahomy Marín Paltin
C.I. 190080864-1
AUTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En calidad de Tutor del presente trabajo “**EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE DE SUB BASE EN 3 CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO**” previo a la obtención del Título de **INGENIERO CIVIL** elaborado por las Srtas. **SHEILLY NAHOMY MARÍN PALTIN** y **KATHYA AZUCENA MÉNDEZ ROCA**, egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**, Facultad **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

Atentamente,

f. _____

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

C.I. 099790680-3

DOCENTE TUTOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGIA

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
Celular: 0962183538
Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero en Civil, denominado **“EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE DE SUB-BASE EN 3 CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO”**, de las estudiantes: **MARÍN PALTIN SHEILLY NAHOMY** y **MÉNDEZ ROCA KATHYA AZUCENA**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a las interesadas hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 06 de Noviembre del 2025


Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
CI. 0915036529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
Nº DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por ser mi guía y protector por culminar este sueño importante para mí y los míos.

Quiero agradecer a cada una de las personas que formaron parte de este proceso de principio a fin, en esta etapa importante de mi vida universitaria.

A mis padres Fernando Marín y Verónica Paltín quienes han sido los pilares fundamentales de mi superación por brindarme su apoyo en cada momento difícil que se presentó en el camino.

A mi Familia y a la Familia Medina Urgiles que creyeron en mí, formando parte de mi vida por cada palabra de aliento llenas de fortaleza.

También mencionar a mis bebés a mi tita y a mi Niky que con su presencia y forma cálida de mostrar afecto siempre me acompañaron haciendo de este proceso más llevadero.

A mi compañera de tesis Kathya Méndez que a pesar de todas las dificultades que se nos presentaron nunca nos rendimos.

A mis Amigos y compañeros que son parte de este Logro, ¡¡¡Gracias !!!, HOY YA NO ES UN SUEÑO, ES UNA REALIDAD.

Marin Paltín Sheilly Nahomy

A mis padres, María Roca y Carlos Mendez por que sin ellos nada de esto habría sido posible. Gracias por sus sacrificios, por sus palabras de aliento en momentos difíciles, por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba.

A mis hermanos, Evelyn, Josué, Leandro por acompañarme en todo este proceso por hacerme reír cuando el cansancio superaba y por recordarme siempre que no estoy sola, tenerlos en mi vida es una bendición que agradezco profundamente

A mis familiares por cada palabra de aliento, consejos y cada gesto de cariño resonaron en mí durante todo el proceso académico.

A mis docentes y compañeros, gracias por compartir sus conocimientos, por cada enseñanza que enriqueció mi formación profesional y por el ambiente de compañerismo que hizo que este camino fuera más llevadero y significativo.

Y un agradecimiento muy especial para mi amiga y compañera de tesis, Sheilly Marín. Gracias por tu paciencia, tu dedicación y tu compromiso. Por las madrugadas de trabajo, las risas, el estrés compartido y la fuerza mutua para no rendirnos. Haber recorrido este proceso contigo lo hizo más humano, más llevadero y más significativo.

Son muchas las personas que han influido en mi vida académica y a quienes deseo agradecer profundamente por su amistad, sus consejos, su apoyo, su ánimo y su compañía en los momentos más difíciles. Algunas siguen a mi lado y otras permanecen en mis recuerdos y en mi corazón. Sin importar dónde se encuentren, quiero agradecerles por haber sido parte de mi camino, por todo lo que me ofrecieron y por cada una de sus bendiciones.

Finalizo con una palabra que ha sido guía para mí durante este camino:

"Pon en manos del Señor todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán." – Proverbios 16:3

A todos, gracias por ser parte esencial de este logro.

Mendez Roca Kathya Azucena

CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	vi
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGIA.....	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT	xxiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de investigación	4
1.2. Antecedentes	6
1.3. Hipótesis	9
<i>1.3.1. Hipótesis General</i>	9
1.4. Objetivos	10
<i>1.4.1. Objetivo General</i>	10
<i>1.4.2. Objetivos específicos</i>	11
1.5. Alcance	11
1.6. Variables	11
<i>1.6.1. Variable Dependiente</i>	11

1.6.2. <i>Variable Independiente</i>	12
CAPÍTULO II: Marco teórico	12
2.1. Material pétreo	12
2.2. Ensayos que caracterizan a los materiales pétreos	12
2.2.1. <i>Contenido de humedad</i>	12
2.2.2. <i>Plasticidad</i>	13
2.2.3. <i>Granulometría</i>	16
2.2.4. <i>Gravedad Especifica</i>	17
2.2.5. <i>Proctor</i>	18
2.2.6. <i>California Bearing Ration (CBR)</i>	19
2.2.7. <i>Abrasión de los Ángeles</i>	20
2.3. Pavimento	20
2.3.1. <i>Pavimento Flexible</i>	21
2.3.2. <i>Pavimento Semirrígido</i>	21
2.3.3. <i>Pavimento Rígido</i>	22
2.4. Estructura de pavimento	23
2.4.1. Estructura de pavimento existente	23
2.4.2. <i>Capa de rodadura</i>	24
2.4.2. <i>Base</i>	25
2.4.3. <i>Sub-base</i>	26
2.4.4. <i>Subrasante</i>	27
2.6. Clasificación del material pétreo para pavimentos	27

2.6.1. <i>Control de calidad para mejoramiento de subrasante</i>	28
2.6.2. <i>Control de calidad para subbase</i>	28
2.6.3. <i>Control de calidad para Base</i>	28
2.7. Geología local	29
2.7.1. <i>Formación Tablazo</i>	30
2.7.2. <i>Grupo Azúcar</i>	30
2.7.3. <i>Grupo Ancón</i>	31
2.7.4. <i>Miembro zapotal</i>	31
2.7.5. <i>Depósitos Coluviales</i>	31
2.7.6. <i>Depósitos Coluvio Aluviales</i>	32
2.8. Meteorología	32
2.9. Hidrología	34
2.9.1. <i>Drenaje</i>	35
2.9.2. <i>Permeabilidad</i>	35
2.10. Drenaje subsuperficial	39
2.10.1. <i>Geometría de la carretera</i>	39
2.10.2. <i>Características de la capa permeable</i>	41
2.10.3. <i>Procedimiento del tiempo para drenar</i>	42
2.10.4. <i>Coefficiente de drenaje</i>	45
CAPÍTULO III: Metodología	46
3.1. Tipo y nivel	46
3.2. Tipo de investigación	46

3.3.	<i>Nivel de investigación.</i>	47
3.4.	Método, enfoque y diseño	47
3.4.1.	<i>Método de la investigación.</i>	48
3.4.2.	<i>Enfoque de la investigación.</i>	48
3.4.3.	<i>Diseño de la investigación.</i>	49
3.5.	Población, muestra y muestreo	50
3.5.1.	<i>Población.</i>	50
3.5.2.	<i>Muestra.</i>	51
3.5.3.	<i>Muestreo.</i>	51
3.6.	Ubicación de los sectores de estudio	52
3.6.1.	<i>Cantera San Vicente de Loja</i>	52
3.6.2.	<i>Cantera Villingota (VERDÚ)</i>	52
	<i>antera La Rinconada</i>	53
3.7.	METODOLOGÍA DE O.E.1.	54
3.7.1.	<i>Contenido de humedad</i>	54
3.7.2.	<i>Límites de Atterberg</i>	57
3.7.3.	<i>Análisis granulométrico</i>	60
	<i>Compactación Proctor Modificado</i>	63
3.7.4.	<i>Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio)</i>	65
3.7.5.	<i>Abrasión de Los Ángeles</i>	67
3.7.6.	<i>Permeabilidad</i>	70
3.8.	METODOLOGÍA DE O.E.2.	72

3.8.1.	<i>Levantamiento de información climática e hidrológica histórica</i>	72
3.8.2.	<i>Determinación del coeficiente de permeabilidad (k) del terreno</i>	74
3.8.3.	<i>Determinación del coeficiente de drenaje</i>	75
3.8.4.	<i>Interpretación de resultados hidrológicos para el diseño de pavimentos</i>	78
3.9.	METODOLOGÍA DE OE3.	79
3.9.1.	<i>Revisión documental del diseño original de la vía</i>	79
3.9.2.	<i>Cálculo de coeficientes de drenaje en el presente estudio</i>	80
3.9.3.	<i>Comparación entre coeficientes de drenaje del diseño original y los calculados</i>	82
3.9.4.	<i>Evaluación de la calidad de los materiales granulares</i>	82
3.9.5.	<i>Análisis metodológico comparativo de los coeficientes de drenaje</i>	84
3.9.6.	<i>Formulación metodológica de criterios para evaluación de materiales granulares según capacidad de drenaje</i>	85
3.10.	Operacionalización de variables	86
CAPITULO IV: Análisis y discusión de resultados		89
4.1.	Determinación del porcentaje de tiempo de saturación y calidad de drenaje en la provincia de santa elena	89
4.1.1	<i>Determinación de las precipitaciones históricas anuales</i>	90
4.1.2	<i>Determinación de las precipitaciones diarias en la zona de análisis y en los meses de mayor intensidad pluvial registradas</i>	90
4.1.3.	<i>Determinación del número de días promedio de lluvias que producen saturación según la data de análisis en la zona del proyecto</i>	98

4.1.4. Cálculo del coeficiente de drenaje de la capa estructural del pavimento.....	100
4.2.2. <i>Resultados del material ensayado de la cantera La Rinconada...</i>	109
4.2.3. <i>Resultados del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja.....</i>	115
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE2: Determinar las condiciones hidrológicas de sitio ubicado en la vía de ingreso a Olón – San Vicente de Loja.....	121
4.3.1. <i>Determinación de numero de día promedio que producen saturación.....</i>	122
4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE3.....	123
4.4.1. <i>Comparación de Parámetros Técnicos Relevantes.....</i>	123
4.4.2. <i>Análisis de nuevo espesor de pavimento.</i>	124
4.4.3. <i>Análisis Comparativo del Comportamiento Hidráulico</i>	126
4.5. Discusión de resultados	127
CAPITULO V: Conclusiones y recomendaciones.....	133
5.1 Conclusiones	133
5.2 Recomendaciones.....	135
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Definición de los límites de Atterberg	14
Ilustración 2 Gráfica de plasticidad	15
Ilustración 3 Curva granulométrica.....	16
Ilustración 4 Curva densidad seca vs % humedad	19
Ilustración 5 Estructura de pavimento flexible.	21
Ilustración 6 Estructura de pavimento semirrígido.	22
Ilustración 7 Estructura de pavimento rígido	23
Ilustración 8 Sección típica de pavimento existente	24
Ilustración 9 Precipitación media mensual en Santa Elena de diferentes estaciones	33
Ilustración 10 Isoyetas del Cantón Santa Elena.	34
Ilustración 11 División hidrográfica del cantón Santa Elena.....	34
Ilustración 12 Método directo para el cálculo de coeficiente de permeabilidad... 37	
Ilustración 13 Carta para estimar el coeficiente de permeabilidad	38
Ilustración 14 Parámetros geométricos de una base permeable.....	40
Ilustración 15 Trayectoria del agua subsuperficial en una capa permeable.....	41
Ilustración 16 Ubicación de cantera San Vicente de Loja	52
Ilustración 17 Ubicación de cantera Villingota.....	52
Ilustración 18 Ubicación de cantera La Rinconada	53
Ilustración 19 Clasificación de Permeabilidad de rocas y sedimentos	74
Ilustración 20 Distribución de precipitaciones de febrero año 2016.....	91
Ilustración 21 Distribución de precipitaciones diarias de febrero de 2017.....	92
Ilustración 22 Precipitaciones diarias de febrero de 2018	93
Ilustración 23 Precipitaciones diarias de febrero de 2019	93

Ilustración 24 Precipitaciones diarias de febrero de 2020	94
Ilustración 25 Precipitaciones diarias de febrero de 2021	95
Ilustración 26 Precipitaciones diarias de febrero de 2022	95
Ilustración 27 Precipitaciones diarias de febrero de 2023	96
Ilustración 28 Precipitaciones diarias de febrero de 2024	97
Ilustración 29 Precipitaciones anuales	97
Ilustración 30 Curva granulométrica del material ensayado de la cantera Villingota	105
Ilustración 31 Curva Proctor del material ensayado de la cantera Villingota.....	106
Ilustración 32 CBR para diseño de la cantera Villingota.....	107
Ilustración 33 Curva granulométrica del material ensayado de la cantera La Rinconada.....	111
Ilustración 34 Curva Proctor del material ensayado de la cantera La Rinconada	112
Ilustración 35 CBR de diseño de la cantera La Rinconada.....	112
Ilustración 36 Curva granulométrica del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja	116
Ilustración 37 Curva Proctor del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja	118
Ilustración 38 CBR de diseño de la cantera San Vicente de Loja.....	118
Ilustración 39 Datos de la vía actual para el diseño de pavimento	124
Ilustración 40 Promedio de precipitaciones anuales	130
Ilustración 41 Precipitaciones mensuales acumuladas.....	130

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Granulometría para áridos de la carpeta asfáltica	24
Tabla 2 Recomendaciones para uso de material de base.	25
Tabla 3 Áridos para base.....	26
Tabla 4 Áridos de subbase	27
Tabla 5 Clasificación del material de subrasante de acuerdo con el CBR.....	27
Tabla 6 Porcentajes estimados de agua que puede ser drenada por gravedad	42
Tabla 7 Calificación del drenaje de una capa permeable a partir del tiempo que tarda en drenar el agua	43
Tabla 8 Coeficientes de drenaje recomendados	45
Tabla 9 Coordenadas de la Cantera San Vicente	52
Tabla 10 Coordenadas de la Villingota.....	53
Tabla 11 Coordenadas de la Cantera La Rinconada	54
Tabla 12 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de humedad	55
Tabla 13 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de Limites de Atterberg	57
Tabla 14 Materiales y equipos necesarios para el análisis granulométrico	60
Tabla 15 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de compactación Proctor modificado	63
Tabla 16 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de CBR	65
Tabla 17 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de abrasión de los ángeles	68
Tabla 18 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de permeabilidad	70
Tabla 19 Operacionalización de Variables Independientes	86
Tabla 20 Operacionalización de Variables Dependientes.....	87

Tabla 21 Precipitaciones totales mensuales acumuladas (2016-2024)	90
Tabla 22 Precipitación diaria (mm) FEBRERO 2016	91
Tabla 23 Distribución de precipitaciones diarias de febrero de 2017	92
Tabla 24 Precipitaciones diarias de febrero de 2018	93
Tabla 25 Precipitaciones diarias de febrero de 2019	94
Tabla 26 Precipitaciones diarias de febrero de 2020	94
Tabla 27 Precipitaciones diarias de febrero de 2021	95
Tabla 28 Precipitaciones diarias de febrero de 2022	96
Tabla 29 Precipitaciones diarias de febrero de 2023	96
Tabla 30 Precipitaciones diarias de febrero de 2024	97
Tabla 31 Total de días con precipitaciones diarias mayores a 10 mm	98
Tabla 32 Coeficientes de permeabilidad de dos métodos vs resultado obtenido en el laboratorio.	99
Tabla 34 Datos parciales necesarios para encontrar el tiempo de remoción de agua para alcanzar el 50 % de saturación	101
Tabla 34 Resultados parciales necesarios para encontrar el coeficiente de drenaje m_1	102
Tabla 35 Resultados parciales necesarios para encontrar el coeficiente de drenaje m_1 (para sección más crítica)	103
Tabla 36 Contenido de humedad del material ensayado de la cantera Villingota	103
Tabla 37 Límites de Atterberg del material ensayado de la cantera Villingota ..	104
Tabla 38 Análisis Granulométrico del material ensayado de la cantera Villingota	104
Tabla 39 Clasificación del material ensayado de la cantera Villingota	105
Tabla 40 Gravedad específica del material ensayado de la cantera Villingota ...	105

Tabla 41 Proctor modificado del material ensayado de la cantera Villingota	106
Tabla 423 Abrasión del material ensayado de la cantera Villingota.....	107
Tabla 43 Permeabilidad del material ensayado de la cantera Villingota	108
Tabla 44 Tabla para el cálculo de coeficiente de drenaje con un porcentaje de entre un 1% y 5%.....	109
Tabla 45 Contenido de humedad del material ensayado de la cantera La Rinconada	109
Tabla 46 Límites de Atterberg del material ensayado de la cantera La Rinconada	110
Tabla 47 Análisis Granulométrico del material ensayado de la cantera La Rinconada.....	110
Tabla 48 Clasificación del material ensayado de la cantera San Rafael	110
Tabla 49 Gravedad específica del material ensayado de la cantera La Rinconada	111
Tabla 50 Proctor modificado del material ensayado de la cantera La Rinconada	111
Tabla 51 Porcentaje de CBR en función a la penetración de 0.1 y 0.2” de la cantera La Rinconada	112
Tabla 52 CBR del material ensayado de la cantera La Rinconada	113
Tabla 53 Abrasión del material ensayado de la cantera La Rinconada	113
Tabla 54 Permeabilidad del material ensayado de la cantera La Rinconada	113
Tabla 55 Resumen de resultados de los parámetros para el material de la cantera La Rinconada.....	114
Tabla 56 Contenido de humedad del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja.....	115

Tabla 57 Límites de Atterberg del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja	115
Tabla 58 Análisis Granulométrico del material ensayado de la cantera San Vicente De Loja.....	116
Tabla 59 Clasificación del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja	116
Tabla 60 Gravedad específica del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja	117
Tabla 61 Proctor modificado del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja	117
Tabla 62 Porcentaje de CBR en función a la penetración de 0.1 y 0.2” de la cantera San Vicente	118
Tabla 63 CBR del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja.....	118
Tabla 64 Abrasión del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja	119
Tabla 65 Permeabilidad del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja	119
Tabla 66 Resumen de resultados de los parámetros para el material de la cantera San Vicente	120
Tabla 67 Tabla Comparativa de Resultados del OE1: Caracterización de Materiales de las Tres Canteras	120
Tabla 68 Porcentaje de tiempo al que estará expuesto el pavimento a saturación	122
Tabla 73 Comparación de Parámetros Técnicos Relevantes entre el material de las tres canteras y la vía Olon-San Vicente	123
Tabla 74 Resultados de coeficientes estructurales y espesores de pavimento existente.....	125

“EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE DE SUB-BASE EN 3 CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO”

Autor: Marín Paltín Sheilly Nahomy y Méndez Roca Kathya Azucena

Tutor: Ing. Campoverde Campoverde Daniel Rosendo MSc.

RESUMEN

La durabilidad de los pavimentos puede verse afectada por una inadecuada determinación de los coeficientes de drenaje de los materiales que conforman sus capas, especialmente en zonas con condiciones hidrológicas particulares como la provincia de Santa Elena. Este estudio evaluó los coeficientes de drenaje de materiales de sub-base provenientes de las canteras Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja, mediante ensayos de laboratorio normalizados y el análisis de precipitaciones históricas. Los resultados indicaron que los materiales de Villingota y La Rinconada cumplen con los requisitos técnicos, presentando condiciones de drenaje “Buena” y “Regular”, respectivamente, mientras que el material de San Vicente de Loja no resultó adecuado. Se concluye que el uso de coeficientes de drenaje basados en la caracterización real de los materiales y en las condiciones hidrológicas locales permite optimizar el diseño y la durabilidad de los pavimentos.

PALABRAS CLAVE: “*Coefficiente de drenaje, Coeficiente de permeabilidad, Diseño de pavimento, Materiales granulares, Provincia de Santa Elena*”

"EVALUATION OF SUB-BASE DRAINAGE COEFFICIENTS IN 3 QUARRIES LOCATED IN THE PROVINCE OF SANTA ELENA FOR PAVEMENT DESIGN"

Author: Marín Paltín Sheilly Nahomy y Méndez Roca Kathya Azucena

Tutor: Ing. Campoverde Campoverde Daniel Rosendo MSc

ABSTRACT

The durability of pavements can be affected by an inadequate determination of the drainage coefficients of the materials that make up their layers, especially in areas with particular hydrological conditions such as the province of Santa Elena. This study evaluated the drainage coefficients of subbase materials from the Villingota, La Rinconada, and San Vicente de Loja quarries using standardized laboratory tests and analysis of historical rainfall data. The results indicated that the materials from Villingota and La Rinconada meet the technical requirements, exhibiting "Good" and "Fair" drainage conditions, respectively, while the material from San Vicente de Loja was found to be inadequate. It is concluded that using drainage coefficients based on the actual characterization of the materials and local hydrological conditions allows for optimizing pavement design and durability.

Keywords: *Drainage coefficient, Permeability coefficient, Pavement design, Granular materials, Province of Santa Elena*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La evaluación de coeficientes de drenaje en materiales granulares forma parte esencial para el diseño de pavimentos, debido a que estos coeficientes determinan la capacidad de los materiales para permitir el paso del agua, influyendo en la durabilidad y el rendimiento de las estructuras de pavimento. En palabras de Cedergren (1988), un drenaje inadecuado puede provocar daños graves como erosión, bombeo, desintegración de bases tratadas con cemento y debilitamiento de las subrasantes. Por ende, se considera que la determinación precisa de estos coeficientes es vital para seleccionar los materiales indicados para pavimentos que puedan soportar eficientemente las condiciones ambientales locales.

Es importante reconocer cómo las condiciones geológicas y climáticas específicas de un sitio logran afectar estos coeficientes, debido a que el entorno juega un papel determinante en la capacidad de los pavimentos para evacuar eficazmente el agua de lluvia.

La provincia de Santa Elena en Ecuador presenta un ambiente geológico diverso que influye en las propiedades del suelo y el drenaje. El área contiene suelos ligeramente calcáreos con bajos niveles de carbonato, que varían según el uso de la tierra y las condiciones climáticas (Ponce de León et al., 2023). Basándose en las condiciones climáticas, los materiales con diferentes características de permeabilidad pueden ser más adecuados dependiendo de la intensidad de las precipitaciones en la región (Teófilo Salvador et al., 2019).

La evaluación hidrológica servirá de base para establecer el tiempo en que el pavimento estará expuesto en cada capa a niveles de saturación, y para ese fin se

recolectarán datos con ayuda de la estación pluviométrica más cercana a la vía a Olón - San Vicente de Loja.

La presente investigación pretende evaluar los coeficientes de drenaje de materiales pétreos extraídos de tres sitios específicos, con el propósito de conseguir coeficientes de drenaje reales que puedan ser utilizados en el diseño de un pavimento, ya sea flexible, semirrígido o rígido. Las canteras seleccionadas para el estudio son: Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja , y se encuentran legalmente operando y en producción; de ellas se extraen diferentes tipos de pavimentos, cada uno con sus características particulares de permeabilidad.

Es crítico analizar las propiedades de los materiales extraídos de canteras para clasificar su adecuación en la construcción de pavimentos. Por tal motivo, se recolectarán muestras representativas de los materiales de las canteras ya mencionadas, y se realizarán ensayos para su calificación de acuerdo con las especificaciones generales de MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) actualmente vigente.

Las pruebas de laboratorio estandarizadas para medir los coeficientes de drenaje garantizan datos confiables para la selección de materiales y el diseño de pavimentos, al discriminar acertadamente los materiales que tendrán un comportamiento adecuado de los que no, y, tomando en cuenta las condiciones climáticas propias, caracterizados por humedad y precipitaciones altas en muchas de las regiones (Garnica Anguas et al., 2002; Ulloa Calderón & Múnera Miranda, 2020). Los ensayos que permitirán identificar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras tomadas son granulometría, plasticidad, CBR, Proctor, abrasión de Los Ángeles y permeabilidad.

Este estudio contribuirá a la generación de ajustes en los espesores de las capas de pavimento previamente diseñadas y para ello se pretende comparar los coeficientes de drenaje que se obtendrán con el utilizado en la vía de ingreso a Olón – San Vicente, dado que la comparación permitirá identificar diferencias significativas en los coeficientes de drenaje. Esto no solo beneficiará a las autoridades locales encargadas de la infraestructura vial, sino también a los usuarios de la carretera y a la comunidad en general al promover una mayor eficiencia en el uso de recursos y una mayor durabilidad de los pavimentos, permitiendo la construcción a través de pavimentos seguros y resistentes (Torres, 2024).

Además, se analizará el potencial aplicativo para los materiales estudiados en este proyecto, recomendando el tipo de capa que puede ocupar en una estructura de pavimento, y logrando un eficiente comportamiento de los materiales desde el punto de vista tanto estructural como de drenaje.

El Capítulo I comprende la problemática, antecedentes, hipótesis, objetivos, alcance y variables tanto independientes como dependientes de la investigación, en el Capítulo II se detallan las bases teóricas que fundamentan al estudio, es decir todo lo referente a propiedades de materiales granulares y coeficientes de drenaje extraídos en canteras. El contenido del Capítulo III detalla la metodología empleada para llevar a cabo esta investigación, específicamente la obtención del coeficiente de drenaje de los materiales de estudio y la comparación entre los coeficientes de drenaje utilizados en diseño de pavimento de vía de estudio y los mencionados anteriormente, en el Capítulo IV se presentan los resultados y la discusión de cada objetivo planteado, y finalmente, el Capítulo V está referido a las conclusiones y recomendaciones del estudio en general.

1.1. Problema de investigación

El diseño y la construcción de pavimentos duraderos y eficaces son fundamentales para el desarrollo infraestructural y económico de cualquier región (Hernández Castañeda & Mendoza Escobedo, 2006). La adecuada gestión y diseño de pavimentos requieren una comprensión detallada de las propiedades hidráulicas de los materiales utilizados. Thenoux & Gaete (2024) mencionan que la evaluación técnica del estado del pavimento es crucial para determinar las acciones de conservación más apropiadas.

Un inadecuado diseño de pavimento se fundamenta principalmente por no evaluar los coeficientes de drenaje, y esto influye directamente en el espesor de las capas de los materiales granulares, comprometiendo la durabilidad del mismo. A su vez ocasiona mayores costos de mantenimiento y reparaciones a corto plazo, debido a la necesidad de ejecutar rehabilitación o reparaciones de fallos prematuros.

Una solución ingenieril sugiere el incremento de finos, pero este afecta directamente a la permeabilidad del material, así como la plasticidad de ese material fino influye en el grado de saturación que pueden alcanzar estos materiales cuando entran en contacto con el agua lluvia infiltrada provocando retención de agua que deriva finalmente en el deterioro anticipado del pavimento.

En la provincia de Santa Elena, la construcción y mantenimiento de pavimentos enfrentan varios desafíos, uno de ellos es la desacertada gestión en el área de drenaje, pues no se toma en cuenta la variabilidad geológica y climática de la región. La provincia presenta una gama de formaciones geológicas y condiciones climáticas que pueden influir significativamente en las características de drenaje de los materiales granulares extraídos de diferentes canteras. Sin embargo, existe una

falta de datos específicos sobre cómo estos materiales responden a las condiciones locales, lo que plantea un riesgo para la eficacia y durabilidad de los pavimentos diseñados utilizando estos materiales.

Las tres canteras seleccionadas en este estudio proporcionan una oportunidad para evaluar los coeficientes de drenaje de los materiales disponibles en la región. A pesar de su importancia, los estudios previos en la provincia no han abordado de manera exhaustiva cómo las características de drenaje de estos materiales pueden influir en el diseño de pavimentos. La falta de información precisa sobre estos coeficientes limita la capacidad de diseñar pavimentos que sean realmente aptos para las condiciones específicas de Santa Elena.

Los periodos de intensa lluvia que se presentan en Santa Elena pueden saturar rápidamente los materiales granulares de un pavimento, por tal motivo, la evaluación precisa de los coeficientes de drenaje se vuelve más relevante para asegurar que los espesores de los materiales granulares puedan drenar el agua infiltrada sin sufrir daños, pues las altas precipitaciones pueden causar una sobresaturación que deteriora los materiales. Ordoñez (2020) revela que la capacidad de los materiales para drenar el agua correctamente bajo estas condiciones es esencial para mantener la integridad estructural del pavimento.

Puede ser evidente que el problema de esta investigación radica en la necesidad de una evaluación precisa y detallada de los coeficientes de drenaje de los materiales de las tres canteras seleccionadas en la provincia de Santa Elena para determinar la calidad de sus agregados y contribuir con información que ayude a diseñar pavimentos que sean duraderos, económicos y capaces de manejar las condiciones climáticas locales, ya que la variabilidad en las propiedades de los materiales y las condiciones extremas de lluvia, representan desafíos significativos

que deben ser abordados para asegurar el éxito de los proyectos de pavimentación en la región.

No obstante, para comprender el problema de investigación se formula una interrogante general: ¿Por qué evaluar los coeficientes de drenaje en materiales granulares de tres canteras ubicadas en la provincia de Santa Elena para diseño de pavimento? A partir de esta incógnita inicial se derivan las siguientes preguntas específicas: **P.E.1.** ¿Para qué caracterizar los materiales extraídos de las canteras mediante ensayos de laboratorios? **P.E.2.** ¿Cuáles son las condiciones hidrológicas de sitio en la vía de ingreso a Olón – San Vicente? **P.E.3.** ¿Cuál es la calidad y el coeficiente de drenaje de los materiales extraídos de las canteras? **P.E.4.** ¿Por qué comparar los coeficientes de drenaje existentes en el diseño de pavimento en la vía de estudio y los obtenidos en esta investigación?

1.2. Antecedentes

Se consideran como antecedentes para el presente trabajo a la recopilación de estudios previos con relación a este campo investigativo, destacando los datos más relevantes en según los ámbitos internacional, nacional y local, y desarrollando principalmente la descripción del tema.

En el ámbito internacional, se cita el estudio de Nateros Enriquez (2023) acerca de la “Determinación de coeficientes de diseño para el cálculo del espesor de sustitución de subrasante”. Este estudio tuvo como objetivo determinar el resultado de los coeficientes de diseño para el cálculo del espesor de sustitución de subrasante por la metodología del MTC y por la metodología del módulo resiliente compuesto. La investigación compara dos metodologías para calcular espesores de

capas de sustitución en el diseño de pavimentos: la metodología del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y la del módulo resiliente compuesto.

Las metodologías mencionadas se analizaron en cuatro canteras, donde se determinó que la metodología del módulo resiliente compuesto resulta en mayores espesores porque evalúa tanto la capa de sustitución como el estrato subyacente, mientras que en la metodología del MTC, que resulta en espesores menores, se considera más económica. Finalmente, la autora concluye que el método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos, es el más conservador y analista, al considerar parámetros para su cálculo, ya que la metodología del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, es basado en el método AASHTO 93.

Se hace alusión en este ámbito a la investigación de Reynoso Oscanoa (2021) basada en la “Relación entre la calidad de drenaje de la subbase y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93”, con su objetivo de determinar la relación entre la calidad de drenaje de la subbase y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93. La muestra conformada por las canteras Umuto y Orcotuna, de las que se obtuvo el material para la subbase granular de pavimentos rígidos en el distrito de Chilca, Huancayo se sometió a ensayos de laboratorios expuestos en posteriores cálculos para encontrar la relación entre la calidad de drenaje del material extraído y el diseño del pavimento seleccionado.

Los resultados de la investigación realizada, indican que el valor del Coeficiente de Drenaje “m”, para el diseño de pavimentos rígidos por la metodología AASHTO 93, es de 1.10 para la muestra seleccionada, por ende, el autor concluye que la calidad de drenaje de la subbase, expresada a través del

Coefficiente de Drenaje “m”, se relaciona con el espesor de la losa de concreto hidráulico, donde a mayor espesor, se tiene mayor costo.

Se referencia también el trabajo de González Mayorga (2017) en torno al “Análisis de sensibilidad en el diseño de un pavimento flexible a partir del coeficiente de drenaje”, que tuvo como objetivo determinar la sensibilidad en el diseño de una estructura de pavimento flexible a partir de la variación del coeficiente de drenaje, para un proyecto vial en la Ciudad de Cartagena Colombia. En este trabajo se evaluaron los cambios en los espesores de las capas granulares de base y subbase y el impacto en costos que tienen estas variaciones en el diseño por medio de un análisis de la precipitación en la zona, para poder definir los rangos de variación del coeficiente de drenaje.

Los resultados que obtuvo el autor indican que el espesor de la base granular fue consistentemente inferior a 6 pulgadas y la capa de subbase granular osciló entre 2 y 9 cm según los diferentes coeficientes de drenaje analizados. Así mismo, se presentaron variaciones de costos de la capa subbase entre 32 y 152 millones de pesos, aumentando hasta en un 52%, para los diferentes valores utilizados de coeficiente de drenaje, esto demuestra que la elección del coeficiente de drenaje para el diseño de pavimentos flexibles por el método AASTHO cambia las condiciones de la estructura de la estructura de pavimento.

Tanto en el ámbito nacional como local no se registran investigaciones que den por empleada una relación directa de evaluación de materiales granulares extraídos de diferentes canteras para el diseño de pavimento, sin embargo, en el ámbito nacional se destaca el trabajo de López et al. (2023) concerniente a “Comparison of Physical and Mechanical Properties of Stone Aggregates and Their Use in the Structure of a Flexible Pavement, from Mines in Ecuador”, tuvo el

propósito de determinar el material de mayor calidad en función a sus características técnicas y económicas por medio de la selección de tres minas: “Kumochi”, “Los Muelles” y “Cantera El Salvador”, de donde se tomaron varias muestras de agregados finos y gruesos para realizar pruebas de laboratorio.

De este trabajo se concluye que el material de la mina “El Salvador” tiene las mejores características técnicas y económicas para la formación de estructuras de pavimentos flexibles. No obstante, los materiales extraídos de las minas “Kumochi” y “Los Muelles” sí cumplieron con los estándares de la norma internacional AASHTO.

Por otra parte, el ámbito local se menciona el estudio de Sornoza & Tomalá (2023) basado en la “Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en santa elena”, al considerarse material extraído de la cantera Olon - San Vicente. El estudio concluye que la incidencia del coeficiente de drenaje que es un factor esencial en el diseño de pavimento, y cuyo valor entre los especímenes saturados y no saturados es de 1.23, cumple con el valor de 1 establecido en la norma MTOP.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General.

La evaluación del coeficiente de drenaje en materiales granulares permitirá que los diseños de pavimentos sean eficientes y más confiables, optimizando el rendimiento del material granular usado la estructura. Además, garantizará la durabilidad y el desempeño del pavimento, ya que el manejo adecuado del agua

puede prevenir problemas como agrietamiento, deslizamiento y erosión en la superficie asfáltica.

1.3.2. Hipótesis Específicas.

H.E.1.: Los ensayos de laboratorio ayudarán a identificar propiedades físicas y mecánicas de los materiales extraídos de las canteras que varían significativamente y pueden ser clasificados en diferentes categorías de uso, como agregados para pavimentación, material para construcción de estructuras, o rellenos, de acuerdo a características específicas.

H.E.2.: Las condiciones hidrológicas en la vía de ingreso a Olón - San Vicente indicarán las variaciones en el flujo de agua y en la capacidad de drenaje que pueden impactar la estabilidad y el diseño de la infraestructura vial, pues, están influenciadas por factores como la topografía, el tipo de suelo, y el uso del terreno.

H.E.3.: La comparación de los coeficientes de drenajes aplicados en la vía de ingreso a Olón - San Vicente y los obtenidos en esta investigación variaran significativamente. Lo que indicaría la necesidad de ajustar el diseño de pavimento para mejorar el manejo del agua y la durabilidad de la infraestructura.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Evaluar los coeficientes de drenaje en materiales granulares de tres canteras (Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja) ubicadas en la provincia de Santa Elena para diseño de pavimento.

1.4.2. Objetivos específicos.

O.E.1.: Caracterizar materiales extraídos de 3 canteras ubicadas en la provincia de Santa Elena mediante ensayos de laboratorio para uso en vías.

O.E.2.: Determinar las condiciones hidrológicas de sitio ubicado en la vía de ingreso a Olon - San Vicente.

O.E.3.: Analizar los coeficientes de drenaje utilizados en el diseño de pavimento de la vía de ingreso a Olón - San Vicente y compararlos con los obtenidos en el presente estudio, con el fin de determinar la calidad de los materiales granulares para su uso en vías.

1.5. Alcance

Esta investigación proporcionará ajustes en los diseños de pavimento para mejorar la impermeabilidad, durabilidad, mantenimiento y rendimiento de la infraestructura vial en la provincia de Santa Elena mediante la comparación entre el coeficiente de drenaje empleado en el diseño de pavimento de la vía de estudio y los resultantes de la investigación, determinando la calidad de los materiales granulares extraídos de tres canteras ubicadas en la Comuna Olon, parroquias Chanduy y Mangalaralto; para el uso en pavimentación, tomando en cuenta la influencia de las características geológicas y climáticas de la región.

1.6. Variables

1.6.1. Variable Dependiente.

- ✓ Propiedades de materiales granulares extraídos de las canteras.

- ✓ Condiciones hidrológicas del sitio de ubicación del proyecto.

1.6.2. Variable Independiente.

Coeficientes de drenaje.

CAPÍTULO II: Marco teórico

2.1. Material pétreo

Se refiere a materiales minerales sólidos e inertes, que se utilizan en forma de partículas graduadas para formar parte de mezclas asfálticas en pavimentos. Estos materiales, que incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca, constituyen entre el 90 y 95% del peso y entre el 75 y 85% del volumen de la mayoría de las estructuras pavimentadas. La selección adecuada de estos materiales influye significativamente en el rendimiento del pavimento (Terán Molina, 2015).

2.2. Ensayos que caracterizan a los materiales pétreos

Navarrete et al. (2013) menciona que debido a la aplicación de los materiales pétreos en el ámbito constructivo se realizan diferentes pruebas, pudiendo ser tanto físicas como mecánicas. Estas pruebas como contenido de humedad, granulometría, plasticidad, gravedad específica, Proctor, CBR y abrasión ayudan a conocer mejor el comportamiento de los materiales, pudiendo seleccionar el tipo de uso para capas de base, sub-base y mejoramiento.

2.2.1. Contenido de humedad.

(NORMA ASTM D 2216 – 71)

El contenido de humedad es una magnitud que expresa la cantidad de agua en un material sólido y se puede representar en términos de una base de masa seca o de una base de masa húmeda (Martines & Lira, 2010). El contenido de humedad se calcula con la siguiente expresión:

Ecuación 1 Fórmula para cálculo del contenido de humedad

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

$w(\%)$: Contenido de humedad en porcentaje.

W_w : Peso del suelo húmedo.

W_s : Peso seco de las partículas sólidas sacadas del horno.

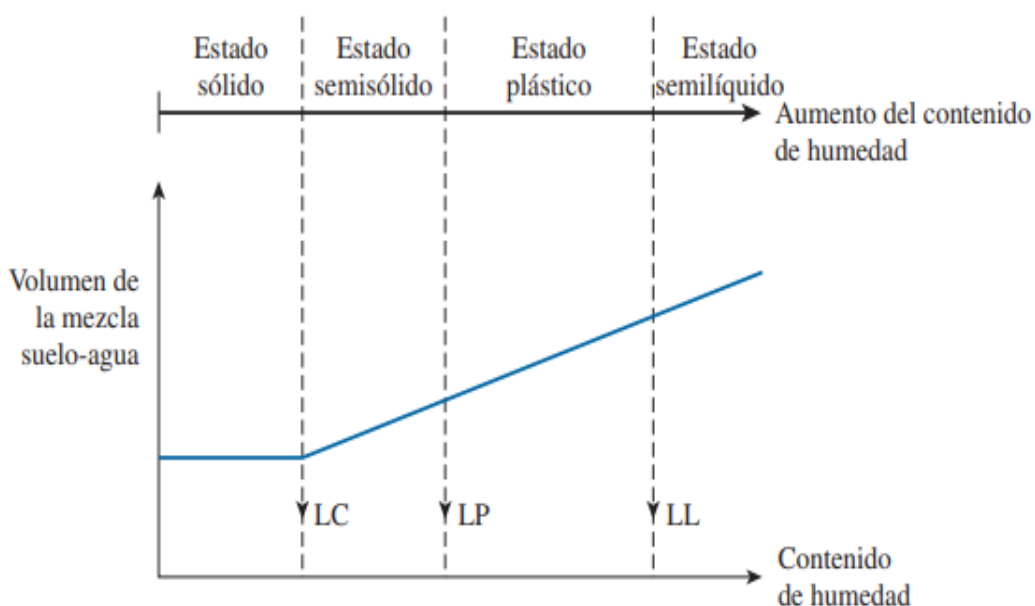
2.2.2. Plasticidad.

(NORMA ASTM D 4318-98; AASHTO T-89-68; ASTM D424-59; AASHTO T-90-56)

Citando a Gutiérrez Rodríguez (2023), los límites de Atterberg, también conocidos como límites de consistencia o de plasticidad, que comprenden el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP), son parámetros esenciales en la caracterización de las propiedades físicas de los suelos.

Estos límites proporcionan información esencial sobre la cohesión, plasticidad y consistencia del suelo, lo que, a su vez, afecta su comportamiento en diferentes condiciones de carga y humedad.

Ilustración 1 Definición de los límites de Atterberg



Nota: Tomado de (Das, 2012)

2.2.2.1. Límite Líquido (LL).

El límite líquido se define como el porcentaje de humedad del suelo correspondiente al corte de la línea de tendencia en los 25 golpes, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico. Cuando los suelos alcanzan porcentajes de humedad mayores al límite líquido, su comportamiento será el de un fluido viscoso (Botía Diaz, 2015).

2.2.2.2. Límite Plástico (LP).

El límite plástico fue definido por Atterberg como la frontera que existe entre los estados plástico y semisólido del suelo. En términos de laboratorio este límite es definido como el momento en términos de contenido de humedad, en que rollitos de aproximadamente 3 mm de diámetro empiezan a presentar desmoronamiento y agrietamiento. Es importante resaltar que el diámetro de los

rollitos fue propuesto por Terzaghi, dado que Atterberg nunca especifico este parámetro (Botía Diaz, 2015).

2.2.2.3. Índice de Plasticidad (IP).

El índice de plasticidad es la diferencia entre los valores de límite líquido y límite plástico. Un índice de plasticidad bajo significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua (Botía Diaz, 2015).

Ecuación 2 Fórmula para cálculo del índice de plasticidad

$$IP = LL - LP$$

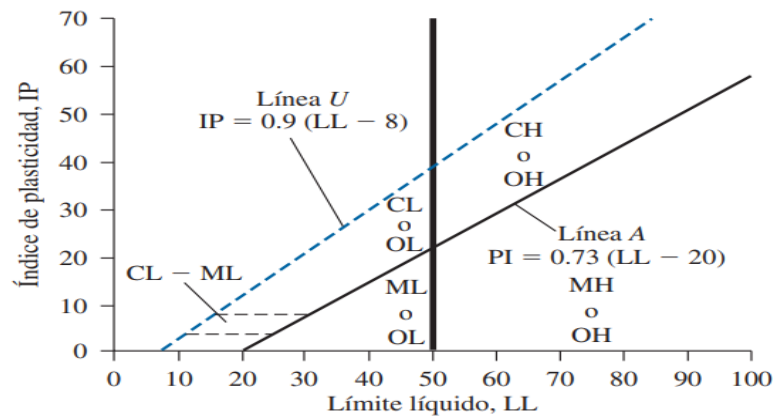
Donde:

IP: Índice plástico.

LL: Límite líquido.

LP: Límite plástico.

Ilustración 2 Gráfica de plasticidad



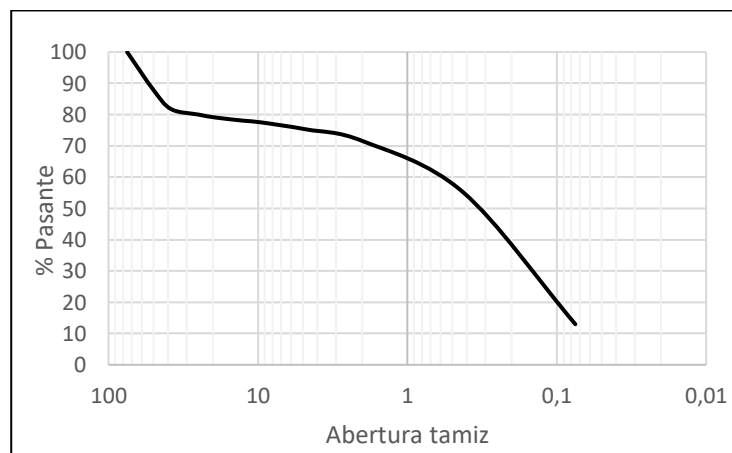
Nota: Tomado de (Das, 2012)

2.2.3. Granulometría.

(NORMA ASTM D 422-69 Y ASTM 2217-85)

El análisis granulométrico es un método crucial en ingeniería civil y geotecnia para la caracterización y clasificación de suelos. Implica tamizar muestras de suelo para determinar la distribución del tamaño de partícula, lo que proporciona información valiosa sobre las propiedades mecánicas del suelo y el comportamiento en diversas aplicaciones (Gutiérrez Rodríguez, 2023a). Esto se realiza en dos partes dependiendo del análisis: el primer método de los tamices para analizar el tamaño de partículas retenido en la malla N° 200, y el método de hidrómetro para analizar el tamaño de partículas menores que la malla N° 200.

Ilustración 3 Curva granulométrica



Nota: Elaboración propia

Dentro del análisis de granulometría se encuentran los diámetros efectivos D10, D30 y D60: los cuales corresponden al tamaño del grupo de partículas que representa el 10%, 30% y 60% del material que pasa respectivamente. Con estos datos se pueden calcular los coeficientes de curvatura y de uniformidad que son necesarios para determinar la graduación del suelo.

Ecuación 3 Fórmula para cálculo del coeficiente de curvatura

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Ecuación 4 Fórmula para cálculo del coeficiente de uniformidad

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

Cc: Coeficiente de curvatura.

Cu: Coeficiente de uniformidad.

D₁₀: Diámetro efectivo que representa el 10% del material que pasa.

D₃₀: Diámetro efectivo que representa el 30% del material que pasa.

D₆₀: Diámetro efectivo que representa el 60% del material que pasa.

2.2.4. Gravedad Específica.

(NORMA ASTM D-854)

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se pueda determinar la gravedad específica de los suelos. La gravedad específica se presenta bajo el símbolo de “Gs” y se utiliza para determinar la relación de vacíos de los suelos, grado de saturación y otras propiedades del suelo (Botía Diaz, 2015). La gravedad específica es un parámetro importante en ingeniería geotécnica porque influye en el comportamiento mecánico del suelo.

Ecuación 5 Fórmula para cálculo de la gravedad específica

$$Gs = \frac{Ws}{Wwd}$$

Donde:

Ws: Peso del suelo seco.

Wwd: Peso del agua desplazada por el volumen del suelo.

2.2.5. Proctor.

(NORMA ASTM D-698-91; D 1557-9)

La prueba Proctor modificada es un procedimiento de laboratorio utilizado para determinar peso unitario seco y el contenido de humedad óptimo de los suelos, lo que permite obtener una curva de compactación que indica la densidad máxima alcanzable a diferentes niveles de humedad(Connelly et al., 2008). Implica compactar muestras de suelo en capas utilizando un número específico de golpes de un martillo estandarizado. Este ensayo es fundamental para asegurar que los materiales utilizados en la construcción cumplan con los requisitos de compactación necesarios para garantizar la estabilidad y durabilidad de las estructuras.

Ecuación 6 Fórmula para cálculo de la densidad seca del suelo

$$Y_{seco} = \frac{Y}{1 + w}$$

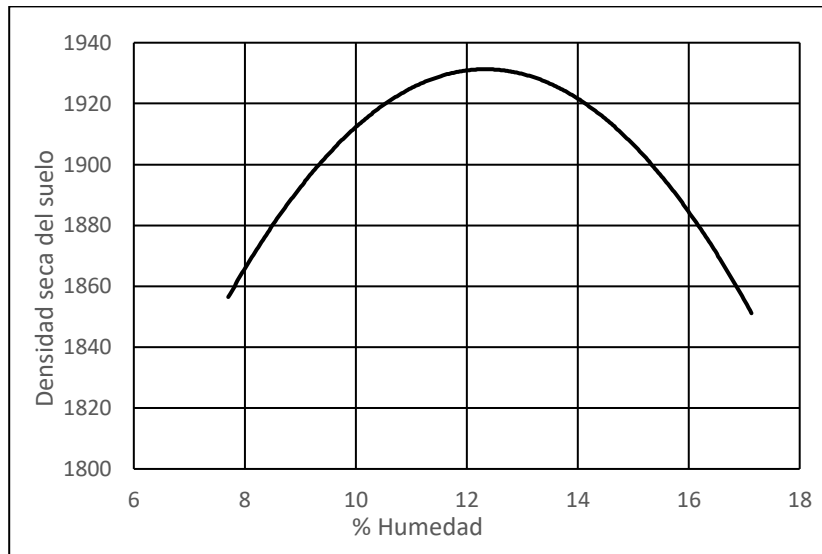
Donde:

Y_{seca} : Densidad seca del suelo.

Y : Densidad del suelo.

w : Contenido de humedad.

Ilustración 4 Curva densidad seca vs % humedad



Elaboración propia

2.2.6. California Bearing Ration (CBR).

(NORMA ASTM D-1883-73; AASHTO T-193-63)

La prueba de relación de carga de California (CBR) es un método ampliamente utilizado para evaluar suelos de subrasante, subbase y base en el diseño y control de pavimentos. El ensayo de valor relativo de soporte CBR es una medida de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas en forma cuidadosa.

Consiste en compactar una muestra de suelo, saturarla y aplicar una carga mediante un pistón estándar para medir la resistencia a la penetración en diferentes profundidades. Luego, se compara esa resistencia con la de un material de referencia, obteniendo resultados que se expresan como un porcentaje, donde valores cercanos a 0% indican suelos de baja calidad y valores cercanos a 100% indican suelos de alta calidad.

2.2.7. Abrasión de los Ángeles.

NORMA ASTM C 131; ASTM C 535

La prueba de abrasión de Los Ángeles (LA) se usa ampliamente para evaluar la resistencia de los agregados a la abrasión y degradación, particularmente para la construcción de carreteras (Amirkhanian et al., 1991). Esta prueba simula las fuerzas ejercidas sobre los agregados gruesos durante el uso como son la abrasión, impacto y fricción, provocando cambios en su morfología.

Consiste en colocar una muestra de agregado en un tambor de acero junto con esferas de acero y girar el tambor a una velocidad fija. Tras un número determinado de revoluciones, se pesa el agregado para determinar la pérdida de peso, que se expresa como porcentaje del peso inicial. Para pavimentos de alto rendimiento, se prefieren agregados gruesos con gran angularidad y valores bajos de abrasión, mientras que las partículas con proporciones planas y alargadas excesivamente altas deben limitarse (Zhang et al., 2020).

2.3. Pavimento

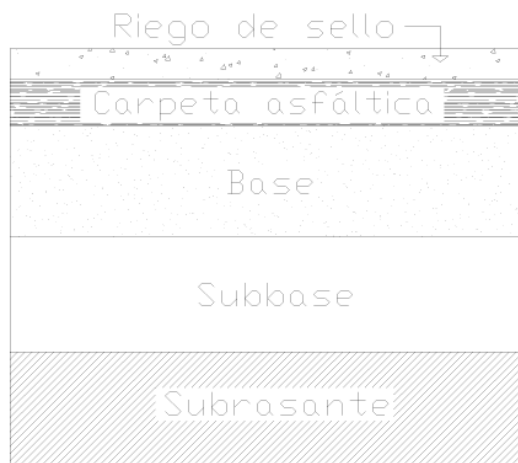
El pavimento es la superficie de rodamiento para los distintos tipos de vehículos, formada por el agrupamiento de capas de distintos materiales destinados a distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito al cuerpo de terraplén, los cuales se pueden clasificar como flexibles (de asfalto) y los rígidos (de concreto hidráulico) (Gutiérrez Graf, 2004). La diferencia entre estos tipos de pavimentos es la resistencia que presentan a la flexión.

Sin embargo, actualmente se utiliza un tipo denominado semirrígido. Este pavimento es, básicamente, flexible, pero se le ha otorgado una mayor rigidez al añadir cemento o asfalto en su base.

2.3.1. Pavimento Flexible.

Un pavimento flexible es aquel que tiene un revestimiento asfáltico sobre una capa de material granular (Cuervo Cuervo, 2018). Las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y de cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa (Saucedo Vidal, 2010). Las capas que forman un pavimento flexible se observan a continuación:

Ilustración 5 Estructura de pavimento flexible.



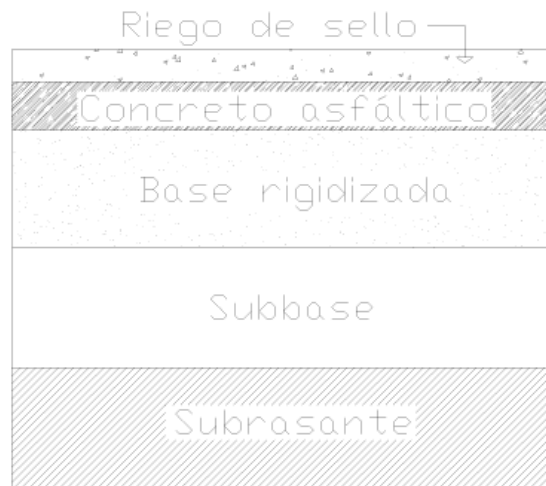
Tomado de (Gutiérrez Graf, 2004).

2.3.2. Pavimento Semirrígido.

Un pavimento semirrígido o compuesto es aquel en el que se combinan pavimentos diferentes, flexible y rígido, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. La estabilidad de suelos por medio de ligantes hidráulicos permite que se obtengan materiales con capacidad de soporte suficiente

para construir capas para base en pavimentos sujetos a cargas pesadas (Cuervo, 2018). Su composición se puede observar a continuación.

Ilustración 6 Estructura de pavimento semirrígido.

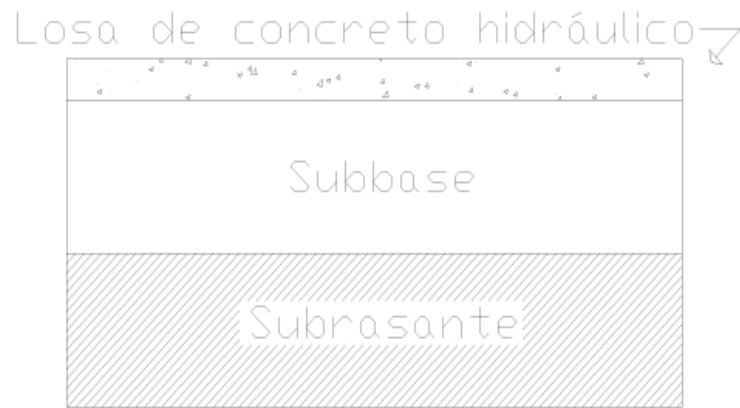


Tomado de (Gutiérrez Graf, 2004).

2.3.3. Pavimento Rígido.

Un pavimento rígido es aquel cuyo componente estructural principal es una losa de concreto hidráulico, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión (Cuervo, 2018). Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la sub-rasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla de la losa (Saucedo Vidal, 2010). Por ende, se considera que la estructura de pavimento rígido consta de: i) losa de hormigón, ii) subbase y iii) subrasante.

Ilustración 7 Estructura de pavimento rígido



Tomado de (Gutiérrez Graf, 2004).

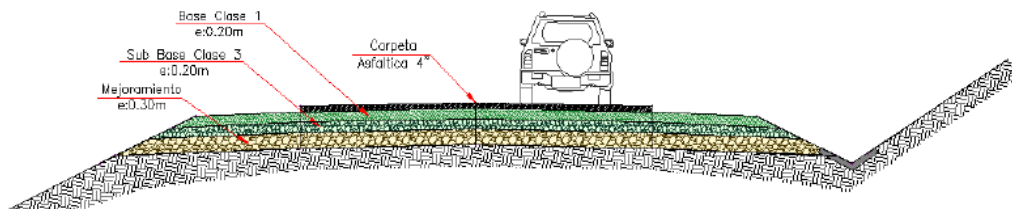
2.4. Estructura de pavimento

Como se describió anteriormente el pavimento es una estructura constituida de varias capas las cuales transmiten las diferentes cargas que transitan sobre ella. La composición de estas capas y su clasificación depende del diseño de la estructura. Estas capas generalmente incluyen una capa superficial (por ejemplo, asfalto u hormigón), una capa base y, a veces, una capa subbase, todas descansando sobre el suelo de la subrasante. (Ríos Rodríguez & Caro Guitierrez, 2019)

2.4.1. Estructura de pavimento existente

El diseño existente del pavimento en la vía Olón – San Vicente consta de la capa de rodadura con un espesor de 4 pulgadas, una base clase I con espesor de 8 pulgadas, una sub-base clase 3 y un material de mejoramiento de subrasante con un espesor de 12 pulgadas.

Ilustración 8 Sección típica de pavimento existente



Tomado de estudio de factibilidad diseño de vía Olon-San Vicente

2.4.2. Capa de rodadura

La capa de rodadura es la capa superior de una estructura de pavimento, directamente en contacto con el tráfico vehicular. Por lo general, consiste en una mezcla bituminosa u hormigón, según el tipo de pavimento. Según Grau Sacoto (2014) es la capa más externa de un pavimento. Sus funciones principales son evitar que las aguas lluvias se filtren hacia las capas inferiores, soportar las cargas del tránsito y ofrecer una superficie de rodadura que facilite un paso cómodo y seguro para los vehículos.

Por lo general existen los tipos de capa de rodadura se relacionan con el tipo de pavimento que se diseña, siendo la mezcla bituminosa para pavimentos flexibles y semirrígidos, así como el hormigón para pavimentos rígidos.

Tabla 1 Granulometría para áridos de la carpeta asfáltica

TAMIZ	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA			
	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4
1" (25.4 mm)	100	-	-	-
3/4" (19.0 mm)	90-100	100	-	-
1/2" (12.7 mm)	-	90-100	100	-
3/8" (9.5 mm)	56-80	-	90-100	100
N° 4 (4.75)	35-65	44-74	55-85	80-100
N° 8 (2.36 mm)	23-49	28-58	32-67	65-100
N° 16 (1.18 mm)	-	-	-	40-80
N° 30 (0.60 mm)	-	-	-	25-65
N° 50 (0.30 mm)	5-19	5-21	7-23	7-40
N° 100 (0.15 mm)	-	-	-	3-20
N° 200 (0.075 mm)	2-12	2-12	2-10	2-10

Nota: Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013)

2.4.2. Base

La base es un componente crucial de las estructuras del pavimento, que generalmente consiste en materiales granulares, mezclas de suelo y cemento o piedra los cuales son designados dependiendo del tipo de pavimento que se esté diseñando. Esta capa es fundamental ya que se coloca bajo la capa de rodadura y sobre la subbase o el terreno natural, por lo que su función principal es proporcionar soporte estructural para las cargas generadas por el tráfico vehicular.(Romero, 2007)

Tabla 2 Recomendaciones para uso de material de base.

MATERIAL ESPECIFICADO	TIPO DE CARRETERA	No. CARRILES	TPDA
BASE CLASE 1	Para uso en aeropuertos y carreteras con intenso nivel de tráfico.	8 a 12	> 50.000
BASE CLASE 2	Carreteras de 2 hasta 6 carriles con un ancho mínimo por carril de 3.65 m. Se incluye franja central 2 a 4 m.	2 a 6	8.000 – 50.000
BASE CLASE 3	Vías internas de urbanizaciones con bajos nivel de tráfico.	2 a 4	1.000 – 8.000
BASE CLASE 4	Caminos vecinales	2	< 1.000

Nota: Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013)

2.4.2.1. Base granular.

Según Jiménez & Leiva (2004) la base granular se forma a partir de materiales de alta resistencia, generalmente derivados de la trituración controlada de rocas. Estos materiales son seleccionados por su capacidad para soportar cargas y proporcionar estabilidad los cuales se usan comúnmente en pavimentos flexibles.

Tabla 3 Áridos para base

TAMIZ	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA				
	Base Clase 1 Tipo A	Base Clase 1 Tipo B	Base Clase 2	Base Clase 3	Base Clase 4
2" (50.8 mm)	100	-	-	100	100
1 1/2" (38.1 mm)	70-100	100	-	-	-
1" (25.4 mm)	55-85	70-100	100	100	60-90
3/4" (19.0 mm)	50-80	60-90	70-100	100	-
3/8" (9.5 mm)	35-60	45-75	50-80	-	-
N° 4 (4.75 mm)	25-50	30-60	35-65	45-80	20-50
N° 10 (2.00 mm)	20-40	20-50	25-50	30-60	-
N° 40 (0.425 mm)	10-25	10-25	15-30	20-35	-
N° 200 (0.075 mm)	2-12	2-12	3-15	3-15	0-15

Nota: Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013)

2.4.2.1. Base estabilizada.

La base estabilizada en una estructura de pavimentos es una capa tratada con aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas y su resistencia a la deformación permanente. Comparada con las bases hidráulicas convencionales, las bases estabilizadas ofrecen un mejor desempeño estructural (Surita Gil et al., 2023).

2.4.3. Sub-base

Según Canaza (2020) es la capa intermedia situada entre la base y la subrasante, donde se debe utilizar un material de mejor calidad para reducir el espesor y proteger la base. Esto ayuda a prevenir que el material de la subrasante penetre en la capa base, evitando así la formación de desniveles debido a cambios en las condiciones de humedad. De igual manera describe que puede ser de origen cribado o triturado, cuyas funciones principales es la de absorber cargas de tráfico sin sufrir deformaciones con el tiempo, sirviendo como drenaje y evitar la capilaridad del agua en la estructura de pavimento (Gómez Morales, 2023).

Tabla 4 Áridos de subbase

TAMIZ	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm)	-	-	100
2" (50.4 mm)	-	100	-
1 1/2" (38.1 mm)	100	70-100	-
N° 4 (4.75 mm)	30-70	30-70	30-70
N° 40 (0.425 mm)	10-35	15-40	-
N° 200 (0.075 mm)	0.15	0-20	0-20

Nota: Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013)

2.4.4. Subrasante

Comúnmente esta capa no hace parte de la estructura de pavimentos ya que corresponde al terreno natural sobre el que se apoya la misma. Sin embargo, debe cumplir con ciertas características para que los materiales colocados sobre ella se distribuyan de manera uniforme. Su preparación adecuada es crucial para obtener la capacidad y calidad estructural deseada en cualquier tipo de pavimento. Esto incluye compactación, elevación, uniformidad y posible tratamiento con cemento o cal (Londoño N, 1999).

Tabla 5 Clasificación del material de subrasante de acuerdo con el CBR

CBR	Clasificación
0 – 5	Suelo de subrasante muy mala
5 – 10	Suelo de subrasante mala
10 – 20	Suelo de subrasante regular a buena
20 – 30	Suelo de subrasante muy buena
30 – 50	Subbase buena
50 – 80	Base buena
80 – 100	Base muy buena

Nota: Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013)

2.6. Clasificación del material pétreo para pavimentos

De acuerdo con las especificaciones dadas por la NEVI-12-MTOP(2013), para que un determinado material sea clasificado como mejoramiento, subbase o base; debe de cumplir con los siguientes ensayos de control de calidad.

2.6.1. Control de calidad para mejoramiento de subrasante

Para que un material se clasifique como mejoramiento debe satisfacer:

- i) tamaño máximo de 4",
- ii) P200 no mayor a 20%,
- iii) índice de plasticidad no mayor a 9%,
- iv) limite liquido no mayor a 35%,
- v) valor de CBR mayor al 20% y
- vi) grado de compactación mayor-igual al 95%.

2.6.2. Control de calidad para subbase

Para que un material se clasifique como subbase debe satisfacer:

- i) Coeficiente de desgaste menor a 50%,
- ii) Índice de plasticidad no mayor a 6%,
- iii) índice de plasticidad no mayor a 9%,
- iv) Limite liquido no mayor a 25%,
- v) Valor de CBR mayor a 30% y
- vi) Grado de compactación mayor-igual al 100%.

Se definen en 3 tipos, el cual se clasifica según su granulometría por cribado la cual se observa en la tabla 4.

2.6.3. Control de calidad para Base

Para que un material se clasifique como base debe satisfacer:

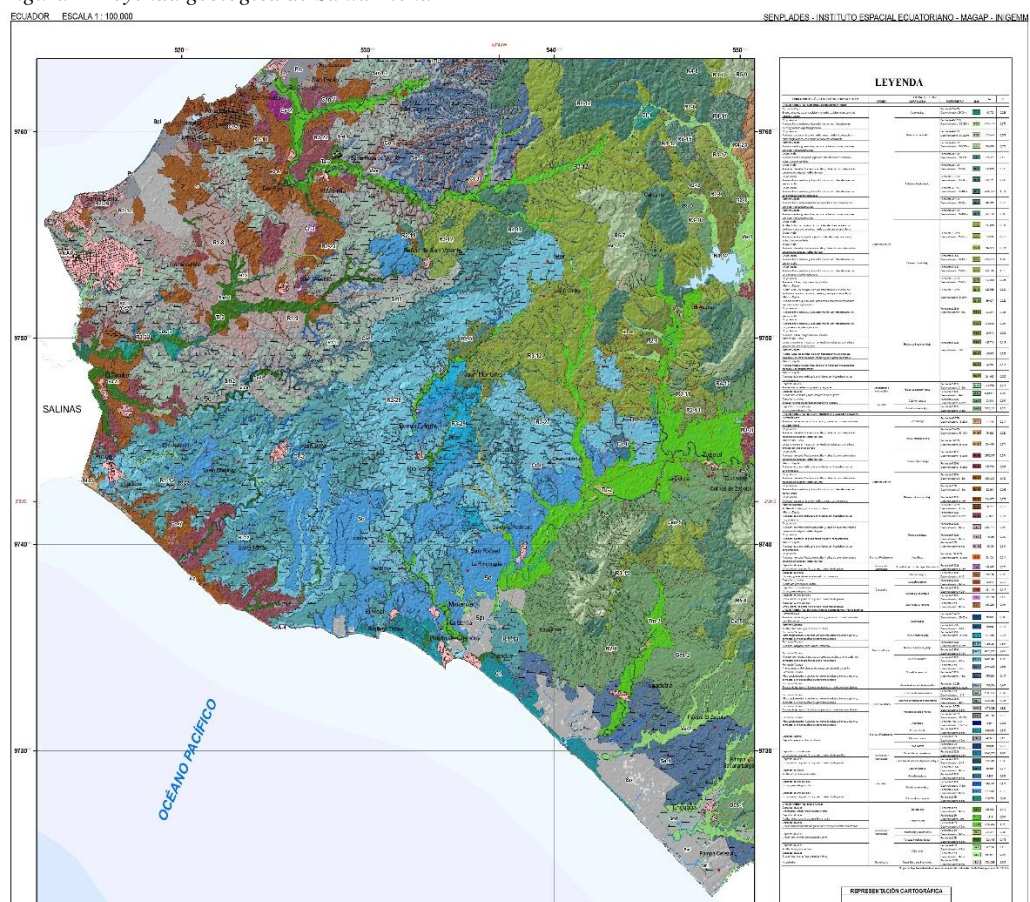
- i) coeficiente de desgaste menor a 40%,
- ii) índice de plasticidad no mayor a 6%,
- iii) Limite liquido no mayor a 25%,
- iv) valor de CBR mayor-igual al 80% y
- v) grado de compactación mayor-igual al 100%.

Se definen en 4 tipos, el cual se clasifica según el número de carriles de la según las tablas 2 y 3.

2.7. Geología local

En la Provincia de Santa Elena existen 16 unidades geológicas. Las formaciones más frecuentes son los depósitos aluviales y coluvio-aluviales, que cubren el 16% y el 8% de la superficie provincial, respectivamente. Los depósitos aluviales abarcan aproximadamente 58 000 hectáreas y están compuestos principalmente por arcillas, limos y arenas de grano fino a medio, con espesores variables.(GADSE, 2023)

Figura 1 Leyenda geológica de Santa Elena



Nota: Tomado de (GEOPORTALIGM, 2012a)

En esta provincia se encuentran diferentes canteras de las cuales se extraen diferente material que suele servir en su mayoría para mejoramiento de subrasante y subbases. Esta cualidad se debe a las formaciones geomorfológicas que existen en esta zona siendo las principales las que se muestran a continuación:

2.7.1. Formación Tablazo

Según CODIGEM (2012) litológicamente está compuesta por areniscas calcáreas de grano fino a medio de color blanco, con gravas de tamaño centimétrico, que se encuentran en estratos tabulares casi horizontales. Mientras Núñez Del Arco (2003) que describe que esta formación consta de cuatro niveles, donde el tercer nivel se ubica entre los 2 a 10 metros de altura, el cual consiste en arena fina a media, localmente calcárea, con gravas y conchas rotas y presencia de sal.

Esta Formación se encuentra desde los acantilados de Ballenita hasta el cerro El Capay, los 3 niveles terracedos marinos, formado por rocas bioclásticas muy evidenciables (GEOPORTALIGM, 2012a).

2.7.2. Grupo Azúcar

CODIGEM (2012) describe que consta de 3 unidades: Estancia, Chanduy y Engabao. Litológicamente, se compone de areniscas con arcilla guijarrosa de color café claro, que muestran variaciones significativas tanto horizontal como verticalmente en distancias cortas. Estas areniscas, por lo general, cambian de tamaño medio a grueso y están formadas principalmente por areniscas cuarzosas y conglomerados finos. De igual manera Núñez Del Arco (2003) afirma que esta formación corresponde a variaciones de facies de lutitas, areniscas y conglomerados, depositados en un ambiente de pie de talud continental.

“Los relieves y las excelentes exposiciones afloran en el Este de la Península de Santa Elena en los Cerro Saya, Cerro de los Judas, Cerro Palo Largo y Chanduy, formando relieves ondulados, colinados muy bajos, bajos, medios y altos”(GEOPORTALIGM, 2012a).

2.7.3. Grupo Ancón

En este grupo encuentran agrupadas tres formaciones: Clay Pebble Bed, Socorro y Seca. Litológicamente está compuesto por areniscas de grano medio poco compactada de color café amarillenta, intercaladas con arcillas y lutitas gris verdosas. Las geoformas tipo son los acantilados, frente, superficies disectadas y vertientes de cuevas, superficies y vertientes de chevrones y los relieves colinados altos, medios, bajos y muy bajos, que se pueden encontrar en los sectores como Lomas Largo y Cerro Alto. (GEOPORTALIGM, 2012a)

2.7.4. Miembro zapotal

Según CODIGEM (2012) se encuentra en discordancia sobre el Grupo Ancón; litológicamente, está compuesto por areniscas de grano medio de color café amarillento, presentándose en forma de bancos de conglomerados y estratos que varían entre decimétricos y métricos de areniscas endurecidas. “Este miembro está formado por capas decimétricas a pluridecimétricas, de areniscas de grano medio, alternantes con limolitas. La base, es un conglomerado con guijarros subangulares, de tamaño variable de cuarzo, chert, areniscas y calizas.”(Núñez Del Arco, 2003).

Forma relieves ondulados, colinados muy bajos, bajos, medios, altos, frente, superficies y vertientes de cuevas, y superficies y vertientes de chevrón (GEOPORTALIGM, 2012a).

2.7.5. Depósitos Coluviales

“De edad Cuaternaria, se forma al pie de una ladera como resultado del transporte gravitacional de los materiales meteorizados resultantes de la

desintegración de relieves primarios, están compuestos por bloques y gravas de arenisca en matriz limo arenosa, formando coluviones antiguos y recientes”.(GEOPORTALIGM, 2012a)

2.7.6. Depósitos Coluvio Aluviales

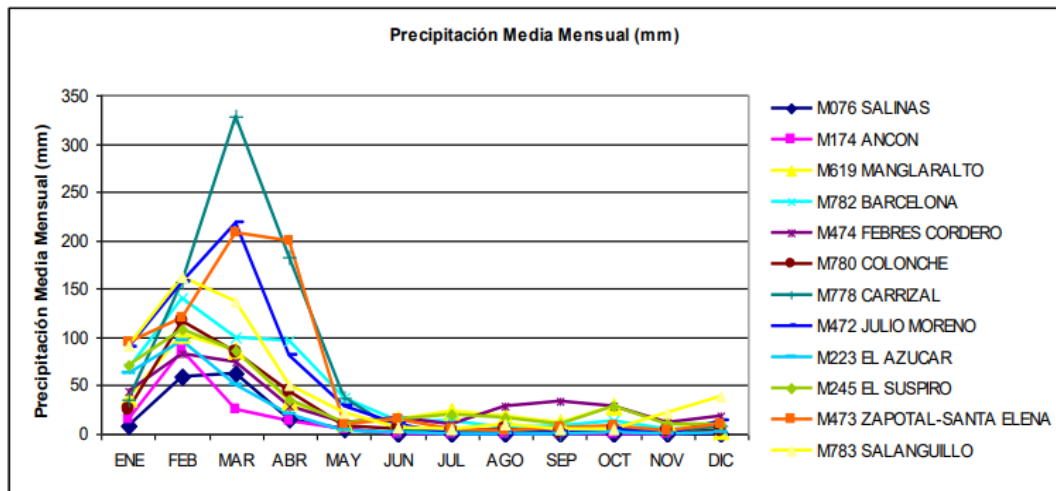
“De edad Cuaternaria, se originan por la sedimentación de material clástico (limos, arenas y clastos), producto de la erosión de las partes altas de las Formaciones existentes, están compuestos de gravas, arenas y limos, que rellenan los valles formados por los ríos y parte de las cuencas hidrográficas”.(GEOPORTALIGM, 2012a)

2.8. Meteorología

Santa Elena es una región árida o desértica influenciada por la corriente de Humboldt, con dos estaciones climáticas bien definidas: una seca y otra lluviosa. Las lluvias intensas comienzan en diciembre y terminan en mayo, con un promedio anual entre 125 y 150 mm. (GEOPORTALIGM, 2012b)

El análisis histórico revela un incremento en la temperatura de 0,038 °C por año y en la precipitación de 0,196 mm por año. Diferentes modelos proyectan que para finales del siglo XXI, se tendrá un aumento de 2,7 °C en la temperatura media, un 8,2% más en la precipitación. (García Garizábal et al., 2017)

Ilustración 9 Precipitación media mensual en Santa Elena de diferentes estaciones

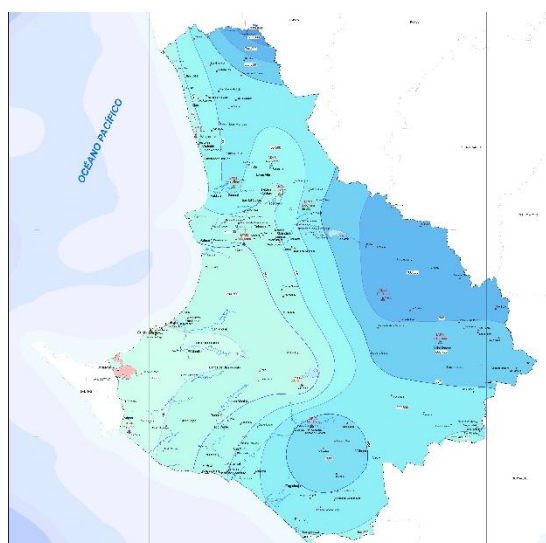


Nota: Tomado de (GEOPORTALIGM, 2012b)

No obstante, Corapi & Núñez Neira (2022) afirma que, debido a las pocas de estaciones pluviométricas en Santa Elena, junto con registros discontinuos e incompletos, ocasionan que la estimación de las ecuaciones de las curvas de intensidad-duración-frecuencia sea compleja, dando lugar a sobrestimaciones o subestimaciones de las precipitaciones. en sectores sin datos.

Entonces, es necesario conocer la distribución geográfica de los valores de precipitación en la zona en estudio; para ello, uno de los métodos más usados en meteorología para entender esta distribución es por medio de trazos de isoyetas.

Ilustración 10 Isoyetas del Cantón Santa Elena.



Nota: Tomado de (GEOPORTALIGM, 2012b)

2.9. Hidrología

En relación con la Hidrología, se puede señalar que existen 44 unidades hidrográficas en la provincia de Santa Elena. Las dos más grandes y representativas, se podría decir, porque son las únicas que reciben agua del trasvase Chongón – Santa Elena son las cuencas de los ríos Javita y Zapotal.

Ilustración 11 División hidrográfica del cantón Santa Elena



Nota: Tomado de (GEOPORTALIGM, 2012b)

2.9.1. Drenaje

Proporcionar un drenaje adecuado a un sistema de pavimento se ha considerado como una consideración de diseño importante para evitar fallas prematuras debido a problemas relacionados con el agua, la cual se infiltra por la lluvia en las capas de pavimento no saturadas, a través de juntas, grietas, bordes de los arcenes y varios otros defectos, especialmente en pavimentos deteriorados más antiguos (Rokade et al., 2012).

Según Sanchez Sabogal (2002) el sistema de drenaje efectivo ayuda a prevenir la erosión en las capas de soporte del pavimento, especialmente en condiciones de lluvia intensa. La erosión puede causar el desplazamiento de materiales finos y debilitar la integridad del pavimento. La presencia de agua en las capas puede causar fenómenos como el bombeo, donde el agua y los finos son empujados hacia la superficie bajo cargas dinámicas lo cual puede resultar en agrietamientos y deformaciones en el pavimento (Castaño Martínez et al., 2009).

Una solución para tener una mayor capacidad de drenaje es incorporar capas de subbase y base que tengan propiedades permeables. Estas capas deben estar diseñadas con un tamaño de partícula adecuado para facilitar el flujo del agua. Mullaney & Lucke (2014) describen que la subbase está compuesta por áridos triturados, ya sea natural o reciclado, que es limpio y contiene una cantidad mínima de partículas finas, con el objetivo de garantizar un porcentaje de vacíos de al menos un 35%.

2.9.2. Permeabilidad

La FHWA recomienda un coeficiente mínimo de permeabilidad de 0,35 cm/s para el material de base y subbases permeables, Lo cual puede variar a tres

órdenes de magnitud más altos que las subbases estándar (Bouchédid & Humphrey, 1936). Por lo que se debe realizar un diseño y una construcción adecuados para garantizar capas de drenaje efectivas, esto se logra realizando pruebas de permeabilidad y estabilidad in situ, junto con especificaciones de resultados finales basándose en fuentes de agregados locales (White et al., 2004).

La determinación de la permeabilidad en materiales pétreos puede realizarse mediante métodos directos mediante ensayos de laboratorio o, en su defecto, a través de métodos indirectos basados en ecuaciones que correlacionan distintas propiedades geotécnicas. A continuación, se detallan los métodos utilizados para la evaluación de esta propiedad.

2.9.2.1. Método directo (Ensayo de permeabilidad)

(NORMA ASTM D 2434 - 68)

La permeabilidad del suelo se refiere a la facilidad con la que el agua fluye a través de sus vacíos continuos. Conocer esta propiedad es esencial para comprender el comportamiento del agua en el suelo y para definir sus características y aplicaciones en obras civiles. La permeabilidad se cuantifica mediante un coeficiente de permeabilidad k , expresado en unidades de velocidad.

Existen dos métodos para evaluar este coeficiente, en este caso se explica el método de carga constante. Este método consiste en colocar una muestra de suelo en un cilindro permeámetro. El cual se somete a una presión constante de agua, que fluye a través de la muestra. Finalmente se mide el volumen de agua que pasa a

través del suelo en un tiempo determinado. Con los datos obtenidos se utiliza la ecuación de Darcy para calcular el coeficiente de permeabilidad (k).

Ilustración 12 Método directo para el cálculo de coeficiente de permeabilidad

$$K = \frac{QL}{Aht}$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad.

Q: Volumen de agua que pasa a través de la muestra.

L: es la longitud de la muestra.

A: es el área transversal de la muestra.

h: es la diferencia de carga hidráulica.

t: tiempo en recolectar el volumen de agua.

2.9.2.2 Método indirecto (Correlaciones)

Para estimar la permeabilidad de las bases no tratadas, se han analizado diversas fórmulas empíricas y teóricas que permiten calcular el coeficiente de permeabilidad a partir de datos granulométricos y de mecánica de suelos. Estas fórmulas suelen proporcionar resultados bastante precisos en suelos gruesos con bajo contenido de finos; sin embargo, a medida que la proporción de finos aumenta, la precisión de los resultados disminuye.

Para este caso de estudio se presenta la formula y el ábaco de la FHWA, los cuales son correlaciones empíricas que AASHTO (1993) recomienda para ser usada en bases y subbases de pavimentos:

$$K = \frac{6.214 * 10^5 (D_{10})^{1.478} n^{6.654}}{(P_{200})^{0.597}}$$

Donde:

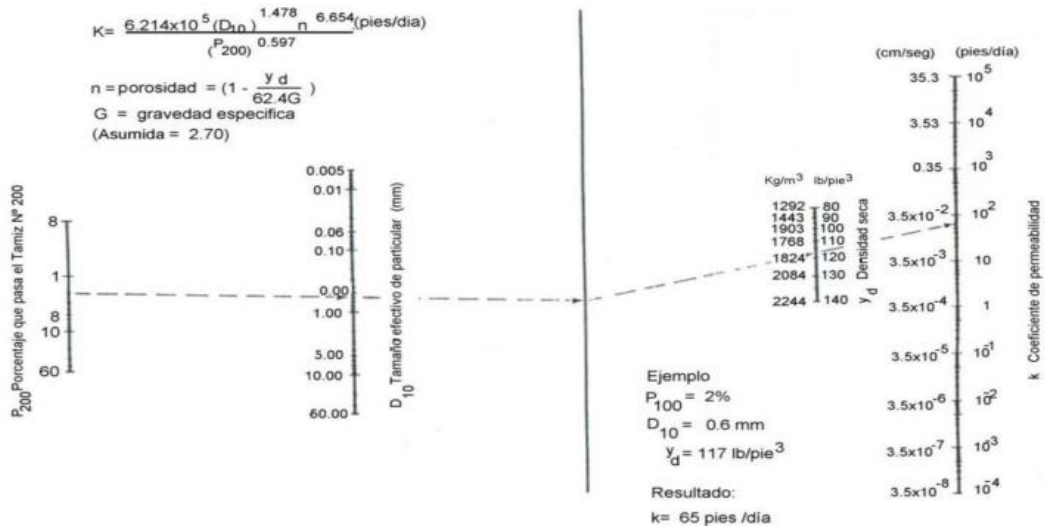
K: Coeficiente de permeabilidad (pie/día).

D₁₀: Diámetro efectivo que representa el 10% del material que pasa.

n: Porosidad del material.

P₂₀₀: Porcentaje en peso del material que pasa el tamiz 200.

Ilustración 13 Carta para estimar el coeficiente de permeabilidad



Nota: Tomado de (FHWA, 1980)

2.9.2.2 Método Hazen.

Hazen desarrolló su fórmula para el diseño de filtros de arena para la purificación del agua, es decir, arena suelta y limpia con un coeficiente de uniformidad D₆₀ / D₁₀, de aproximadamente 2, se usa frecuentemente para estimar la permeabilidad del suelo in situ. El valor de C_k generalmente se supone que es igual a 100, pero en diferentes bibliografías se han dado unos rangos de valores con variaciones

Ecuación 8 Coeficiente de permeabilidad según Hazen Williams

$$K = C_k \left(\frac{D_{10}}{10} \right)^2$$

2.10. Drenaje subsuperficial

2.10.1. Geometría de la carretera

En cuanto al agua que circula sobre la superficie del pavimento, las pendientes longitudinal y transversal de la calzada juegan un papel crucial en el control del flujo de agua dentro de la sección estructural del pavimento. La interacción de ambas pendientes genera una pendiente real en la trayectoria del flujo, conocida como pendiente resultante (SR), la cual se calcula utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 9 Pendiente resultante

$$S_H = \sqrt{(S^2 + S_x^2)}$$

Donde:

S_R: Pendiente de flujo subsuperficial.

S: Pendiente longitudinal.

S_H: Pendiente transversal.

En consecuencia, la longitud resultante de la trayectoria de flujo dentro de la base permeable se obtiene con la siguiente ecuación, la cual involucra el ancho de la capa permeable:

Ecuación 10 Longitud resultante de la trayectoria de flujo dentro de la base permeable

$$L_R = H * \sqrt{1 + \left(\frac{S}{S_x}\right)^2}$$

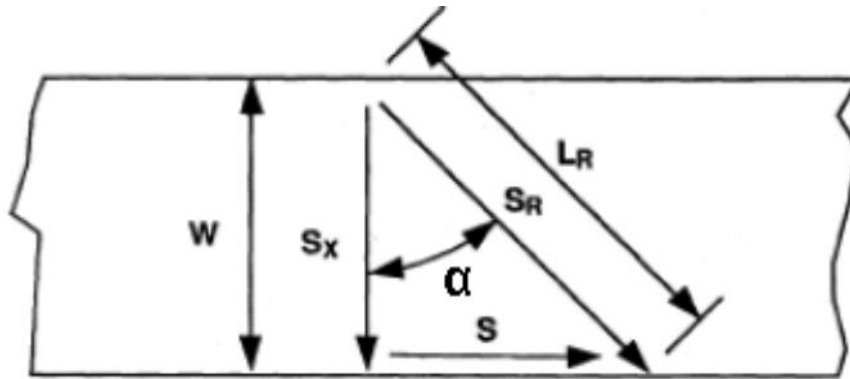
Donde:

L_R : Longitud de la trayectoria de flujo.

H : Ancho de la capa permeable evaluada.

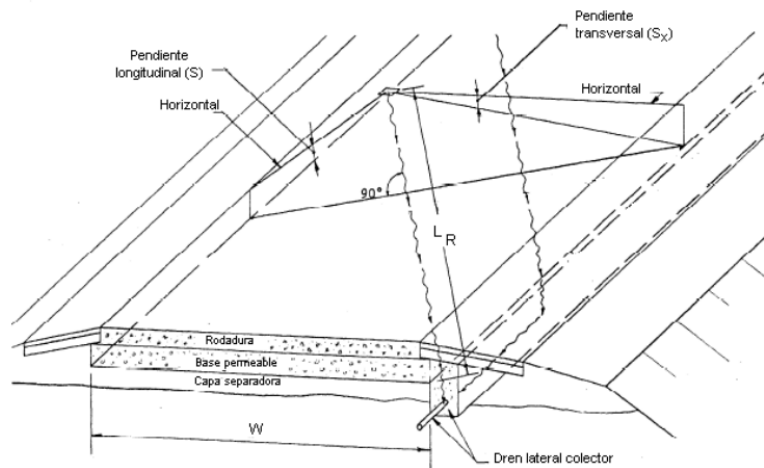
La longitud resultante de la trayectoria de flujo (L_R) se mide a lo largo de la pendiente resultante, desde el punto más alto de la pendiente hasta el lugar donde el agua sale de la base permeable. En resumen, L_R representa la distancia máxima que recorrerá el agua dentro de la base permeable.

Ilustración 14 Parámetros geométricos de una base permeable



Nota: Tomado de (MTINV, 2009)

Ilustración 15 Trayectoria del agua subsuperficial en una capa permeable



Nota: Tomado de (MTINV, 2009)

2.10.2. Características de la capa permeable

Tal como se mencionó previamente, las características del material a evaluar deben ser óptimas y haber superado los ensayos de control de calidad. Sin embargo, para evaluar su capacidad de drenaje, es fundamental determinar la permeabilidad del material, la cual puede obtenerse a través de ensayos o análisis teóricos.

En la sección 2.9.2.2 se presenta una fórmula que, a su vez, depende de la porosidad, la cual puede calcularse con la siguiente ecuación:

Ecuación 11 Porosidad

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_w * G_s}$$

Donde:

n: Porosidad.

γ_d : Peso unitario seco.

γ_w : Peso unitario del agua.

G_s : Gravedad específica del suelo.

Para objeto de este estudio se introduce el concepto de porosidad efectiva (n_e), que representa la cantidad de agua que puede ser drenada de un suelo bajo la acción de la gravedad. El porcentaje de agua total que puede drenarse depende de la distribución de tamaños de las partículas, la cantidad de finos y, especialmente, del tipo de minerales presentes en dichas partículas finas.

Ecuación 12 Porosidad efectiva

$$N_e = 0.8 n$$

Donde:

N_e : Porosidad efectiva.

n : Porosidad.

Tabla 6 Porcentajes estimados de agua que puede ser drenada por gravedad

Material Predominante	Cantidad de finos								
	<2.5 %			5 %			10 %		
	Tipo de finos			Tipo de finos			Tipo de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Nota: Tomado de (Aashto, 1993)

2.10.3. Procedimiento del tiempo para drenar

Según MTINV (2009) el enfoque más utilizado para el diseño hidráulico de las capas permeables es el basado en el tiempo de drenaje. Esta metodología se fundamenta en las siguientes suposiciones: i) El agua se infiltra en el pavimento hasta saturar la capa, ii) Una vez saturada, no se infiltra más agua, y cualquier exceso de lluvia fluye sobre la superficie del pavimento, y iii) Después de que cesa

la lluvia, el agua infiltrada es evacuada hacia los dispositivos laterales de subdrenaje.

El principal parámetro de interés en este procedimiento es el tiempo requerido para drenar la capa permeable hasta un nivel de humedad preestablecido. El criterio general es que en un lapso de 2 horas drene el 50% del agua presente en la capa permeable. Entonces el diseño estándar de drenaje para capas permeables basado en el tiempo que tarda en drenar el 50% del agua se clasifica según:

Tabla 7 Calificación del drenaje de una capa permeable a partir del tiempo que tarda en drenar el agua

Calidad de drenaje	50 % de saturación	85 % de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	10 a 15 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mayor a 15 horas

Nota: Tomado de (Aashto, 1993)

El tiempo requerido para drenar la capa permeable se calcula mediante la ecuación:

Ecuación 13 Tiempo requerido para drenar la capa permeable

$$t = T * m * 24$$

Donde:

t: Tiempo para drenar.

T: Factor tiempo.

m: Factor de geometría de la capa permeable.

Como se presenta anteriormente la formula del tiempo para drenar depende del factor de geometría de la capa permeable, el cual se determina mediante:

Ecuación 14 Factor de geometría de la capa permeable

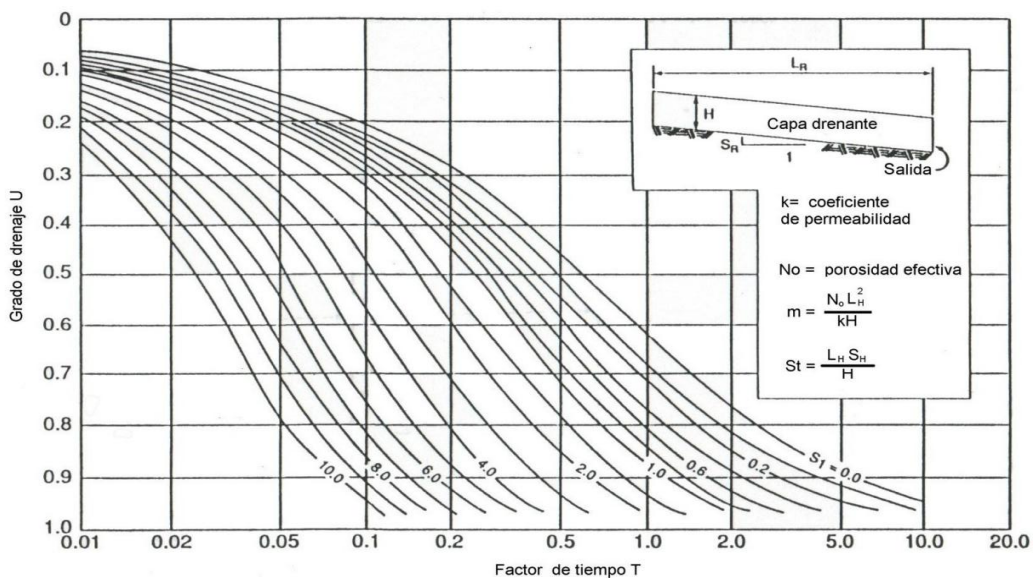
$$m = \frac{N_e * L_R^2}{K * H}$$

La FHWA (1980) elaboro una gráfica que permite determinar el factor tiempo (T) a partir de la geometría de la capa de base. Para su uso se requiere calcular previamente el denominado factor de pendiente (St), con la expresión:

Ecuación 15 factor de pendiente (St)

$$s_t = \frac{L_R * S_H}{H}$$

Figura 2 Factores tiempo para el drenaje de una capa saturada



Nota: Tomado de (FHWA, 1980)

Dado que la Figura 14 resulta difícil de interpretar y, por lo general, solo se utiliza el 50% de drenaje, AASHTO (1993) sugiere emplear la fórmula de Casagrande/Shannon para calcular el tiempo necesario para drenar dicha proporción.

Ecuación 16 Fórmula de Casagrande/Shannon

$$t_{50} = \frac{N_e * L_R^2}{2 * K * (S_H * L_R + H)}$$

2.10.4. Coeficiente de drenaje

Finalmente, para calcular los coeficientes de drenaje de una capa permeable, es esencial conocer las condiciones meteorológicas de la zona de estudio, ya que el tiempo que el pavimento permanece expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación está relacionado con la cantidad de lluvia anual. Una vez obtenido el registro de precipitaciones, se procede a calcular el porcentaje de tiempo mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 17 Porcentaje de tiempo en que el pavimento está próximo a la saturación

$$P(\%) = \frac{S + R}{365} * 100$$

Donde:

P(%): Porcentaje de tiempo en que el pavimento está próximo a la saturación.

S: Días de deshielo de primavera.

R: Días con lluvia en las que eh afectado la zona de estudio.

Con este dato, se procede a estimar el coeficiente de drenaje (m) de una capa permeable, que según se clasifica mediante la siguiente tabla:

Tabla 8 Coeficientes de drenaje recomendados

Calidad de drenaje	% de tiempo en que la estructura del pavimento es expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos que 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	Mayor que 25 %
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 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

Nota: Tomado de (Aashto, 1993)

CAPÍTULO III: Metodología

3.1. Tipo y nivel

El tipo y nivel de investigación son aspectos fundamentales en el diseño metodológico de un estudio, ya que definen el enfoque con el cual se abordarán las variables, así como la naturaleza de los datos que se generarán. Una elección adecuada de estos elementos permite orientar correctamente el proceso de investigación, facilitando la obtención de resultados válidos, precisos y aplicables a contextos reales.

3.2. Tipo de investigación.

El presente estudio se enmarca dentro de la investigación de tipo aplicada, ya que busca generar conocimientos útiles para resolver un problema técnico específico relacionado con el diseño de pavimentos, a partir de la evaluación de materiales granulares y sus propiedades de drenaje. Este tipo de investigación parte de hallazgos teóricos o de la investigación básica, pero se enfoca en su utilización directa para la mejora de procesos productivos o soluciones ingenieriles (Sampieri et al., 2014).

En este caso particular, la investigación consiste en evaluar los coeficientes de drenaje de materiales granulares provenientes de tres canteras ubicadas en la provincia de Santa Elena, mediante la realización de ensayos de laboratorio, la interpretación de parámetros hidrológicos del sitio y la aplicación de normativa

técnica vigente (como la AASHTO y otras regulaciones nacionales), con el objetivo de aplicar dichos resultados al diseño estructural de una vía de ingreso en el sector de Olon - San Vicente.

3.3. Nivel de investigación.

El nivel de investigación corresponde a un enfoque descriptivo-experimental, dado que contempla tanto la caracterización detallada de las propiedades físicas e hidráulicas de los materiales estudiados (descripción), como la manipulación de variables a través de ensayos estandarizados en laboratorio para observar el comportamiento del coeficiente de drenaje (experimentación).

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación descriptiva se enfoca en detallar fenómenos tal como se presentan en la realidad, mientras que la investigación experimental implica la manipulación intencionada de variables independientes para analizar sus efectos sobre variables dependientes. En este contexto, las variables independientes corresponden a las características físicas del material granular (granulometría, permeabilidad, etc.), y la variable dependiente es el coeficiente de drenaje (m), parámetro fundamental en el diseño estructural de pavimentos.

Este nivel de análisis permite generar información cuantificable y organizada, facilitando la comparación con valores normativos y con datos utilizados en diseños previos, con el fin de determinar la calidad y aptitud de los materiales para su empleo en obras viales.

3.4. Método, enfoque y diseño

3.4.1. Método de la investigación.

El método de investigación adoptado en este estudio es de tipo experimental, ya que se fundamenta en la observación controlada y sistemática de los efectos que tienen las propiedades de los materiales granulares (variables independientes) sobre los coeficientes de drenaje (variable dependiente), en el contexto del diseño estructural de pavimentos.

La investigación experimental permite establecer relaciones de causa y efecto a través de la manipulación directa de las condiciones en las que se evalúan los materiales, como la granulometría, compactación y permeabilidad, en un entorno de laboratorio controlado (Hernández Sampieri et al., 2014). Esta metodología es idónea para validar, mediante evidencia empírica, si los materiales extraídos de las tres canteras ubicadas en la provincia de Santa Elena cumplen con los parámetros técnicos requeridos por la normativa para su aplicación en obras viales.

Además, se considera la caracterización hidrológica del sitio de estudio, lo cual permite complementar el análisis del comportamiento de los materiales ante la presencia de agua, aspecto crítico en el cálculo del coeficiente de drenaje para capas granulares en pavimentos.

3.4.2. Enfoque de la investigación.

El enfoque adoptado en esta investigación es de carácter mixto, ya que integra elementos cuantitativos y cualitativos para lograr una comprensión más integral del fenómeno estudiado. Este tipo de enfoque permite aprovechar las

fortalezas de ambos paradigmas metodológicos, facilitando una triangulación de datos que mejora la validez de los resultados (Creswell & Plano Clark, 2018).

Desde el enfoque cuantitativo, se ejecutan ensayos de laboratorio normados (como granulometría, densidad, humedad, y permeabilidad) que generan datos numéricos para calcular los coeficientes de drenaje m , los cuales serán analizados estadísticamente y comparados con los valores de diseño utilizados en el proyecto de la vía de ingreso a Olon - San Vicente.

Por otro lado, desde el enfoque cualitativo, se incorpora el análisis contextual e interpretativo de los factores hidrológicos del sitio, así como la revisión y aplicación de normativa técnica (por ejemplo, AASHTO y normativa del MTOP), lo que permite evaluar de manera más profunda la idoneidad de los materiales en función de criterios técnicos, ambientales y de desempeño en campo.

3.4.3. Diseño de la investigación.

El diseño metodológico adoptado en esta investigación es de tipo experimental de campo y laboratorio, ya que se propone analizar los efectos de variables controladas sobre una variable dependiente, en un entorno parcialmente controlado y bajo condiciones específicas.

En este caso, la investigación se estructura en dos fases principales: la fase de campo, en la cual se realiza la recolección de muestras de materiales granulares en tres canteras ubicadas en la provincia de Santa Elena, y la fase de laboratorio, donde se llevan a cabo ensayos geotécnicos normados para determinar propiedades físicas y mecánicas tales como granulometría, contenido de humedad, densidad seca máxima, permeabilidad, entre otros.

Posteriormente, con base en los resultados obtenidos, se evalúan los coeficientes de drenaje m según metodologías sugeridas por la normativa AASHTO y el Manual de Carreteras del MTOP, estableciendo comparaciones con los valores empleados en el diseño estructural de la vía de ingreso a Olon - San Vicente.

Este diseño permite verificar experimentalmente si los materiales evaluados son técnicamente aptos para su uso en capas granulares de pavimento, particularmente bajo condiciones de infiltración de agua, aspecto crítico en la durabilidad estructural del sistema vial (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.5. Población, muestra y muestreo

3.5.1. Población.

La población en una investigación se define como el conjunto total de elementos con características comunes y relevantes para el estudio, de los cuales se desea obtener información (Hernández Sampieri et al., 2014). En este caso, la población está conformada por los materiales granulares disponibles en tres canteras ubicadas en la provincia de Santa Elena, específicamente aquellos empleados o susceptibles de ser empleados en la conformación de capas estructurales de pavimento.

Estas canteras representan fuentes naturales de extracción de suelos con características geotécnicas particulares, por lo que constituyen el universo de estudio para evaluar los coeficientes de drenaje m , un parámetro esencial en el diseño de pavimentos según la metodología AASHTO.

3.5.2. Muestra.

La muestra es un subconjunto representativo de la población que permite inferir resultados válidos y generalizables al universo total, seleccionada bajo criterios técnicos que aseguren su relevancia y representatividad (Sabino, 1996). En este estudio, la muestra está constituida por segmentos de suelo granular extraídos de tres canteras identificadas como: Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja.

Para cada cantera se recolectaron muestras a dos profundidades diferentes (1 m y 2 m), con el propósito de obtener una caracterización más completa de los materiales disponibles. Estas muestras fueron extraídas con procedimientos normados y conservadas en condiciones adecuadas para su análisis en laboratorio.

3.5.3. Muestreo.

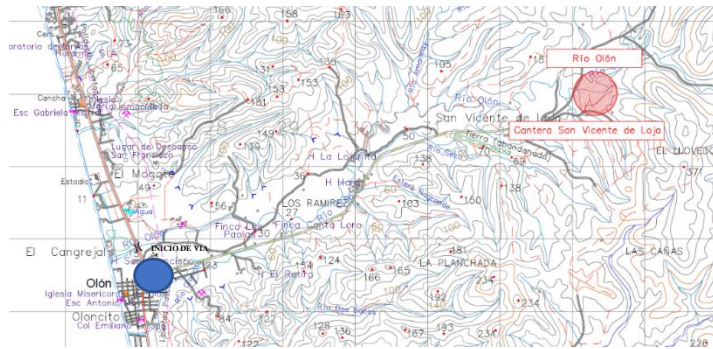
El tipo de muestreo aplicado fue no probabilístico por conveniencia, dado que las canteras seleccionadas cumplen con los criterios técnicos, logísticos y de acceso necesarios para la investigación. La técnica de recolección consistió en la ejecución de calicatas a cielo abierto en cada cantera, mediante las cuales se extrajeron muestras a profundidades controladas de 1 m y 2 m. Cada muestra fue almacenada en sacos rotulados e impermeables, y luego transportada al laboratorio para su caracterización física, mecánica e hidráulica.

Este proceso se llevó a cabo bajo condiciones de campo controladas, garantizando la integridad de los materiales extraídos y su representatividad con respecto al estrato de suelo granular predominante en cada cantera.

3.6. Ubicación de los sectores de estudio

3.6.1. Cantera San Vicente de Loja

Ilustración 16 Ubicación de cantera San Vicente de Loja



Tomado de Google Maps

La cantera San Vicente se encuentra ubicada a 7.16 km de la abscisa 0+000 del inicio de la vía, en la parroquia Olón, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena. Esta cantera es una fuente importante de materiales granulares utilizados en la construcción de pavimentos. La coordenada UTM de la cantera son las siguientes:

Tabla 9 Coordenadas de la Cantera San Vicente

Punto	Coordenada X	Coordenada Y
1	532897	9804032

Nota: Figura extraída de Google Maps.

3.6.2. Cantera Villingota (VERDÚ)

Ilustración 17 Ubicación de cantera Villingota



Tomado de Google Maps

La cantera Villingota está situada en la comuna San Rafael, parroquia Colonche, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, ubicada a 92 km de la abscisa 0+000 del inicio de la vía. Con un área de 2 hectáreas aproximadamente.

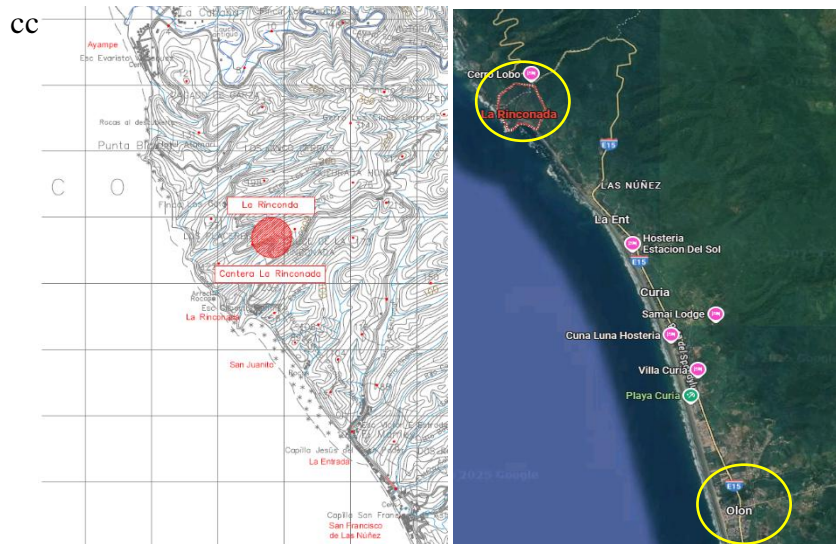
Las coordenadas UTM de la cantera son las siguientes:

Tabla 10 Coordenadas de la Villingota

Punto	Coordenada X	Coordenada Y
1	534764	9747933

Nota: Figura extraída de Google Maps.

Ilustración 18 Ubicación de cantera La Rinconada



Tomado de Google Maps

La cantera La Rinconada se encuentra en la parroquia Manglaralto en el cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena. Ubicada a 15 km de la abscisa 0+000

del inicio de la vía. Las coordenadas UTM que delimitan la concesión son las siguientes:

Tabla 11 Coordenadas de la Cantera La Rinconada

Punto	Coordenada X	Coordenada Y
1	522815	9811696

Nota: *Figura extraída de Google Maps.*

3.7. METODOLOGÍA DE O.E.1.: Caracterización de materiales extraídos de las canteras mediante ensayos de laboratorio

En atención al primer objetivo específico: “Caracterizar materiales extraídos de 3 canteras ubicadas en la provincia de Santa Elena mediante ensayos de laboratorio para uso en vías”, se diseñó una metodología de análisis técnico que permita evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales granulares provenientes de las 3 canteras.

Para ello, se han programado una serie de ensayos de laboratorio bajo normativas estandarizadas, con el fin de verificar la idoneidad de los materiales para su empleo en estructuras de pavimento. A continuación, se describen los procedimientos a seguir para cada ensayo:

3.7.1. Contenido de humedad

Norma técnica aplicada: ASTM D2216 – Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

Objetivo del ensayo:

Determinar el contenido de humedad natural presente en las muestras de suelo granular extraídas de las canteras Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja, con el fin de conocer su condición higrométrica inicial. Este parámetro es esencial para la correcta caracterización del material, ya que afecta directamente su comportamiento mecánico, capacidad de compactación y resistencia en el diseño de estructuras viales.

Tabla 12 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de humedad

Material / Equipo	Descripción técnica
Horno de secado	Capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
Balanza digital	Con precisión mínima de 0,01 g.
Recipientes metálicos (taras)	Contenedores resistentes al calor, identificados individualmente.
Espátula de acero inoxidable	Para manipular la muestra sin alterarla.
Muestras de suelo	Extraídas directamente de las canteras a una profundidad de 1 m y 2 m.
Guantes de látex y elementos de protección	Para manipular los materiales y garantizar seguridad e higiene.

Procedimiento detallado:

Preparación inicial:

- Se selecciona una muestra representativa del suelo granular extraído de cada cantera.
- La muestra no debe estar contaminada ni alterada, y se mantendrá en un recipiente hermético hasta el momento del ensayo.

Pesado inicial:

- Se pesa el recipiente metálico vacío (tara) y se registra su peso como W_1 .
- Se introduce una porción de la muestra húmeda en el recipiente y se pesa nuevamente. Este nuevo valor se registra como W_2 .

Secado en horno:

- El recipiente con la muestra húmeda se coloca en un horno de secado con temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- La muestra permanece en el horno por un periodo de 24 horas o hasta alcanzar masa constante (cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas, con intervalo de al menos 2 h, sea menor a 0,1 %).

Pesado final:

- Luego del secado, se retira cuidadosamente el recipiente del horno y se deja enfriar en un desecador.
- Se pesa nuevamente el recipiente con el suelo seco, registrándose el valor como W_3 .

Cálculo del contenido de humedad:

- Se emplea la siguiente fórmula:

Ecuación 18 Cálculo del contenido de humedad

$$\omega(\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} * 100$$

Donde:

w = contenido de humedad (%)

W_1 = peso del recipiente vacío

W_2 = peso del recipiente + muestra húmeda

W_3 = peso del recipiente + muestra seca

Registro y análisis:

- El valor obtenido representa el porcentaje de humedad natural del suelo en el momento de su extracción.
- Los resultados se tabulan por cantera y profundidad, y se utilizan como referencia para los ensayos de compactación y resistencia mecánica posteriores.

3.7.2. Límites de Atterberg

Normas técnicas aplicadas:

ASTM D4318 – Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

ASTM D427 – Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method.

Objetivo del ensayo:

Determinar los límites líquido y plástico, así como el índice de plasticidad de los suelos finos presentes en las muestras extraídas, para caracterizar su comportamiento mecánico y su cohesión en función del contenido de humedad. Estos parámetros son esenciales para el diseño y evaluación del desempeño de materiales granulares en capas estructurales de vías.

Tabla 13 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de Límites de Atterberg

Material / Equipo	Descripción técnica
Dispositivo de copa de Casagrande	Para la determinación del límite líquido.
Espátula de acero	Para moldear y cortar la muestra.
Tamiz N° 40 (0,425 mm)	Para obtener la fracción fina del suelo.
Vidrio de reloj o superficie lisa	Para moldear cilindros de suelo en el límite plástico.
Balanza digital	Precisión de 0,01 g.
Recipientes metálicos	Para pesar las muestras húmedas y secas.
Horno de secado	Capaz de mantener 110 ± 5 °C.
Caja de contracción y mercurio (ASTM D427)	Para determinar el límite de encogimiento.
Muestras de suelo	Procedentes de Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja.

Metodología general del ensayo:

El procedimiento se divide en tres etapas principales correspondientes a los tres límites definidos por Atterberg. A continuación, se describe cada una:

A. Determinación del límite líquido (LL):

- Tamizar una porción de suelo que pase completamente por el tamiz N° 40.
- Colocar la muestra en la copa de Casagrande y nivelarla.
- Con la espátula, hacer una ranura en el centro de la masa.
- Girar la manivela de la copa a una frecuencia de dos golpes por segundo.
- Contar el número de golpes necesarios para que la ranura se cierre en una longitud de 13 mm.
- Registrar el número de golpes y tomar una muestra para determinar su contenido de humedad.
- Repetir el procedimiento para diferentes humedades hasta obtener al menos cuatro puntos.
- Graficar el número de golpes (escala logarítmica) vs. contenido de humedad y determinar el contenido de humedad correspondiente a 25 golpes (este valor es el LL).

B. Determinación del límite plástico (LP):

- Tomar una porción de la muestra ya tamizada y agregarle agua hasta formar una masa plástica.
- Con las palmas de las manos, moldear la muestra en forma de hilo cilíndrico de aproximadamente 3 mm de diámetro sobre una superficie lisa.

- Continuar el amasado hasta que el hilo comience a desmoronarse al alcanzar los 3 mm de grosor.
- Tomar una muestra del hilo para determinar el contenido de humedad correspondiente.
- Repetir el procedimiento al menos tres veces y calcular el promedio para obtener el LP.

C. Cálculo del índice de plasticidad (IP):

Ecuación 19 Cálculo del índice de plasticidad

$$IP = LL - LP$$

- Este valor indica la plasticidad del suelo; valores bajos corresponden a suelos no plásticos, y valores altos a suelos altamente plásticos.

D. Determinación del límite de contracción (LC):

- Llenar una cápsula de contracción con la muestra tamizada y moldeada.
- Secar la muestra al aire durante 24 horas.
- Luego colocarla en el horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante.
- Medir la reducción de volumen y calcular el límite de encogimiento con base en el volumen y peso de la muestra seca.

Aplicación práctica:

Estos ensayos se realizarán con muestras recolectadas de las canteras Olon - San Vicente, San Rafael y El Tablazo, permitiendo identificar diferencias en el comportamiento plástico de los suelos según su origen geológico. Estos datos permitirán establecer su aptitud para capas de subrasante o subbase en estructuras viales.

3.7.3. Análisis granulométrico

Normas técnicas aplicadas:

ASTM D421-85 – Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.

ASTM D422-63 – Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

Objetivo del ensayo:

Determinar la distribución de tamaños de partículas presentes en el suelo, con el fin de clasificar los materiales en función de su granulometría. Esta información es fundamental para evaluar la idoneidad del suelo como material estructural en capas de subrasante, subbase o base de vías, ya que influye directamente en la resistencia, drenaje y compactación.

Tabla 14 Materiales y equipos necesarios para el análisis granulométrico

Material / Equipo	Descripción técnica
Juego de tamices	Desde el Tamiz N° 4 (4,75 mm) hasta el Tamiz N° 200 (0,075 mm), con base y tapa.
Agitador mecánico	Para facilitar la vibración durante el tamizado.
Balanza digital	Precisión de 0,01 g.
Hidrómetro de Bouyoucos	Graduado en gramos por litro para la lectura de la sedimentación.
Cilindro de sedimentación de 1000 ml	Para realizar el ensayo con el hidrómetro.

Termómetro	Para registrar la temperatura de la suspensión.
Dispersante químico (hexametáfosfato de sodio)	Para facilitar la desagregación de partículas finas.
Horno de secado	A 110 ± 5 °C.
Muestras de suelo secas	Procedentes de.

Metodología del ensayo:

El análisis se realiza en dos fases, según el tamaño de las partículas:

A. Método de tamizado (fracción gruesa):

Preparación de la muestra:

- Secar la muestra al horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante.
- Dividir mediante cuarteo una fracción representativa de la muestra (mínimo 500 g).

Montaje de tamices:

- Ordenar los tamices del más grueso al más fino (ej.: N° 4, N° 10, N° 40, N° 100, N° 200).
- Colocar la muestra en el tamiz superior.

Tamizado:

- Agitar mecánicamente durante un período estándar de 10 minutos.
- Pesar el material retenido en cada tamiz y calcular su porcentaje respecto al peso total.

Registro:

- Elaborar una tabla con los datos y representar la curva granulométrica.

B. Método de sedimentación por hidrómetro (fracción fina):

Preparación de la suspensión:

- Tomar 50 g de la muestra que pasa el tamiz N° 200.
- Mezclarla con agua destilada y 5 ml de dispersante químico.
- Dejar reposar durante 12 horas y agitar con batidora.

Sedimentación:

- Verter la suspensión en el cilindro de sedimentación hasta completar 1000 ml.
- Insertar el hidrómetro y realizar lecturas a 30 s, 1 min, 2 min, 5 min, 15 min, 30 min, 60 min y 24 horas.
- Registrar la temperatura del agua para aplicar correcciones por viscosidad y densidad.

Cálculo:

- Determinar el diámetro equivalente de las partículas y su porcentaje acumulado.
- Combinar los resultados del tamizado y la sedimentación en una única curva granulométrica.

Aplicación práctica:

Este análisis será realizado para las muestras extraídas de las canteras Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja. La comparación de los resultados permitirá establecer qué cantera presenta una distribución granulométrica más apropiada para su utilización en capas estructurales de vías, conforme a especificaciones técnicas de proyectos de ingeniería vial.

Compactación Proctor Modificado

Norma técnica aplicada:

ASTM D1557-12e1 – Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ or 2,700 kN-m/m³).

Objetivo del ensayo:

Determinar la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo de los suelos sometidos a un esfuerzo de compactación elevado. Esta información es clave para establecer las condiciones ideales bajo las cuales el suelo presenta su mayor estabilidad estructural, lo cual es esencial en la construcción de capas de pavimento, terraplenes y subrasantes.

Tabla 15 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de compactación Proctor modificado

Material / Equipo	Descripción técnica
Molde cilíndrico de compactación	Volumen estándar de 944 cm ³ , con collar de extensión.
Pisón mecánico o manual	Masa de 4.54 kg (10 lb) con caída libre de 45.7 cm.
Balanza digital	Capacidad mínima de 5 kg, precisión de 1 g.
Horno de secado	A 110 ± 5 °C, para determinar humedad.
Regla metálica y compactador	Para nivelar y compactar la superficie del suelo.
Recipientes metálicos	Para almacenar y mezclar las diferentes fracciones de suelo.
Muestras de suelo secas	Provenientes de Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja, previamente tamizadas.

Metodología del ensayo:

Preparación de la muestra:

- Secar al horno una cantidad adecuada de suelo y tamizarla por el tamiz N° 4.
- Dividir la muestra en cinco porciones, cada una con diferente porcentaje de agua añadida (iniciando con 6% y aumentando en intervalos de 2% hasta 14%).

Compactación:

- Introducir la muestra húmeda en el molde cilíndrico en cinco capas de igual volumen.
- Compactar cada capa con 25 golpes uniformes del pisón de 4.54 kg desde una altura de 45.7 cm.
- Nivelar la superficie al ras del molde después de la última capa.

Determinación de masas:

- Pesar el molde con la muestra compactada.
- Extraer una pequeña muestra para determinar el contenido de humedad por el método de secado en horno (ASTM D2216).

Cálculo:

- Calcular la densidad húmeda y, a partir del contenido de humedad, obtener la densidad seca para cada punto de humedad evaluado.

Trazado de la curva:

- Representar en una gráfica los puntos obtenidos de densidad seca vs. contenido de humedad.
- Identificar el punto más alto de la curva, correspondiente a la densidad seca máxima y a la humedad óptima de compactación.

Aplicación del ensayo:

Este procedimiento será aplicado a las muestras recolectadas de las canteras Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja, con el propósito de establecer comparativamente la compactabilidad de los suelos y definir qué cantera ofrece un material con mejores condiciones mecánicas para su utilización en obras de infraestructura vial, específicamente en capas de subrasante o subbase, donde la resistencia y estabilidad son críticas.

3.7.4. Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio)

Norma técnica aplicada:

ASTM D1883-16 – Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.

Objetivo del ensayo:

Determinar el índice de soporte California (CBR) de los suelos provenientes de las tres canteras, con el fin de evaluar su capacidad de soporte ante cargas verticales, especialmente en el diseño de pavimentos. Este ensayo permite establecer si el suelo es adecuado para ser utilizado como subrasante, subbase o base, en función de su resistencia a la penetración.

Tabla 16 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de CBR

Material / Equipo	Descripción técnica
Molde cilíndrico para CBR	Diámetro: 152 mm; Altura: 178 mm; con collar de extensión y placa base perforada.
Pisón de compactación	Masa: 4.54 kg; Altura de caída: 457 mm; utilizado para compactar la muestra.
Máquina de carga con célula de penetración	Capacidad de aplicación de carga a velocidad constante (1.27 mm/min).

Pistón de penetración	Diámetro: 50 mm; área de sección estándar para medir la carga de penetración.
Medidores de desplazamiento (comparadores)	Para registrar las penetraciones a 0.625 mm, 1.25 mm, 1.875 mm, 2.5 mm, 5 mm y 7.5 mm.
Soporte de inmersión	Para mantener las muestras sumergidas durante 96 horas.
Agua destilada y bandejas	Para saturación controlada de la muestra.
Muestras de suelo compactado	Extraídas de Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja.

Metodología del ensayo:

Preparación de la muestra:

- Compactar el suelo en el molde CBR en cinco capas, cada una con 56 golpes del pisón para lograr un esfuerzo equivalente al Proctor Modificado.
- Nivelar la superficie y colocar el peso de sobrecarga simulado (equivalente al peso del pavimento) si se requiere simular condiciones de carga reales.

Saturación:

- Inundar la muestra con agua y mantenerla sumergida durante 96 horas, con el fin de reproducir las condiciones más críticas posibles en campo.
- Medir el hinchamiento vertical si aplica, para completar el perfil del comportamiento del suelo saturado.

Penetración:

- Ubicar la muestra en la máquina de carga y aplicar carga al pistón a una velocidad constante de 1.27 mm/min.

- Registrar las lecturas de carga (kg o N) correspondientes a penetraciones de 0.625 mm, 1.25 mm, 1.875 mm, 2.5 mm, 5.0 mm y 7.5 mm.

Cálculo del CBR:

- Determinar el CBR dividiendo la carga medida (en kg o N) entre la carga estándar (en kg o N) correspondiente a las mismas penetraciones.
- El valor del CBR final será el mayor entre los valores calculados para 2.5 mm y 5.0 mm de penetración.

Aplicación del ensayo:

Este ensayo será aplicado a los materiales extraídos de las canteras Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja, a fin de comparar su capacidad de soporte y determinar la idoneidad de cada material para ser utilizado como subrasante o subbase en vías. La interpretación de los resultados del CBR permitirá tomar decisiones técnicas fundamentadas en cuanto a la selección y tratamiento del material natural disponible en la provincia de Santa Elena.

3.7.5. Abrasión de Los Ángeles

Norma técnica aplicada:

ASTM C131/C131M-20 – Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.

Objetivo del ensayo:

Determinar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos provenientes de las canteras Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja mediante abrasión e impacto, a fin de evaluar su comportamiento ante esfuerzos mecánicos repetitivos que simulan el tránsito vehicular y condiciones de servicio en obras viales.

Tabla 17 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de abrasión de los ángeles

Material / Equipo	Descripción técnica
Máquina de Los Ángeles	Tambor cilíndrico de acero con dimensiones estándar, rotación a 30-33 rpm.
Esferas de acero (cargas abrasivas)	6 a 12 bolas de acero, peso total: 4.54 ± 0.02 kg.
Muestra de agregado grueso	Fracción comprendida entre tamices N°12 (1.70 mm) y 1 ½" (37.5 mm), seca al horno.
Tamiz No. 12 (1.70 mm)	Para separar el material desgastado tras la rotación.
Balanza de precisión	Para pesar muestras con una exactitud de 0.1 g.
Horno de secado	Para secar las muestras a 110 ± 5 °C antes del ensayo.

Metodología del ensayo:

Preparación de la muestra:

- Seleccionar un peso de muestra específico de agregado grueso, de acuerdo con la tabla de gradaciones de la norma ASTM C131.
- Secar la muestra en horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante y dejar enfriar a temperatura ambiente.

Carga de la máquina:

- Colocar la muestra seca dentro del tambor de la máquina de Los Ángeles, junto con las esferas de acero normalizadas.

- Cerrar el tambor y hacerlo girar a una velocidad constante de 30 a 33 rpm durante 500 revoluciones (en casos especiales puede aplicarse 1000 rev., según la clase del agregado).

Separación del material desgastado:

- Al completar las revoluciones, vaciar el contenido del tambor cuidadosamente.
- Tamizar el material obtenido a través del tamiz N°12 (1.70 mm).

Cálculo de la pérdida por abrasión:

- Pesar el material que ha pasado por el tamiz y calcular la pérdida porcentual respecto al peso original de la muestra.
- La fórmula general es:

Ecuación 20 Cálculo de la pérdida por abrasión

$$\text{Pérdida por abrasión (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100$$

Donde:

W1: Peso inicial de la muestra seca (g)

W2: Peso del material retenido en el tamiz N°12 después del ensayo (g)

Aplicación del ensayo:

Este ensayo se aplicará a los agregados gruesos recolectados de las tres canteras objeto de estudio: Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja, con el fin de comparar su resistencia al desgaste y así establecer su aptitud para ser usados como capas estructurales en vías, especialmente bajo condiciones de tráfico moderado a intenso.

El análisis de la pérdida por abrasión permitirá identificar si los materiales cumplen con los rangos de aceptabilidad establecidos por las normas técnicas para ser empleados como agregados en obras viales.

3.7.6. Permeabilidad

Norma técnica aplicada:

ASTM D2434-68 (2018) – Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)

ASTM D5084 – Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter (para suelos de baja permeabilidad)

Objetivo del ensayo:

Determinar la conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad (k) de los suelos extraídos de las canteras Villingota, La Rinconada y San Vicente de Loja, a fin de evaluar su capacidad para permitir el paso del agua a través de sus poros. Este parámetro es crucial en el diseño de pavimentos, sistemas de drenaje y estabilidad de taludes.

Tabla 18 Materiales y equipos necesarios para el ensayo de permeabilidad

Material / Equipo	Descripción técnica
Permeámetro de carga constante	Cilindro transparente con sistema de entrada y salida de agua regulado.
Muestra de suelo	Suelo previamente tamizado y compactado en un cilindro, saturado antes del ensayo.
Cronómetro	Para medir el tiempo de paso del agua.
Probeta o recipiente graduado	Para recolectar y medir el volumen de agua filtrada.

Termómetro	Para registrar la temperatura del agua (afecta la viscosidad y el resultado final).
Horno de secado	Para determinar la humedad inicial y final del suelo.

Metodología del ensayo:

Preparación de la muestra:

- Seleccionar una muestra representativa del suelo granular obtenido de cada cantera.
- Humedecerla hasta lograr saturación, cuidando que no se formen canales de flujo preferente.

Montaje del permeámetro:

- Introducir la muestra en el cilindro del permeámetro asegurando una compactación homogénea.
- Saturar la muestra con agua destilada, eliminando cualquier burbuja de aire.

Aplicación del flujo constante:

- Establecer una carga hidráulica constante (h) sobre la muestra.
- Permitir el flujo continuo de agua a través de la muestra, manteniendo el nivel de entrada constante.

Medición de datos:

- Recolectar el volumen de agua (V) que pasa por la muestra en un tiempo específico (t).
- Medir la longitud de la muestra (L) y la sección transversal (A) del cilindro.

Cálculo del coeficiente de permeabilidad:

- Utilizar la siguiente fórmula para suelos granulares:
-

Ecuación 21 Cálculo del coeficiente de permeabilidad

$$K = \frac{QL}{Aht}$$

Donde:

k= coeficiente de permeabilidad (cm/s)

Q = volumen de agua que pasa (cm^3)

L = longitud de la muestra (cm)

A = área transversal de la muestra (cm^2)

h = carga hidráulica constante (cm)

t = tiempo de paso del volumen Q (s)

Aplicación del ensayo:

El ensayo de permeabilidad se aplicará a las muestras recolectadas de las tres canteras estudiadas con el objetivo de identificar su comportamiento hidráulico, aspecto relevante para el diseño de sistemas viales donde el drenaje y la capacidad de disipar agua del subsuelo influyen directamente en la durabilidad y estabilidad de la estructura del pavimento.

3.8. METODOLOGÍA DE O.E.2.: Determinar las condiciones hidrológicas de sitio ubicado en la vía de ingreso a OLÓN – SAN VICENTE.

3.8.1. Levantamiento de información climática e hidrológica histórica

Precipitaciones medias mensuales

El levantamiento de información sobre las precipitaciones medias mensuales representa un insumo clave dentro de la caracterización hidrológica del tramo de ingreso a Olon - San Vicente, permitiendo identificar la distribución estacional de lluvias y su posible influencia en el comportamiento de escorrentía superficial sobre materiales granulares. Para esta etapa, se recurrió a los registros proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), dentro del marco del proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25.000”.

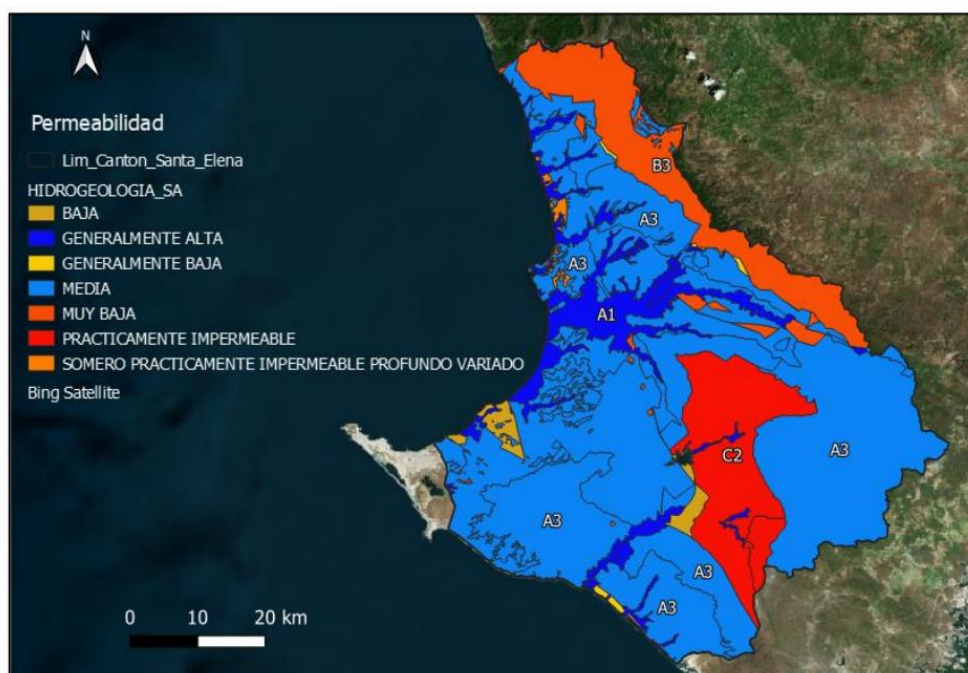
Se utilizó la información correspondiente a la estación meteorológica Salinas/ General Ulpiano Páez, localizada dentro o cercana a la región de interés, cuya proximidad geográfica garantiza una alta representatividad respecto a las condiciones del sitio en estudio. A partir de estos datos se estructuró una base mensual de precipitaciones históricas, lo que permitirá alimentar modelos hidrológicos simples, identificar la variabilidad pluviométrica y apoyar el análisis metodológico de caudales generados sobre el terreno compuesto por materiales granulares.

Precipitaciones diarias máximas

El análisis de las precipitaciones máximas diarias se lo realizó de la misma manera que la histórica mensual acumulada, ya que en colaboración del NOAA y otras instituciones extranjeras, se ha podido encontrar datos de los últimos años tanto en manera mensual como en las precipitaciones diarias,

Permeabilidad del suelo

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Santa Elena (Empresa Pública UPSE, 2020) identifica que, en el sector comprendido entre San Marcos y la vía a Olón - San Vicente, el suelo presenta una permeabilidad semipermeable. Esta condición indica una capacidad media de infiltración, situación que debe ser considerada en el diseño del paquete estructural del pavimento, en especial si se opta por materiales granulares cuya capacidad de drenaje se ve influenciada por la acumulación superficial de escorrentía.



Nota. Tomado de Empresa Pública UPSE (2020)

3.8.2. Determinación del coeficiente de permeabilidad (k) del terreno

La determinación del coeficiente de permeabilidad (k) del terreno resulta esencial para caracterizar el comportamiento hidráulico de los materiales granulares presentes en el tramo de estudio. Este parámetro permite establecer la capacidad del suelo para permitir el paso del agua a través de sus poros, aspecto directamente vinculado a la eficiencia del drenaje en estructuras de pavimento flexible.

Para su determinación, se aplicará el ensayo de permeabilidad en laboratorio, utilizando muestras representativas extraídas de las tres canteras bajo análisis, considerando condiciones de compactación estándar. Dependiendo del tamaño de partícula y grado de saturación, se seleccionará el método adecuado entre:

Ensayo de carga constante, ideal para suelos de alta permeabilidad (gravas limpias y arenas gruesas).

Ensayo de carga variable, recomendado para materiales más finos o de permeabilidad intermedia.

El procedimiento experimental estará basado en los lineamientos establecidos por la norma ASTM D2434 para carga constante y ASTM D5856 para carga variable. Se registrará el volumen de agua que fluye a través del espécimen en función del tiempo, permitiendo calcular el valor de k mediante las fórmulas hidráulicas correspondientes.

Los resultados permitirán estimar la velocidad de infiltración del agua en los estratos granulares, información relevante para valorar la susceptibilidad del terreno a procesos de saturación prolongada o acumulación de humedad en zonas con deficiente escurrimiento superficial.

3.8.3. Determinación del coeficiente de drenaje

La determinación del coeficiente de drenaje de una capa granular es esencial para evaluar la eficiencia hidráulica del material utilizado en el diseño del pavimento. Este coeficiente (m) refleja la capacidad del material para evacuar el agua que se infiltra en la estructura del pavimento, reduciendo el tiempo de exposición a condiciones cercanas a la saturación. A continuación, se describe el procedimiento metodológico para su determinación:

a) Recolección de datos en campo

Selección del sitio de muestreo:

Se identificarán puntos estratégicos a lo largo de la vía de ingreso a Olón - San Vicente, donde se han dispuesto capas granulares provenientes de las

tres canteras en estudio. La selección se basará en tramos representativos con condiciones geométricas y de exposición meteorológica similares.

Registro de condiciones climáticas:

Se recopilará información de estaciones meteorológicas locales, preferiblemente del INAMHI, para identificar:

- El número de días con lluvia efectiva en el año (R).
- En caso de regiones con estacionalidad marcada, el número de días de deshielo primaveral (S, si aplica; en Ecuador usualmente se omite por ausencia de nieve).

Extracción y caracterización de muestras:

Se tomará una muestra representativa de la capa granular instalada para analizar sus propiedades físicas, como:

- Peso unitario seco (γ_d), mediante el ensayo Proctor.
- Gravedad específica del suelo (Gs), mediante picnómetro o ensayo estándar ASTM D854.
- Porcentaje de finos, mediante análisis granulométrico.

b) Análisis de laboratorio

Cálculo de la porosidad efectiva (N_e)

A partir de los ensayos físicos, se calcula:

Ecuación 22 Porosidad (n):

$$n = 1 - \frac{Y_d}{Y_w * G_s}$$

Ecuación 23 Porosidad efectiva (N_e):

$$N_e = 0.8 n$$

Se emplea la siguiente ecuación considerando el tipo de material y porcentaje de finos observado en campo:

Cálculo del tiempo de drenaje (t_{50})

Utilizando la fórmula de Casagrande/Shannon para drenar el 50 % del agua:

$$t_{50} = \frac{Ne * Lr^2}{2 * K * (Sh * Lr + H)}$$

- K (coeficiente de permeabilidad) es previamente determinado mediante ensayos de laboratorio (ver apartado 3.6.5).
- SH y S se obtienen de levantamiento topográfico o diseños geométricos de la vía.
- LR (longitud de trayectoria de flujo) y H (espesor de la capa granular) se miden en campo.

c) Cálculo del porcentaje de exposición a saturación

Con los datos climáticos recolectados, se aplica la siguiente fórmula:

$$P\% = \frac{S + R}{365} * 100$$

En el contexto ecuatoriano, se asume S = 0, por lo tanto:

$$P\% = \frac{R}{365} * 100$$

Este valor indica el porcentaje anual en el que el pavimento permanece expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.

d) Determinación del coeficiente de drenaje (m)

Finalmente, con el valor del porcentaje de exposición obtenido (P%), se consulta la Tabla 8 (Aashto, 1993) para determinar el rango del coeficiente de drenaje. Este valor será ajustado con base en:

- El tiempo de drenaje calculado (t_{50}).
- La calidad de drenaje clasificada (excelente, bueno, regular, pobre o muy pobre).
- Las condiciones del sitio (frecuencia de lluvias, pendiente transversal y longitud de capa granular).

e) Equipos y materiales utilizados

- Cilindros permeámetros (para obtener k).
- Picnómetro (para Gs).
- Balanza de precisión.
- Horno de secado.
- Moldes y martillo Proctor.
- Estación total y nivel óptico (para pendientes S y SH).
- Software de hoja de cálculo para simulación de t_{50} y cálculo de m.

3.8.4. Interpretación de resultados hidrológicos para el diseño de pavimentos

La interpretación metodológica de los parámetros hidrológicos obtenidos (precipitaciones, pendiente, porosidad, permeabilidad y coeficiente de escurrimiento) permitirá establecer escenarios de drenaje que serán considerados en el diseño estructural del pavimento en el tramo de acceso a Olón - San Vicente.

Este proceso consistirá en integrar los valores de entrada en modelos conceptuales para llegar a obtener el coeficiente de drenaje tan necesario para el diseño pavimento. Adicionalmente, se considerarán criterios técnicos para definir el tipo y disposición del sistema de drenaje superficial y subdrenaje, en función de la cantidad de agua generada y el comportamiento del subsuelo.

Dicho análisis permitirá correlacionar la capacidad de infiltración del terreno con la necesidad de implementar soluciones de drenaje complementarias que preserven la integridad estructural del pavimento. La evaluación metodológica se enfocará en establecer lineamientos técnicos que optimicen la eficiencia del sistema vial frente a eventos hidrológicos críticos, considerando las condiciones propias de los materiales granulares obtenidos de las canteras seleccionadas.

3.9. METODOLOGÍA DE OE3: Analizar los coeficientes de drenaje utilizados en el diseño de pavimento de la vía de ingreso a Olón - San Vicente y compararlos con los obtenidos en el presente estudio, con el fin de determinar la calidad de los materiales granulares para su uso en vías.

3.9.1. Revisión documental del diseño original de la vía

El primer paso metodológico consiste en recopilar y analizar la documentación técnica del diseño original de la vía de ingreso a Olón - San Vicente. Para ello, se realizaron las siguientes acciones:

Gestión documental ante el GAD competente: Se solicitó al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Santa Elena el acceso a los documentos oficiales del diseño estructural del pavimento. Esta documentación incluyó:

- Planos estructurales del pavimento.
- Memorias de cálculo.
- Especificaciones técnicas del proyecto.
- Estudios geotécnicos e hidrológicos previos.

Identificación del método de diseño empleado: Se verificó que el diseño original del pavimento fue desarrollado bajo los lineamientos del método AASHTO 1993, el cual contempla la inclusión del coeficiente de drenaje (m) como un parámetro de ajuste estructural relacionado con el comportamiento hidráulico de las capas granulares.

Extracción de coeficientes de drenaje usados en el diseño: A partir de la memoria técnica estructural, se identificaron los coeficientes de drenaje

considerados en el dimensionamiento del pavimento. Para cada capa granular (sub-base y base), se registraron los valores de “m” del diseño original, así como la justificación técnica o normativa utilizada para seleccionarlos.

Contextualización de condiciones de drenaje: Se revisó si el diseño consideró factores climáticos como el número de días con lluvia al año o presencia de aguas freáticas. Este análisis permite determinar si la selección del coeficiente de drenaje fue adecuada en función del contexto ambiental del sitio.

Registro y sistematización de datos: Toda la información obtenida fue sistematizada en una tabla resumen que incluye:

- Capa estructural.
- Tipo de material granular utilizado.
- Coeficiente de drenaje (m) aplicado.
- Fuente normativa.
- Observaciones sobre la calidad del drenaje según clasificación AASHTO (1993).

3.9.2. Cálculo de coeficientes de drenaje en el presente estudio

Con base en los datos recopilados en campo y laboratorio, se procedió a calcular los coeficientes de drenaje (m) reales de las capas granulares utilizadas en la vía. Este cálculo se llevó a cabo mediante la siguiente metodología:

Determinación del porcentaje de tiempo en que la estructura permanece saturada (P%):

- Se obtuvo el número de días con lluvias anuales significativas en la zona de estudio a través de registros meteorológicos del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología).

- En caso de existir, se consideraron días adicionales por deshielo o saturación prolongada (valor de S), aunque en esta región se estimó $S = 0$.
- Se aplicó la fórmula:

$$P\% = \frac{S+R}{365} * 100$$

Donde:

S: Días de deshielo (en este caso, cero).

R: Días con lluvias registradas.

365: Días del año.

Clasificación del drenaje según AASHTO (1993):

- Con el valor de P (%), se ubicó el rango correspondiente en la TABLA 8 (Coeficientes de drenaje recomendados), la cual asigna valores para diferentes niveles de exposición a la humedad.
- Se tomó como base el tipo de material granular evaluado (grava o arena), el contenido de finos, y el tiempo estimado de saturación.

Asignación del coeficiente de drenaje (m):

- Para cada capa (sub-base y base), se asignó un valor de “m” de acuerdo con la calidad de drenaje determinada (Excelente, Bueno, Regular, etc.).
- Se priorizó el uso de valores conservadores dentro del rango sugerido por la tabla normativa.

Validación con resultados de permeabilidad y tiempo de drenaje:

- Se verificó que los coeficientes asignados correspondan con los valores obtenidos del ensayo de permeabilidad (coeficiente k) y del cálculo del tiempo para drenar el 50 % del agua presente.
- Esta validación permitió ajustar el valor de “m” con base en el comportamiento hidráulico real de los materiales.

Registro de resultados:

Se organizó la información en una tabla comparativa por tipo de capa, especificando:

- Tipo de material.
- Tiempo de exposición a la saturación (P%).

- Clasificación de drenaje.
- Coeficiente de drenaje asignado.
- Justificación técnica.

3.9.3. Comparación entre coeficientes de drenaje del diseño original y los calculados

Una vez obtenidos tanto los coeficientes de drenaje utilizados en el diseño estructural original como los determinados mediante el análisis actual, se procedió a una comparación técnica con el fin de evaluar la idoneidad del diseño inicial en función del comportamiento real de los materiales granulares.

Para ello, se aplicó el siguiente procedimiento:

a) Organización de los datos comparativos:

- Se elaboró una tabla en la que se relacionan, por cada cantera los valores de coeficiente de drenaje (m) del diseño original y los obtenidos en el presente estudio.
- Se incluyó otros métodos de obtención de dicho coeficiente para su comparación.

3.9.4. Evaluación de la calidad de los materiales granulares

Este apartado tuvo como finalidad establecer la calidad de los materiales granulares utilizados en la estructura del pavimento, con base en su comportamiento hidráulico y mecánico, y en relación con los estándares técnicos establecidos por la normativa vigente.

El procedimiento seguido fue el siguiente:

Criterios de evaluación utilizados: Se tomaron como referencia los parámetros de calidad definidos por el AASHTO (1993), el MTOP (2018) y el ASTM D2434, particularmente en lo relativo a:

- Contenido de finos.
- Uniformidad granulométrica.
- Plasticidad.

- Capacidad de drenaje (coeficiente m).

Clasificación de los materiales: Cada muestra de base y sub-base fue clasificada según su calidad de drenaje:

- Excelente: rápida evacuación de agua, alto valor de k, bajo contenido de finos.
- Buena: evacuación aceptable, valores medios de k.
- Regular: retención moderada de agua, valores bajos de k.
- Pobre: alto contenido de finos, drenaje deficiente, bajo valor de m.

Cruce con datos de campo y laboratorio: Los resultados del ensayo de permeabilidad, granulometría y tiempo de drenaje se contrastaron con la clasificación anterior para confirmar o ajustar la categoría de calidad.

Se integró también el valor del porcentaje de saturación y el tiempo que tarda en perder el 50 % del agua retenida.

Para cada muestra se emitió un juicio técnico respecto a su idoneidad como material granular en capas de pavimento, especialmente en zonas con alta pluviosidad.

Se recomendó, de ser el caso, el uso de materiales alternativos o mejoras mediante estabilización, filtros o subdrenajes.

Se presentó una tabla consolidada con:

- Muestra.
- Tipo de material.
- Resultados clave (k, F%, m).
- Clasificación de calidad.
- Recomendación técnica.

3.9.5. Análisis metodológico comparativo de los coeficientes de drenaje

Este apartado se enfocó en el desarrollo de una comparación técnica entre los coeficientes de drenaje utilizados en el diseño original de la vía de ingreso a Olon - San Vicente y aquellos obtenidos a partir del presente estudio de caracterización de materiales.

La metodología aplicada incluyó las siguientes etapas:

- Organización de datos: Se estructuraron en una matriz comparativa los valores de coeficientes de drenaje (m) aplicados en el diseño original, junto con las propiedades hidráulicas de los materiales correspondientes. Paralelamente, se incorporaron los valores obtenidos en laboratorio a partir de las pruebas de permeabilidad realizadas a las muestras representativas.
- Criterios normativos de referencia: Se establecieron rangos de referencia para el valor del coeficiente m , basados en la metodología de diseño estructural de pavimentos de AASHTO 1993 y en el Manual de Carreteras del MTOP (2018), con el fin de sustentar técnicamente la comparación.
- Aplicación de criterios de variación: Se aplicaron herramientas estadísticas básicas (como diferencias relativas, porcentajes de desviación y análisis cualitativo por rangos) para identificar discrepancias o coincidencias entre los valores de diseño y los determinados experimentalmente.
- Validación del enfoque comparativo: Se implementó un control metodológico consistente en revisar la uniformidad de las condiciones de evaluación (por ejemplo, tipo de capa analizada, profundidad de muestreo y condiciones de saturación) con el fin de garantizar la validez de la comparación.

3.9.6. Formulación metodológica de criterios para evaluación de materiales granulares según capacidad de drenaje

En este apartado se estableció un procedimiento metodológico para proponer criterios técnicos de selección y evaluación de materiales granulares en función de su capacidad de drenaje, adecuados para su aplicación en proyectos viales similares al de la vía de ingreso a Olón-San Vicente.

La formulación se estructuró del siguiente modo:

- Delimitación de parámetros hidráulicos relevantes: Se identificaron como parámetros clave para la evaluación la permeabilidad hidráulica (k), el porcentaje de finos, el índice plástico y la granulometría efectiva, por su influencia directa sobre la capacidad de evacuación de agua de las capas no tratadas.
- Establecimiento de rangos técnicos admisibles: Se emplearon normas técnicas (AASHTO, ASTM, MTOP) para definir valores de referencia admisibles que permitan clasificar los materiales según niveles de capacidad de drenaje (alta, media o baja).
- Desarrollo de una matriz de selección: Se diseñó una herramienta metodológica de tipo matriz de decisión que incorpora los criterios establecidos, permitiendo valorar de manera sistemática la idoneidad de un material granular para su empleo en capas de base o subbase bajo condiciones hidráulicas específicas.
- Instrucciones para futuras aplicaciones: Finalmente, se definieron los pasos metodológicos a seguir para replicar este proceso de evaluación en otros estudios, incluyendo requerimientos de muestreo, ensayos y análisis técnico.

3.10. Operacionalización de variables

Tabla 19 Operacionalización de Variables Independientes

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Independiente – Coeficientes de drenaje.	Son factores que modifican el aporte efectivo del agua al sistema de drenaje, en función de la calidad del material y condiciones del subsuelo.	Valores asignados en el diseño de pavimentos según la permeabilidad, espesor y condiciones de exposición del material.	Calidad del material	Permeabilidad (k) del material	mm/s
				Porcentaje de finos	%
			Condición de exposición	Tiempo de exposición a humedad	horas
				Frecuencia de saturación del material	veces/año

NOTA: Elaboración propia

Tabla 20 Operacionalización de Variables Dependientes

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Dependiente – Propiedades de materiales granulares extraídos de las canteras.	Son las características físicas, mecánicas e hidráulicas que determinan la calidad y aptitud del material para ser usado en capas estructurales de vías.	Se determinan mediante ensayos de laboratorio aplicados a muestras representativas recolectadas en cantera.	Propiedades físicas	Densidad seca máxima (Proctor Modificado)	g/cm ³
				Contenido de humedad óptimo	%
			Propiedades granulométricas	Distribución de tamaños (curva granulométrica)	mm
				Índice de plasticidad	Límite líquido y plástico (Atterberg)
Dependiente – Condiciones	Conjunto de factores relacionados con el	Se determinan mediante el análisis de datos históricos	Permeabilidad	Valor k (ensayo de carga constante o variable)	cm/s
				Régimen pluviométrico	Precipitación diaria máxima

hidrológicas del sitio de ubicación del proyecto.	comportamiento del agua superficial e infiltrada en el área del estudio.	de precipitación y características geográficas del terreno.	Intensidad de lluvia (evento de diseño)	mm/h
			Infiltración del suelo	Capacidad de infiltración (ensayo in situ o valores tabulados)

NOTA: Elaboración propia

CAPITULO IV: Análisis y discusión de resultados

4.1. Determinación del porcentaje de tiempo de saturación y calidad de drenaje en la provincia de santa elena

Para la determinación del porcentaje de tiempo al que estará expuesto la vía a saturación y posteriormente la calidad de drenaje para cada material ensayado en cantera, se tomó como base de datos los anuarios meteorológicos del INAMHI en colaboración con el NOAA (Nacional Oceánica and Atmospheric Administration), desde el año 2016 hasta el 2024 que se tienen registro de la estación Icao (OACI): SESA correspondiente a la existente en Salinas, Aeropuerto General Ulpiano Páez.

El análisis de las precipitaciones históricas constituye un elemento fundamental para la determinación del coeficiente de drenaje en el diseño de pavimentos, ya que establece la base para cuantificar la exposición de la estructura a condiciones de saturación. En el caso específico de la provincia de Santa Elena, se realizó un estudio exhaustivo de los registros pluviométricos de los últimos 8 años (2016-2024), obtenidos de las estaciones meteorológicas más cercanas y existentes del lugar del proyecto.

A continuación, se desglosa el procedimiento respectivo para el cálculo de los días efectivos de lluvia, donde se toma en cuenta lo siguiente:

- Los meses efectivos de lluvia son aquellos en donde se registraron precipitaciones mayores a 40 mm (>40 mm)
- Los días efectivos de lluvia son aquellos en donde se registraron precipitaciones mayores a 10 mm (>10 mm).

4.1.1 Determinación de las precipitaciones históricas anuales.

Tabla 21 Precipitaciones totales mensuales acumuladas (2016-2024)

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2016	15,23	45,97	27,43	6,86	0	0	0,51	1,01	0	0	0	2,03
2017	116,08	221,22	147,32	44,96	1,02	2,29	0,76	0,76	0	1,01	1,02	0
2018	1,02	139,2	3,04	0,25	21,08	0	0	0,25	0,51	3,3	0	0,51
2019	1,53	51,81	18,54	0,25	0	0	0	138,43	0,25	0	1,78	1,53
2020	3,04	22,36	7,71	4,57	0	0	1,01	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25
2021	9,15	1,02	199,64	4,83	10,16	0	0,25	0	0	0	59,68	0
2022	1,53	11,6	115,81	5,33	0	1,01	0,51	0,76	54,61	0	0	0
2023	1,02	172,22	141,72	204,73	13,97	0,25	5,33	0,5	0	0,25	0	5,85
2024	4,06	97,03	4,57	0	1,53	0,51	1,77	1,25	1,27	1,52	0	0
PROMEDIO	16,96	84,71	73,98	30,2	5,31	0,45	1,13	15,94	6,32	0,7	7	1,13

Fuente: Elaboración propia basada en información proporcionada por Registros históricos METAR en la estación meteorológica: Icao (OACI): SESA

Los datos revelan que la precipitación media anual en la región es de 628 mm, con una distribución altamente estacional. Aproximadamente el 85% de las precipitaciones se concentran en los meses de enero a abril, período durante el cual se registran eventos de alta intensidad. Este patrón estacional es particularmente relevante para el diseño de pavimentos, ya que determina los períodos críticos de exposición a la saturación.

4.1.2 Determinación de las precipitaciones diarias en la zona de análisis y en los meses de mayor intensidad pluvial registradas.

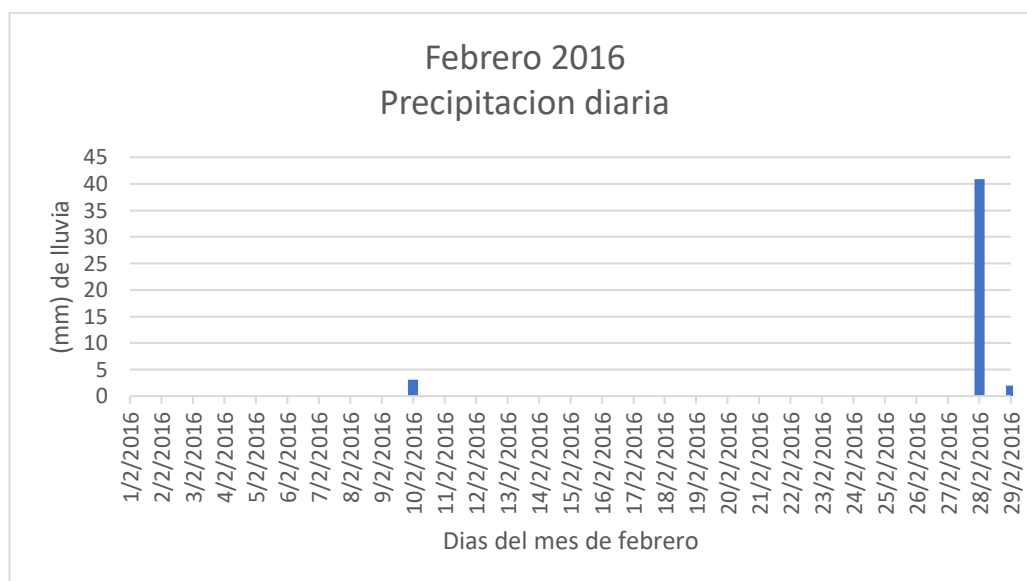
El análisis de las precipitaciones diarias es esencial para caracterizar los eventos pluviales que pueden generar saturación en las capas estructurales del pavimento. En la provincia de Santa Elena, se identificaron los eventos pluviales más intensos registrados en los últimos 8 años, con especial énfasis en el período enero-abril, cuando ocurren las lluvias más significativas.

Tabla 22 Precipitación diaria (mm) FEBRERO 2016

1/2/2016	2/2/2016	3/2/2016	4/2/2016	5/2/2016	6/2/2016	7/2/2016
0	0	0	0	0	0	0
8/2/2016	9/2/2016	10/2/2016	11/2/2016	12/2/2016	13/2/2016	14/2/2016
0	0	3,05	0	0	0	0
15/2/2016	16/2/2016	17/2/2016	18/2/2016	19/2/2016	20/2/2016	21/2/2016
0	0	0	0	0	0	0
22/2/2016	23/2/2016	24/2/2016	25/2/2016	26/2/2016	27/2/2016	28/2/2016
0	0	0	0	0	0	40,89
29/2/2016						
2.03						

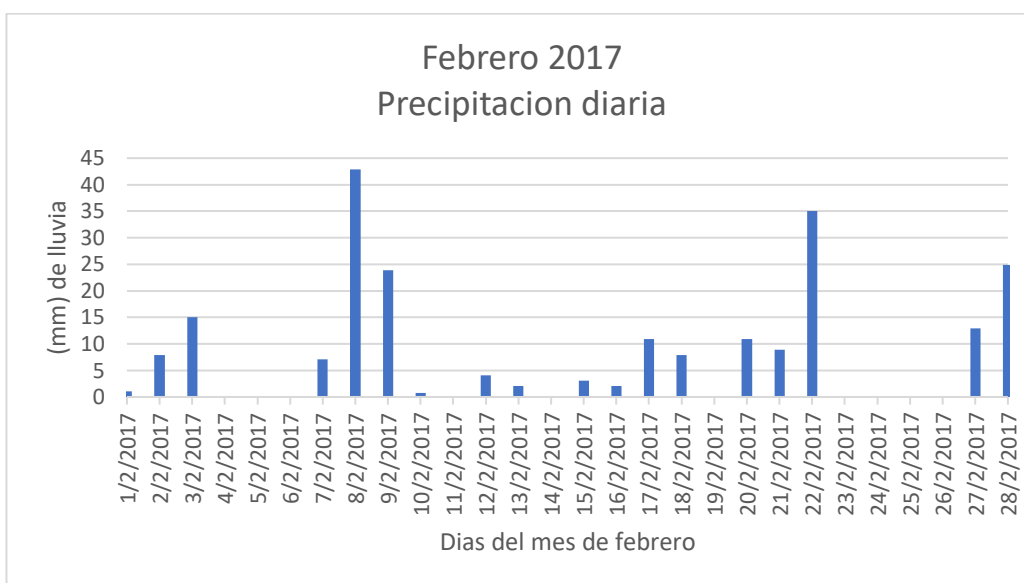
Fuente de elaboración propia en datos basados del INAMHI y el NOAA

Ilustración 20 Distribución de precipitaciones de febrero año 2016



Fuente de elaboración propia

Ilustración 21 Distribución de precipitaciones diarias de febrero de 2017



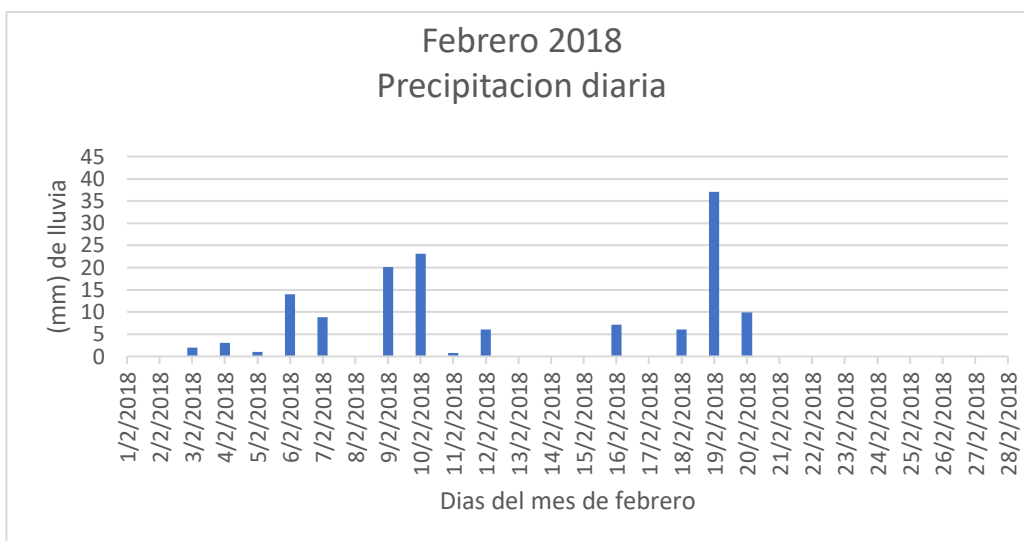
Fuente de elaboración propia

1/2/2017	2/2/2017	3/2/2017	4/2/2017	5/2/2017	6/2/2017	7/2/2017
1,02	7,87	14,99	0	0	0	7,11
8/2/2017	9/2/2017	10/2/2017	11/2/2017	12/2/2017	13/2/2017	14/2/2017
42,83	23,88	0,76	0	4,06	2,03	0
15/2/2017	16/2/2017	17/2/2017	18/2/2017	19/2/2017	20/2/2017	21/2/2017
3,05	2,03	10,92	7,87	0	10,92	8,89
22/2/2017	23/2/2017	24/2/2017	25/2/2017	26/2/2017	27/2/2017	28/2/2017
35,05	0	0	0	0	12,95	24,89

Tabla 23 Distribución de precipitaciones diarias de febrero de 2017

Fuente de elaboración propia

Ilustración 22 Precipitaciones diarias de febrero de 2018



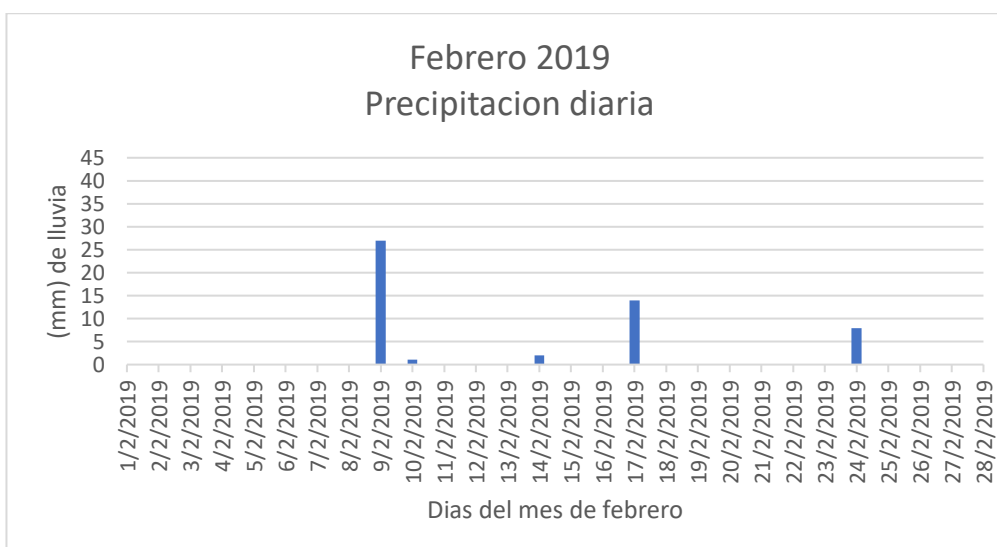
Fuente de elaboración propia

Tabla 24 Precipitaciones diarias de febrero de 2018

1/2/2018	2/2/2018	3/2/2018	4/2/2018	5/2/2018	6/2/2018	7/2/2018
0	0	2,03	3,05	1,02	13,97	8,89
8/2/2018	9/2/2018	10/2/2018	11/2/2018	12/2/2018	13/2/2018	14/2/2018
0	20,07	23,11	0,76	6,1	0	0
15/2/2018	16/2/2018	17/2/2018	18/2/2018	19/2/2018	20/2/2018	21/2/2018
0	7,11	0	6,1	37,08	9,91	0
22/2/2018	23/2/2018	24/2/2018	25/2/2018	26/2/2018	27/2/2018	28/2/2018
0	0	0	0	0	0	0

Fuente de elaboración propia

Ilustración 23 Precipitaciones diarias de febrero de 2019



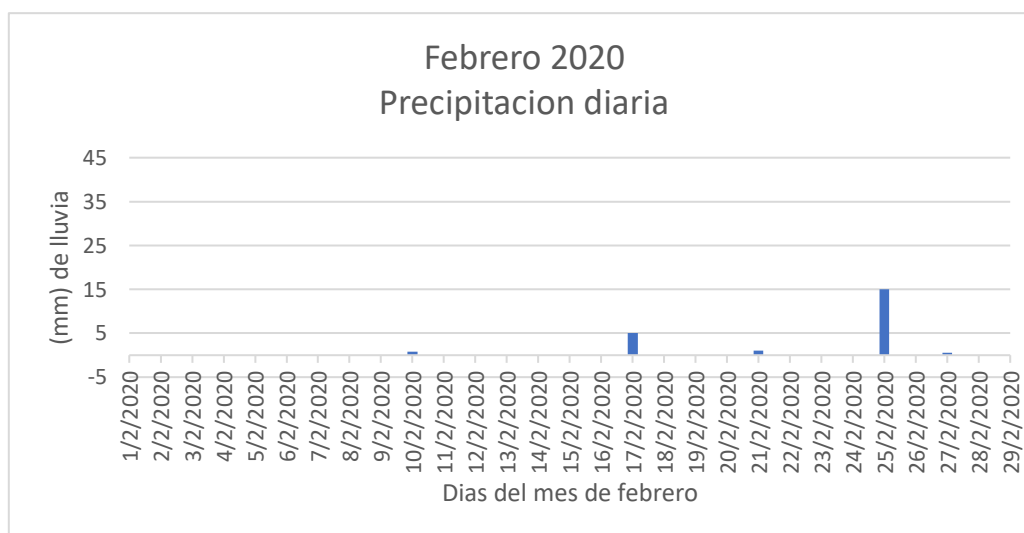
Fuente de elaboración propia

Tabla 25 Precipitaciones diarias de febrero de 2019

1/2/2019	2/2/2019	3/2/2019	4/2/2019	5/2/2019	6/2/2019	7/2/2019
0	0	0	0	0	0	0
8/2/2019	9/2/2019	10/2/2019	11/2/2019	12/2/2019	13/2/2019	14/2/2019
0	26,92	1,02	0	0	0	2,03
15/2/2019	16/2/2019	17/2/2019	18/2/2019	19/2/2019	20/2/2019	21/2/2019
0	0	13,97	0	0	0	0
22/2/2019	23/2/2019	24/2/2019	25/2/2019	26/2/2019	27/2/2019	28/2/2019
0	0	7,87	0	0	0	0

Fuente de elaboración propia

Ilustración 24 Precipitaciones diarias de febrero de 2020



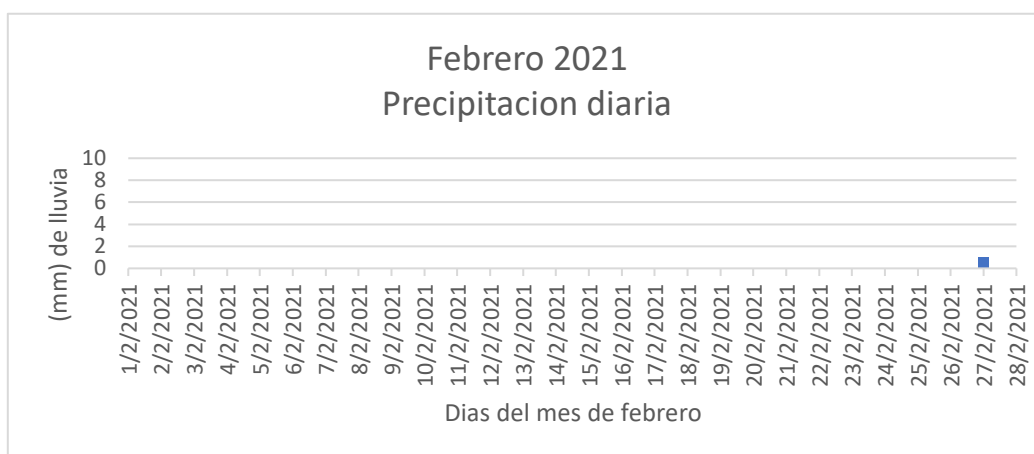
Fuente de elaboración propia

Tabla 26 Precipitaciones diarias de febrero de 2020

1/2/2020	2/2/2020	3/2/2020	4/2/2020	5/2/2020	6/2/2020	7/2/2020
0	0	0	0	0	0	0
8/2/2020	9/2/2020	10/2/2020	11/2/2020	12/2/2020	13/2/2020	14/2/2020
0	0	0,76	0	0	0	0
15/2/2020	16/2/2020	17/2/2020	18/2/2020	19/2/2020	20/2/2020	21/2/2020
0	0	5,08	0	0	0	1,02
22/2/2020	23/2/2020	24/2/2020	25/2/2020	26/2/2020	27/2/2020	28/2/2020
0	0	0	14,99	0	0,51	0
29/2/2020						0

Fuente de elaboración propia

Ilustración 25 Precipitaciones diarias de febrero de 2021



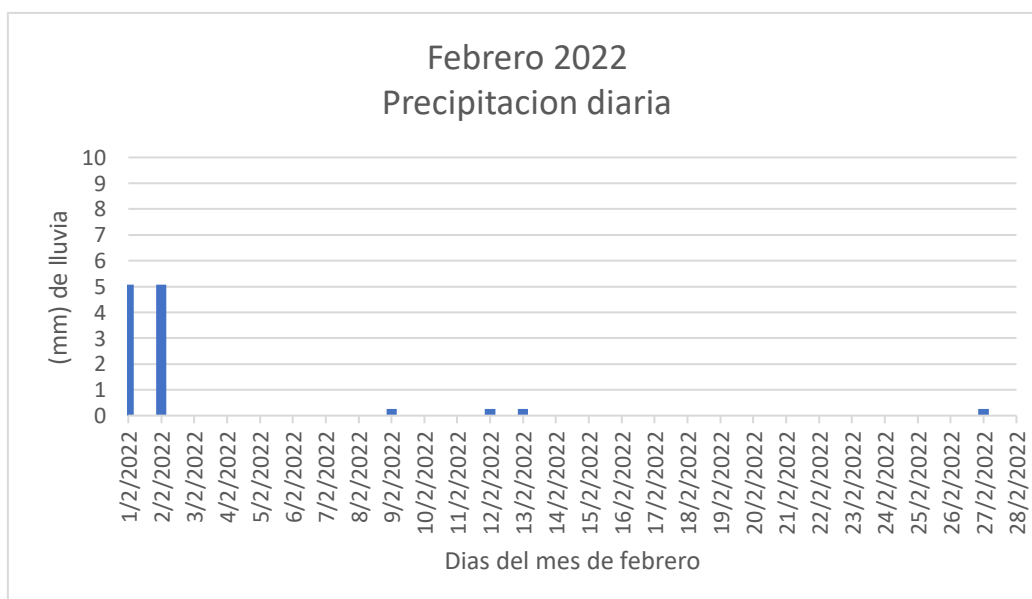
Fuente de elaboración propia

Tabla 27 Precipitaciones diarias de febrero de 2021

1/2/2021	2/2/2021	3/2/2021	4/2/2021	5/2/2021	6/2/2021	7/2/2021
0	0	0	0	0	0	0
8/2/2021	9/2/2021	10/2/2021	11/2/2021	12/2/2021	13/2/2021	14/2/2021
0	0	0	0	0	0	0
15/2/2021	16/2/2021	17/2/2021	18/2/2021	19/2/2021	20/2/2021	21/2/2021
0	0	0	0	0	0	0
22/2/2021	23/2/2021	24/2/2021	25/2/2021	26/2/2021	27/2/2021	28/2/2021
0	0	0	0	0	1,02	0

Fuente de elaboración propia

Ilustración 26 Precipitaciones diarias de febrero de 2022



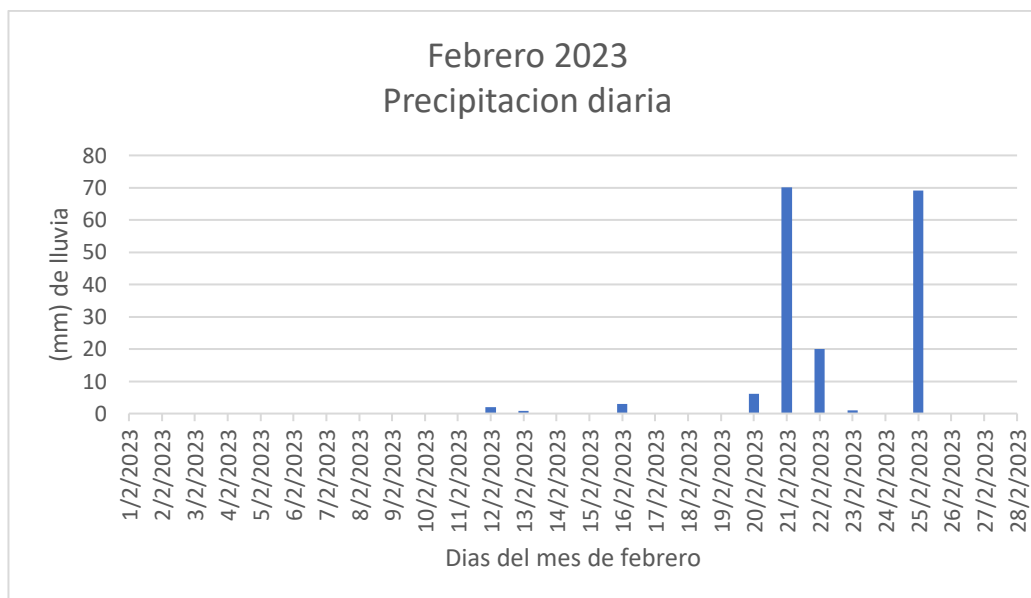
Fuente de elaboración propia

Tabla 28 Precipitaciones diarias de febrero de 2022

1/2/2022	2/2/2022	3/2/2022	4/2/2022	5/2/2022	6/2/2022	7/2/2022
5,08	5,08	0	0	0	0	0
8/2/2022	9/2/2022	10/2/2022	11/2/2022	12/2/2022	13/2/2022	14/2/2022
0	0,25	0	0	0,25	0,25	0
15/2/2022	16/2/2022	17/2/2022	18/2/2022	19/2/2022	20/2/2022	21/2/2022
0	0	0	0	0	0	0
22/2/2022	23/2/2022	24/2/2022	25/2/2022	26/2/2022	27/2/2022	28/2/2022
0	0	0	0	0	0,25	0

Fuente de elaboración propia

Ilustración 27 Precipitaciones diarias de febrero de 2023



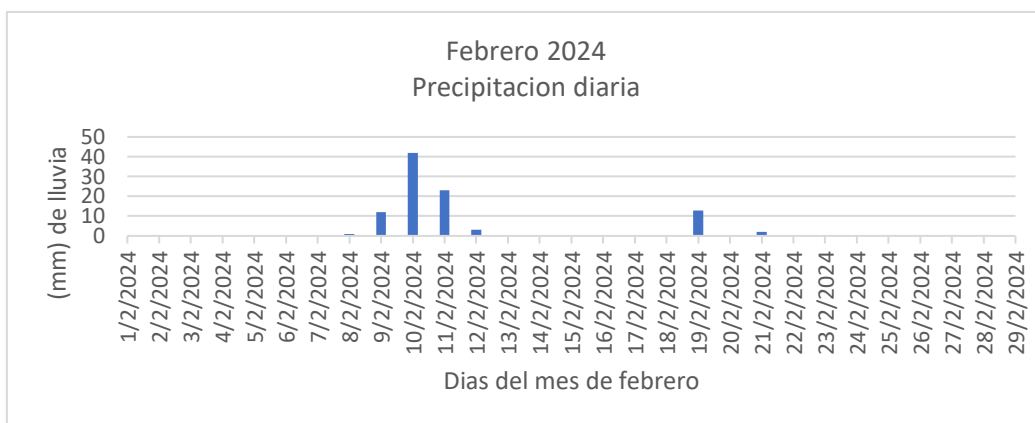
Fuente de elaboración propia

Tabla 29 Precipitaciones diarias de febrero de 2023

1/2/2023	2/2/2023	3/2/2023	4/2/2023	5/2/2023	6/2/2023	7/2/2023
0	0	0	0	0	0	0
8/2/2023	9/2/2023	10/2/2023	11/2/2023	12/2/2023	13/2/2023	14/2/2023
0	0	0	0	2,03	0,76	0
15/2/2023	16/2/2023	17/2/2023	18/2/2023	19/2/2023	20/2/2023	21/2/2023
0	3,05	0	0	0	6,1	70,1
22/2/2023	23/2/2023	24/2/2023	25/2/2023	26/2/2023	27/2/2023	28/2/2023
20,07	1,02	0	69,09	0	0	0

Fuente de elaboración propia

Ilustración 28 Precipitaciones diarias de febrero de 2024



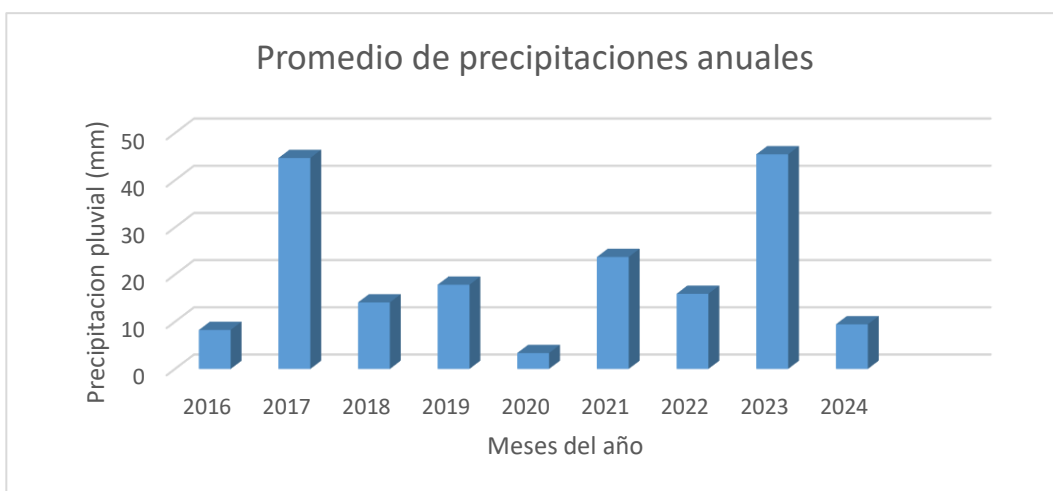
Fuente de elaboración propia

Tabla 30 Precipitaciones diarias de febrero de 2024

1/2/2024	2/2/2024	3/2/2024	4/2/2024	5/2/2024	6/2/2024	7/2/2024
0	0	0	0	0,51	0,51	0
8/2/2024	9/2/2024	10/2/2024	11/2/2024	12/2/2024	13/2/2024	14/2/2024
1,02	11,94	41,91	23,11	3,05	0	0
15/2/2024	16/2/2024	17/2/2024	18/2/2024	19/2/2024	20/2/2024	21/2/2024
0	0	0	0	12,95	0	2,03
22/2/2024	23/2/2024	24/2/2024	25/2/2024	26/2/2024	27/2/2024	28/2/2024
0	0	0	0	0	0	0
29/2/2024						
0						

Fuente de elaboración propia

Ilustración 29 Precipitaciones anuales



Fuente de elaboración propia

Se observó que los meses efectivos de lluvias son febrero y marzo. Sin embargo, en la tabla de puede observar que la precipitación máxima en 24 horas (1 día) en el mes de febrero fue de 40.89 mm siendo mayor a 10 mm, por lo que se procede a tomar como días efectivos de lluvia los que sobrepasen los 10 mm esos días efectivos, los cuales para este año particular (2016) el día efectivo tan solo será igual a uno.

4.1.3. Determinación del número de días promedio de lluvias que producen saturación según la data de análisis en la zona del proyecto.

Tabla 31 Total de días con precipitaciones diarias mayores a 10 mm

ESTACION	FEBRERO										MARZO								
842000 (SESA) GENERAL UULPIANO	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
	1	8	4	2	1	0	0	3	4	1	5	0	0	0	6	2	3	0	
PROMEDIO MENSUAL	3										2								
# DE DIAS > 10 mm											5								
# DIAS DEL AÑO											365								
% DE LLUVIAS											1,37 %								

Fuente de elaboración propia

La determinación del número de días promedio en que las condiciones de saturación afectan a la estructura del pavimento es un parámetro crítico en la metodología AASHTO para el cálculo del coeficiente de drenaje. En el presente estudio, se aplicó un enfoque integrado que combina datos pluviométricos, análisis de suelos y monitoreo in situ para establecer con precisión este valor.

Los resultados indican que, en la provincia de Santa Elena, la estructura del pavimento se encuentra expuesta a condiciones de saturación durante un promedio de 5 días al año, lo que representa el 1.37% del tiempo total.

El análisis estacional muestra que, durante los meses de enero a abril, el porcentaje de tiempo en saturación alcanza su máximo (85%), mientras que de julio a septiembre disminuye a solo 9.4%. Esta variabilidad estacional debe ser considerada en el diseño, ya que determina los periodos críticos de exposición a la humedad

Según los datos anteriores el porcentaje de tiempo al que estará expuesto el pavimento a niveles de saturación será del 1.37 % de acuerdo con la AASTHO.

Tabla 32 Coeficientes de permeabilidad de dos métodos vs resultado obtenido en el laboratorio.

		VILLINGOTA	LA RINCONADA	SAN VICENTE
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (HAZEN)	K (mm/s)	0,2191	0,1149	2.723
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD k (método indirecto)	ft/días	2.13394	0.5316	326.5
	mm/s	0.00753	0,0018753	1.1517
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (Obtenido por ensayos de laboratorio)	K (mm/s)	0.0469	0,0445	0,0500
POROSIDAD	n	0,1797	0,1853	0,45948
POROSIDAD EFECTIVA	ne	0,1437	0,1483	0,37

Fuente de elaboración propia

Se observa que el cálculo del coeficiente K por medio de los ensayos de laboratorio no tiene concordancia con las teorías y referencias en donde nos permiten inferir dicho coeficiente sabiendo que tipo de material con el que estamos trabajando, también observamos que los resultados de métodos indirectos demuestran que la cantera Villingota tiene un coeficiente k mayor al de la cantera la rinconada, lo mismo ocurre en el “k” calculado en laboratorio, esto se puede indicarnos que es verdad las concionantes que tienen dichas teorías o métodos indirectos, como por ejemplo que no se aplica para materiales con coeficiente de uniformidad mayores a 0.3 ó con D₁₀ mayores a 2mm, de ahí es que se encuentran tan variados los resultados calculados que con los análisis de laboratorio.

4.1.4. Cálculo del coeficiente de drenaje de la capa estructural del pavimento.

El coeficiente de drenaje (m) representa un factor de corrección que cuantifica la capacidad del sistema de drenaje para evacuar el agua acumulada en las capas estructurales del pavimento. Según la metodología AASHTO 93, este coeficiente depende de dos parámetros fundamentales:

- la capacidad del sistema de drenaje, determinada por el tiempo requerido para evacuar el 50% del agua acumulada, y
- el porcentaje de tiempo anual durante el cual la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

4.1.4.1. Datos geométricos de la sub base

Pendiente Longitudinal: $S = 3\% = 0.03$ (Representativa de la vía)

Pendiente Transversal: $S_x = 2\% = 0.02$ (Bombeo de la vía)

Espesor de la Capa Drenante: $H = 0.2032m$ (Tomado del diseño hecho por el GAD el espesor de la sub-base)

Ancho de carril: $W = 3.35m$ (Ancho total de la vía 6.7 m)

Ancho más crítico (sección peralte) = 6.7 m

4.1.4.2. Datos pluviales de la sub base

Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento es expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación= 1.37 %

4.1.4.3. Pendiente resultante

$$SR = [(S)^2 + (S_x)^2]^{0.5}$$

$$SR = [(0.03)^2 + (0.02)^2]^{0.5} = 0.036$$

4.1.4.4. Resultados obtenidos

Mediante los siguientes métodos de análisis y formulas se llegó a los siguientes resultados de la tabla 33

Método indirecto (ecuación 8)

$$K = \frac{6.214 * 10^5 (D_{10})^{1.478} n^{6.654}}{(P_{200})^{0.597}}$$

Tabla 33 Datos para uso del metodo indirecto y ábaco

	VILLINGOTA	LA RINCONADA	SAN VICENTE
D10	0,1655	0,0619	2,04
% #200	8,13	10,31	2,23
Porosidad (n)	0,18	0,19	0,50
Yd (kg/m3)	2178	2167	1455

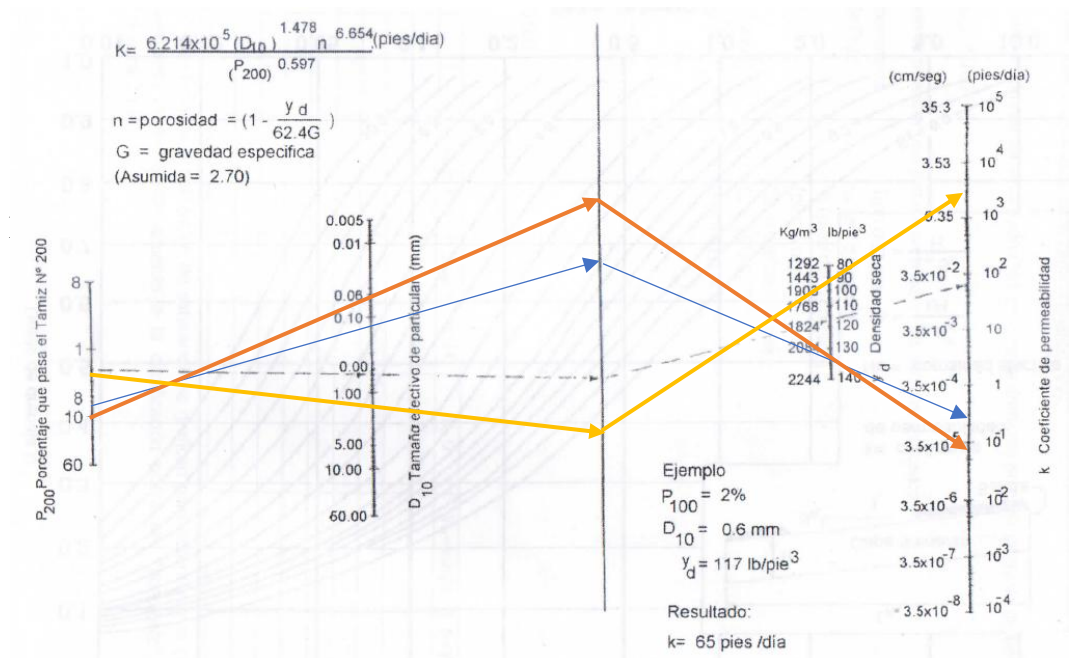


Tabla 34 Datos parciales necesarios para encontrar el tiempo de remoción de agua para alcanzar el 50 % de saturación

	VILLINGOTA	LA RINCONADA	SAN VICENTE DE LOJA
PENDIENTE RESULTANTE	SR	0.036	0.036

POROSIDAD	n	0,1797	0,1853	0,4966
POROSIDAD EFECTIVA	ne	0,1437	0,1483	0,4
CANTIDAD DE AGUA POR DRENAR	Ck	10	30	40
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (HAZEN)	K (mm/s)	0,21912	0,1149	2.723
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD k (método indirecto)	K (mm/s)	0,000482	0,00012	36,9878
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (LABORATORIO)	K (mm/s)	0.0469	0,0445	0,0500
Pasante #200	%	8.13	10.31	2.23
USO		SUB-BASE	SUB-BASE	MEJORAMIENTO
ESPESOR	cm	20.32	20.32	30.48

Elaboración propia

Se calificó los distintos materiales tomando en consideración una sección en tangente de la vía y una sección en peralte, tomando como referencia para nuestro análisis comparativo la situación más crítica, por lo tanto se pudo evidenciar que los resultados obtenidos con el coeficiente K calculado en laboratorio se ajusta mejor a la realidad y a lo que se espera en este tipo de materiales, debido a que por las características de los materiales el que tiene menor porcentaje de finos, también es el que tiene un coeficiente de permeabilidad mejor que los otros materiales,; además cabe recalcar que el método indirecto es el que arrojó un resultado diferente de “bueno” o “regular” siendo este método el que más dispersión presenta en tiempos de drenaje.

Tabla 34 Resultados parciales necesarios para encontrar el coeficiente de drenaje m_1

	K método HAZEN			K método INDIRECTO			K método LABORATORIO		
	VILLINGOTA	LA RINCONADA	SAN VICENTE DE LOJA	VILLINGOTA	LA RINCONADA	SAN VICENTE DE LOJA	VILLINGOTA	LA RINCONADA	SAN VICENTE DE LOJA
t50 min	151.5034	372.3359	0.78740	86176.73	356758.9	3.1	884.32	962.44532	2293.88
t50 horas	2.5251	6.2056	0.01312	1436.279	5945.98	0.0517	14.73875	16.04076	38.2314
t50 días	0.10521	0.25857	0.00055	59.8450	247.74	0.0022	0.6141146	0.6683648	1.59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35 Resultados parciales necesarios para encontrar el coeficiente de drenaje m_1 (para sección más crítica)

	K método HAZEN			K método INDIRECTO			K método LABORATORIO		
	VILLINGOTA	LA RINCONADA	SAN VICENTE DE LOJA	VILLINGOTA	LA RINCONADA	SAN VICENTE DE LOJA	VILLINGOTA	LA RINCONADA	SAN VICENTE DE LOJA
t50 min	441.4395	1084.885	2.29428	16063.5	1039498.2	9.03	2576.68	2804.3	6683.74
t50 horas	7.35733	18.0814	0.03824	267.72	17324.96	0.1506	42.947	46.7384	111.3957
t50 días	0.30656	0.75339	0.00159	11.155	721.8737	0.0063	1.7894	1.9474	4.6415

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE1: Caracterización de materiales extraídos de las canteras mediante ensayos de laboratorio

4.2.1. Resultados del material ensayado de la cantera Villingota

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras representativas de las 3 canteras antes ya mencionadas. Los resultados obtenidos permiten determinar las propiedades físicas y mecánicas del material granular, fundamentales para evaluar su calidad en el diseño de pavimentos.

4.2.1.1. Contenido de Humedad Natural

Tabla 36 Contenido de humedad del material ensayado de la cantera Villingota

Parámetro	Valor
-----------	-------

% de humedad natural (w)	0.82%
--------------------------	-------

Fuente: Elaboración propia

El material extraído posee baja humedad natural, lo cual indica condiciones secas y favorable comportamiento para almacenamiento y transporte sin riesgo de saturación.

4.2.1.2. Límites de Atterberg

Tabla 37 Límites de Atterberg del material ensayado de la cantera Villingota

Límite líquido (LL)	19%	≤ 25	CUMPLE
Límite plástico (LP)	13%		
Índice de plasticidad (IP)	6%	≤ 6	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

El material es cumple con el requisito y normativa para ser clasificado como una base tipo 1, lo cual indica muy baja cohesividad y excelente comportamiento drenante, minimizando los problemas de expansión y contracción.

4.2.1.3. Análisis Granulométrico

Tabla 38 Análisis Granulométrico del material ensayado de la cantera Villingota

Tamiz ASTM	% Muestra pasante	NORMA Sub base Clase III	
3"	100	100	CUMPLE
No. 4 (4,75 mm)	30	30-70	CUMPLE
No. 200 (0,075 mm)	8.13	0-20	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

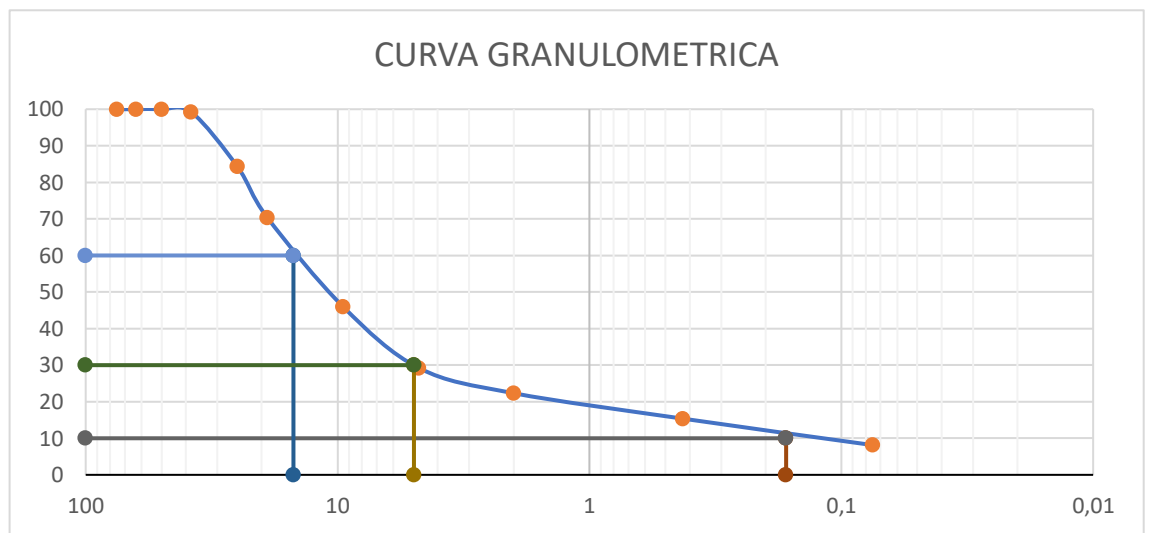
El material presenta una granulometría bien distribuida con menos del 12% de finos, lo que favorece una adecuada permeabilidad y drenaje interno.

Tabla 39 Clasificación del material ensayado de la cantera Villingota

Clasificación AASHTO		Índice de grupo (IG)
A-1-a	Fragmentos de grava y arena	0
Clasificación SUCS		
GP-GC	Grava mal gradada con arcilla y limo con arena	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 30 Curva granulométrica del material ensayado de la cantera Villingota



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.4. Gravedad Específica

Tabla 40 Gravedad específica del material ensayado de la cantera Villingota

Temperatura	Gravedad específica (Gs)
25 °C	2,66

Fuente: Elaboración propia

El valor de Gs indica una densidad relativa típica de materiales granulares silíceos, adecuada para capas estructurales en pavimentos.

4.2.1.5. Compactación (Proctor Modificado)

Tabla 41 Proctor modificado del material ensayado de la cantera Villingota

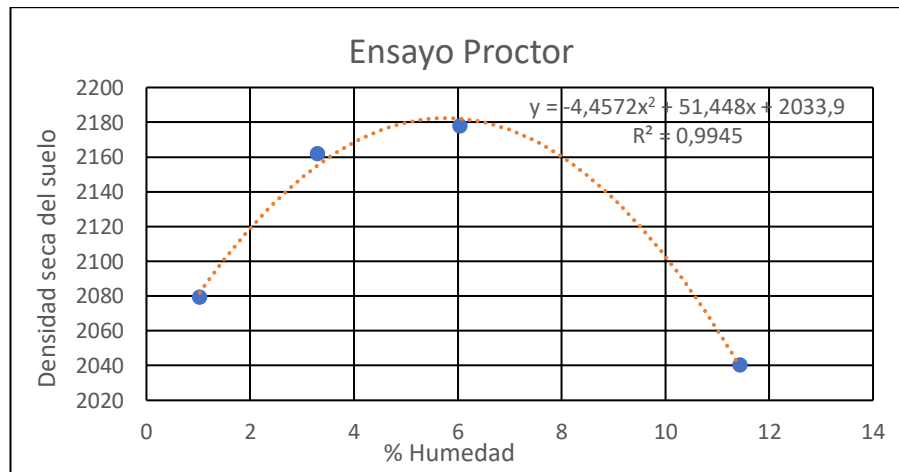
Punto	Densidad seca (kg/m ³)	% Humedad
1	2079.24	1.03
2	2161.82	3.31
3	2177.55	6.04
4	2040.06	11.44

Parámetro	Valor
Densidad seca máxima	2178.54 kg/m ³
Humedad óptima	5.77 %

Fuente: Elaboración propia

El material alcanza buena compactación con contenido de humedad bajo, lo cual favorece la resistencia y drenaje del pavimento.

Ilustración 31 Curva Proctor del material ensayado de la cantera Villingota



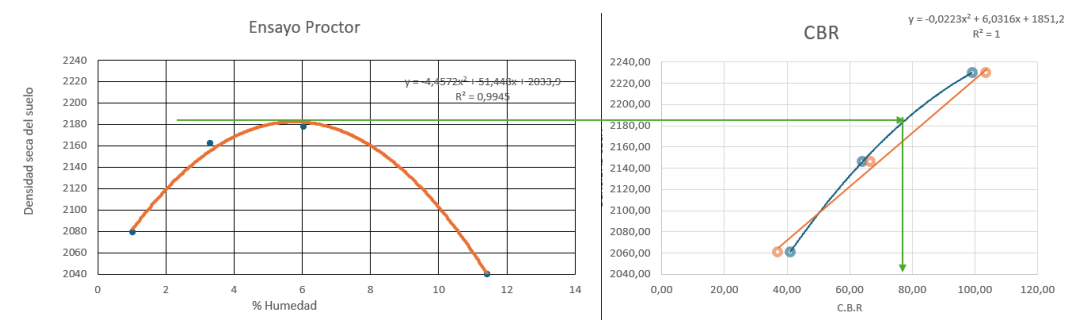
4.2.1.6. CBR (Capacidad de Soporte California Bearing Ratio)

Tabla 41 Porcentaje de CBR en función a la penetración de 0.1 y 0.2" de la cantera Villingota

N° de Golpes	% de CBR		DENSIDAD SECA CBR
	0,1 pulg	0,2 pulg	
C.B.R	%		
12	37,15	41,00	2061,04
25	66,54	64,04	2145,99
56	103,65	99,21	2230,01

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 32 CBR para diseño de la cantera Villingota



Fuente: Elaboración propia

Tabla 42.
CBR del material ensayado de la cantera Villingota

Capacidad de soporte CBR			
Descripción	% Laboratorio	Norma	Cumplimiento
Material granular	78	Sub – base > 30%	Cumple
		Base > 80%	No Cumple

El valor de CBR supera el mínimo para sub-bases no así con la el valor necesario para capas base. El material es excelente para ser usado dentro de un diseño de pavimento solo como material de sub base clase III debido a que es un material solo cribado mas no triturado.

4.2.1.7. Abrasión de los Ángeles

Tabla 423 Abrasión del material ensayado de la cantera Villingota

Abrasión de los Ángeles			
Descripción	% Pérdida	Norma	Cumplimiento
Material granular	27.90	< 50%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Indica buena resistencia al desgaste, lo cual garantiza mayor durabilidad estructural del pavimento.

4.2.1.8. Permeabilidad

Se realizó un ensayo de permeabilidad constante sobre el material de la cantera Villingota. Los parámetros de cálculo se detallan a continuación:

Tabla 43 Permeabilidad del material ensayado de la cantera Villingota

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad natural	6.41	%
Área transversal (diámetro 10 cm)	78,54	cm ²
Carga hidráulica promedio (h)	150.17	cm
Volumen de agua filtrado (Q)	195	cm ³
Longitud de la muestra (L)	17,01	cm
Tiempo (t)	60	s (segundos)
Coef. de permeabilidad (k)	0.004693	cm/s

Fuente: Elaboración propia

La permeabilidad obtenida indica un comportamiento drenante moderado a bueno, dado que se trata de un material granular con poca plasticidad y contenido bajo de finos.

4.2.1.9. Estimación del Coeficiente de Drenaje (m)

Según la metodología AASHTO 1993, el coeficiente de drenaje para capas granulares depende principalmente de:

- Tiempo de drenaje
- Permeabilidad del material.
- Condición del sistema de drenaje (suponemos no ideal, sin geotextiles filtrantes).

Determinación del tiempo de drenaje

Con una permeabilidad de 0.004693 cm/s, se estima que el agua tardaría en drenar en el caso más crítico aproximadamente 42 horas. Esto corresponde a una condición "Buena a Regular", según la siguiente escala AASHTO:

Tabla 44 Tabla para el cálculo de coeficiente de drenaje con un porcentaje de entre un 1% y 5%

Condición de drenaje	Tiempo estimado de drenaje	Coeficiente m (1%-5%)
Excelente	< 2 horas	1.35 – 1.30
Buena	1 día	1.25 – 1.15
Regular	1 semana	1.15 – 1.05
Mala	1 mes	1.05 – 0.80
Muy mala	No drena	0.95 – 0.75

Fuente: Elaboración propia

Grado de Saturación

Se analizó que el tiempo estimado de drenaje lo cual es un criterio para ajustar m hacia el rango inferior de la condición, por lo tanto, nuestro valor m_i para el diseño en condición más crítica será 1.20 para material de la cantera Villingota

4.2.2. Resultados del material ensayado de la cantera La Rinconada.

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras representativas de la cantera ubicada en la parroquia Manglaralto del cantón Santa Elena. Los resultados obtenidos permiten determinar las propiedades físicas y mecánicas del material, fundamentales para evaluar su calidad como subrasante en el diseño de pavimentos.

4.2.2.1. Contenido de Humedad Natural

Tabla 45 Contenido de humedad del material ensayado de la cantera La Rinconada

Parámetro	Valor
% de humedad	2.49%

Fuente: Elaboración propia

El valor de humedad natural relativamente bajo sugiere un material seco, ideal para trabajos de compactación inmediata en obra.

4.2.2.2. Límites de Atterberg

Al igual que en Villingota, el material extraído de La Rinconada es material granular con poca cantidad de finos , por lo que presenta límite líquido y límite plástico aceptables según normativa.

Tabla 46 Límites de Atterberg del material ensayado de la cantera La Rinconada

Límite líquido (LL)	22
Límite plástico (LP)	17
Índice de plasticidad (IP)	5

Fuente: Elaboración propia

Podemos encontrar que nuestro suelo es favorable y cumple con el valor de índice de plasticidad requerida para ser usado como material para diseño de pavimento.

4.2.2.3. Análisis Granulométrico

Tabla 47 Análisis Granulométrico del material ensayado de la cantera La Rinconada

Tamiz ASTM	% Muestra pasante	NORMA Sub base Clase III	
3"	100	100	CUMPLE
No. 4 (4,75 mm)	33.99	30-70	CUMPLE
No. 200 (0,075 mm)	10.31	0-20	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

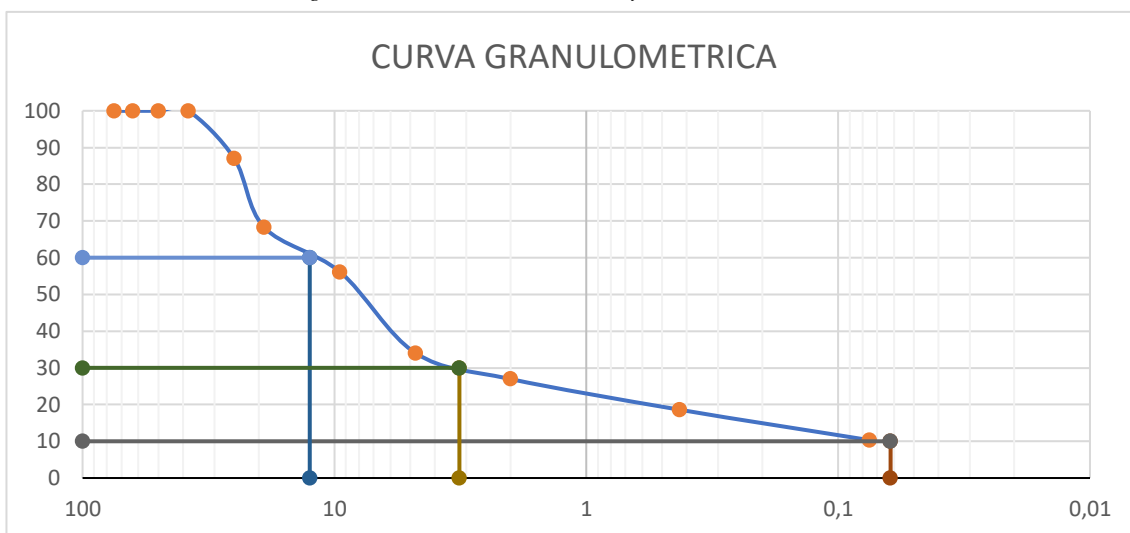
Este material muestra una buena distribución granulométrica con un contenido de finos un poco alto, pero dentro del rango de la normativa. Se trata de un suelo permeable, apto para capas de Sub-Base clase III.

Tabla 48 Clasificación del material ensayado de la cantera San Rafael

Clasificación AASHTO		Índice de grupo (IG)
A-2-6	Grava y arena arcillosa o limosa	0
Clasificación SUCS		
GP-GM	Grava mal gradada con limos y arenas	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 33 Curva granulométrica del material ensayado de la cantera La Rinconada



Fuente: Elaboración propia

4.2.2.4. Gravedad Específica

Tabla 49 Gravedad específica del material ensayado de la cantera La Rinconada

Temperatura	Gravedad específica (Gs)
24 °C	2,66

Fuente: Elaboración propia

La gravedad específica es consistente con materiales de origen silíceo, adecuados para capas granulares en estructuras de pavimento.

4.2.2.5. Compactación (Proctor Modificado)

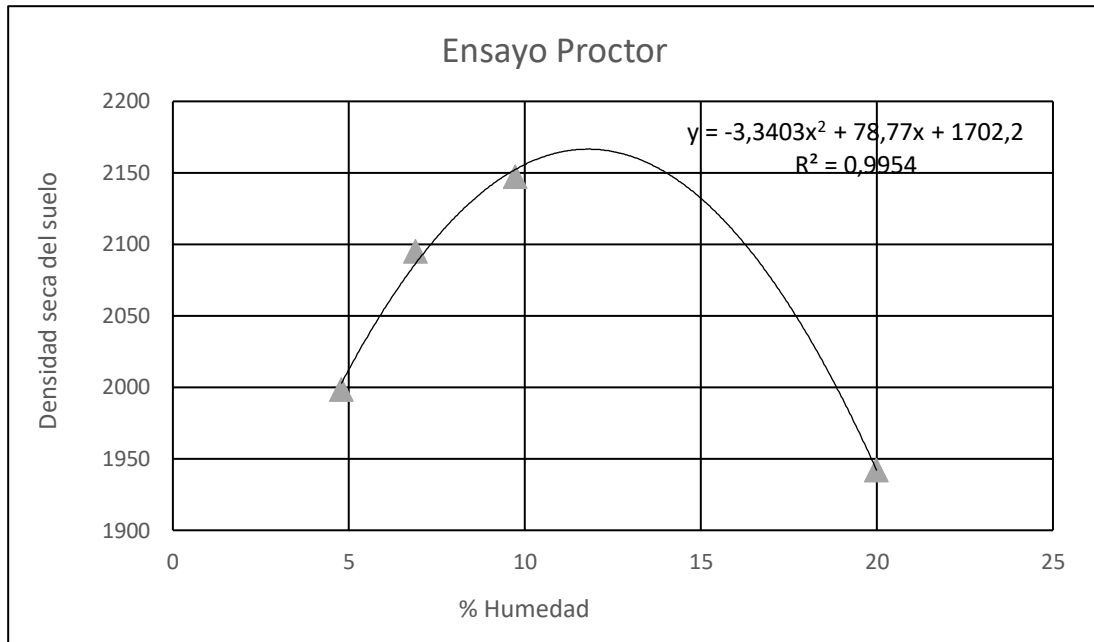
Tabla 50 Proctor modificado del material ensayado de la cantera La Rinconada

Punto	Densidad seca (kg/m ³)	% Humedad
1	1998.62	4.79
2	2095.39	6.90
3	2147.57	9.72
4	1942.37	19.99

Parámetro	Valor
Densidad seca máxima	2167 kg/m ³
Humedad óptima	11.8 %

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 34 Curva Proctor del material ensayado de la cantera La Rinconada



Fuente: Elaboración propia

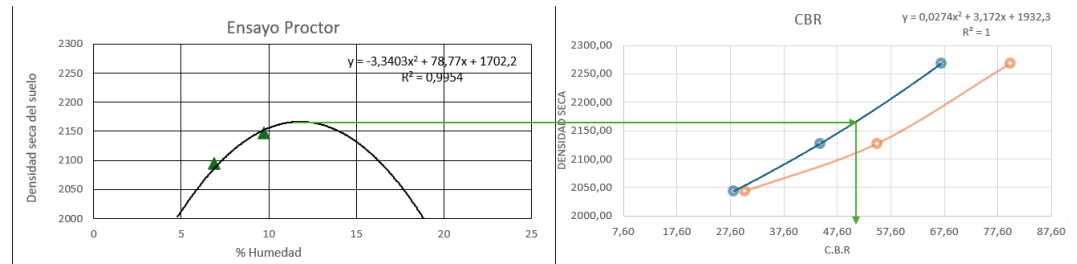
4.2.2.6. CBR (Capacidad de Soporte California Bearing Ratio)

Tabla 51 Porcentaje de CBR en función a la penetración de 0.1 y 0.2" de la cantera La Rinconada

N° de Golpes	% CBR		DENSIDAD SECA CBR
	0,1 pulg	0,2 pulg	
C.B.R	%		
12	28,19	30,36	2043,44
25	44,46	55,08	2127,41
56	67,08	79,91	2268,32

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 35 CBR de diseño de la cantera La Rinconada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 52 CBR del material ensayado de la cantera La Rinconada

Capacidad de soporte CBR			
Descripción	% Laboratorio	Norma	Cumplimiento
Material arenoso	49.2	Sub – base > 30%	Cumple
		Base > 80%	No Cumple

El valor elevado de CBR indica que el material puede ser usado en sub-base pero no como base, mostrando excelente capacidad de soporte estructural.

4.2.2.7. Abrasión de los Ángeles

Tabla 53 Abrasión del material ensayado de la cantera La Rinconada

Abrasión de los Ángeles			
Descripción	% Pérdida	Norma	Cumplimiento
Material arenoso	33.10	< 50%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

El material es resistente al desgaste por fricción y tránsito, cumpliendo con los estándares de durabilidad.

4.2.2.8. Permeabilidad

Tabla 54 Permeabilidad del material ensayado de la cantera La Rinconada

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	9.74	%

Área (d = 10 cm)	78,54	cm ²
Carga hidráulica (h)	150.17	cm
Tiempo (t)	60	s
Longitud de muestra	17,01	cm
Flujo (Q)	185	cm ³
Coef. de permeabilidad (k)	0.004446941	cm/s

Fuente: Elaboración propia

El valor de permeabilidad es bajo y guarda relación con el tipo de material que se está ensayando, lo cual indica que el agua fluye de manera moderada a rápida, característica buena para capas drenantes.

4.2.2.9. Estimación del Coeficiente de Drenaje (m)

Según la tabla AASHTO para estimación de m, considerando los siguientes factores:

- t50: 46 horas → Condición buena a regular
- Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento es expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación: 1.36%
- Permeabilidad: 0.004447 cm/s → moderada a rápida

Tabla 55 Resumen de resultados de los parámetros para el material de la cantera La Rinconada

Variable evaluada	Condición	Valor considerado
Permeabilidad	moderada	0.004447 cm/s
Tiempo estimado de drenaje	>2 horas	“Bueno”
% de tiempo en que la estructura estará expuesta a niveles de humedad próxima a saturación	1.38%	Valor más cercano a 1%
Coeficiente de drenaje (m)	—	1.20

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Resultados del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras representativas de la cantera ubicada en San Vicente de Loja – Comuna Olón, Parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena. Los resultados obtenidos permiten determinar las propiedades físicas y mecánicas del material, fundamentales para evaluar su calidad como estructura en el diseño de pavimentos.

4.2.3.1. Contenido de Humedad Natural

Tabla 56 Contenido de humedad del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja

Parámetro	Valor
% de humedad natural (w)	13.95 %

Fuente: Elaboración propia

El contenido de humedad es alto, lo que sugiere un suelo un suelo húmedo que podría tener un cambio en su volumen y posible pérdida de capacidad portante aunque en el ensayo CBR el nivel de hinchamiento es bajo, se debería trabajar con cuidado este tipo de materiales.

4.2.3.2. Límites de Atterberg

El material es clasificado como plástico, al igual que los materiales de Villingota y La Rinconada.

Tabla 57 Límites de Atterberg del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja

Límite líquido (LL)	25
Límite plástico (LP)	19
Índice de plasticidad (IP)	6

Fuente: Elaboración propia

La plasticidad indica baja cohesión y alta permeabilidad, con escasa tendencia a la expansión o contracción por humedad.

4.2.3.3. Análisis Granulométrico

Tabla 58 Análisis Granulométrico del material ensayado de la cantera San Vicente De Loja

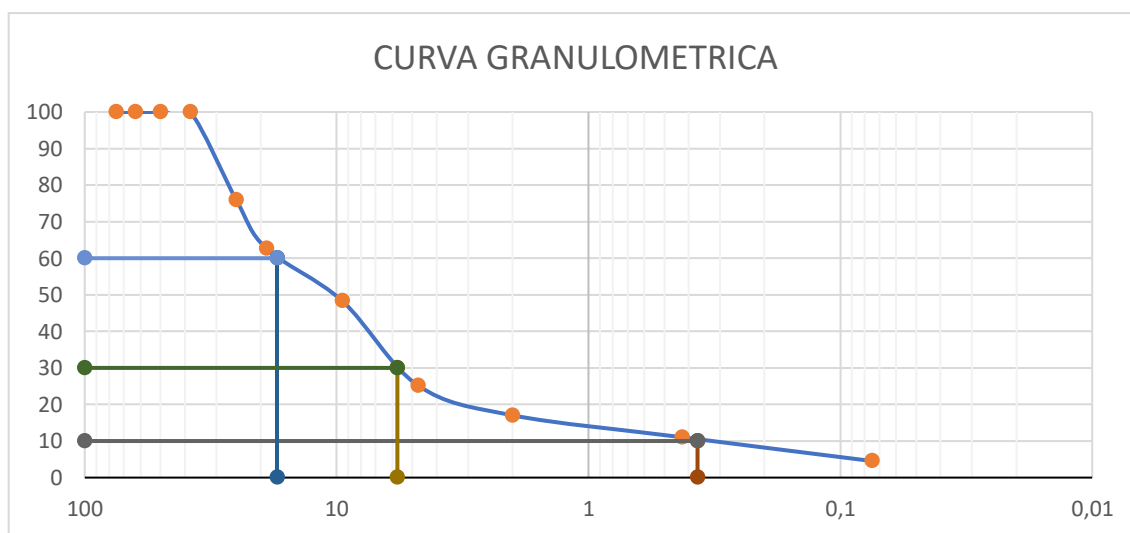
Fuente: Elaboración propia

Tabla 59 Clasificación del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja

Clasificación AASHTO		Índice de grupo (IG)
A-1-a	Fragmentos de roca; grava y arena	0
Clasificación SUCS		
GP	Grava mal gradada con arena	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 36 Curva granulométrica del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja



Fuente: Elaboración propia

4.2.3.4. Gravedad Específica

Tabla 60 Gravedad específica del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja

Temperatura	Gravedad específica (Gs)
26 °C	2,69

Fuente: Elaboración propia

El valor de Gs indica la presencia de agregados minerales comunes en suelos arenosos con ligeras fracciones de arcilla.

4.2.3.5. Compactación (Proctor Modificado)

Tabla 61 Proctor modificado del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja

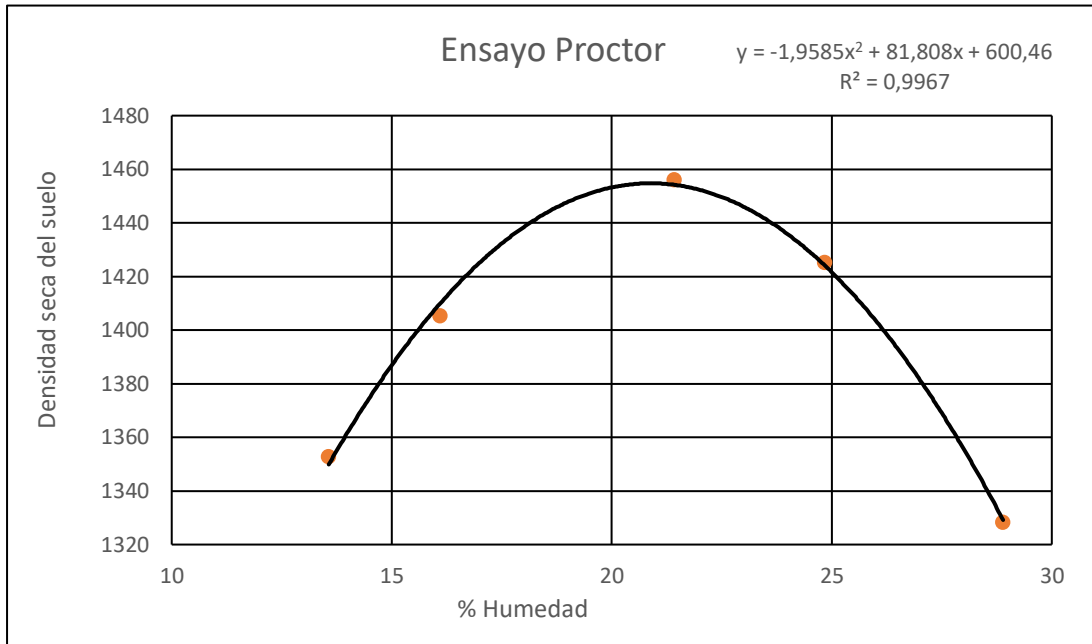
Punto	Densidad seca (kg/m ³)	% Humedad
1	1353	13.55
2	1406	16.08
3	1456	21.45
4	1425	24.84
5	1328	28.88

Parámetro	Valor
Densidad seca máxima	1455 kg/m ³
Humedad óptima	20.9 %

Fuente: Elaboración propia

Este suelo alcanza su mayor densidad con una humedad alta. Aunque su densidad es menor respecto a otras canteras, sigue siendo funcional para capas inferiores del pavimento.

Ilustración 37 Curva Proctor del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja



Fuente: Elaboración propia

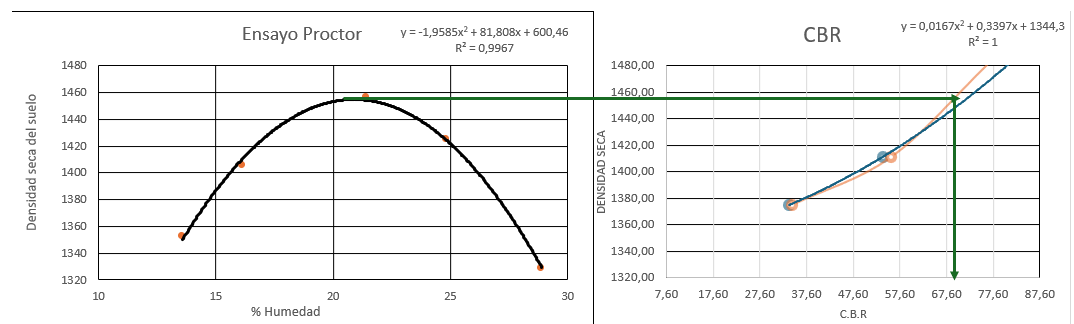
4.2.3.6. CBR (Capacidad de Soporte California Bearing Ratio)

Tabla 62 Porcentaje de CBR en función a la penetración de 0.1 y 0.2” de la cantera San Vicente

N° de Golpes	CBR		DENSIDAD SECA CBR
	0,1 pulg	0,2 pulg	
C.B.R	%		
12	33,86	34,43	1375,02
25	53,88	55,73	1411,20
56	80,84	76,44	1481,15

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 38 CBR de diseño de la cantera San Vicente de Loja



Fuente: Elaboración propia

Tabla 63 CBR del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja

Capacidad de soporte CBR			
Descripción	% Laboratorio	Norma	Cumplimiento
Material arenoso con arcilla	69.6	Sub – base > 30%	Cumple
		Base > 80%	No cumple

Fuente: Elaboración propia

El CBR es suficiente para sub-base, cumple con los requisitos granulométricos también para ser utilizado como un mejoramiento.

4.2.3.7. Abrasión de los Ángeles

Tabla 64 Abrasión del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja

Abrasión de los Ángeles			
Descripción	% Pérdida	Norma	Cumplimiento
Material arenoso con arcilla	31.84	< 40%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

El valor se encuentra en el límite permitido. Aunque cumple, puede despreciarse este ensayo debido al uso que le vamos a dar al material tan solo es para mejoramiento.

4.2.3.8. Permeabilidad

Tabla 65 Permeabilidad del material ensayado de la cantera San Vicente de Loja

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	3.22	%
Área (d = 10 cm)	78,54	cm ²
Carga hidráulica (h)	148,00	cm
Tiempo (t)	60	s
Longitud de muestra	17,01	cm
Flujo (Q)	205	cm ³
Coef. de permeabilidad (k)	0.005	cm/s

Fuente: Elaboración propia

El valor de permeabilidad indica un material moderadamente permeable de la misma manera que las anteriores canteras antes estudiadas.

4.2.3.9. Estimación del Coeficiente de Drenaje (m)

Según la tabla AASHTO para estimación de m, considerando los siguientes factores:

- Tiempo de drenaje observado: → Condición Regular
- Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento es expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación: 1.38%
- Permeabilidad: 0.005 cm/s → Rápida

Tabla 66 Resumen de resultados de los parámetros para el material de la cantera San Vicente

Variable evaluada	Condición	Valor considerado
Permeabilidad	Rápida	0.005 cm/s
Tiempo estimado de drenaje	< 1 semana	“Regular”
Saturación 1% - 5%	1.38%	Valor más cercano a 1%
Coeficiente de drenaje (m)	—	1.15

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta una tabla comparativa de los 3 materiales ensayados en las diferentes canteras de estudio:

Tabla 67 Tabla Comparativa de Resultados del OEI: Caracterización de Materiales de las Tres Canteras

Parámetro	Villingota	La Rinconada	San Vicente
Humedad natural (%)	0.82	2.49	13.95
Plasticidad	6	5	6
% Finos (Pasa N° 200)	8.13 %	10.31 %	4.54 %
Gravedad específica (Gs)	2,66	2,66	2,69

Densidad seca máxima (kg/m³)	2178.5	2167	1455
Humedad óptima (%)	5.77	11.8	20.9
CBR (%)	78	49.2	69.6
Uso recomendado	Subbase clase III	Subbase clase III	Subbase clase III o mejoramiento
Abrasión Los Ángeles (%)	27.9	33.1	31.84
Hinchamiento promedio (%)	~1	~0.4	~1.2
Coef. de permeabilidad (mm/s)	0.0469	0.0444	0.05
Tiempo de drenaje estimado	1.78 días	1.94 días	4.64 días
Condición de drenaje (AASHTO)	Buena	Buena	Regular
Coefficiente de drenaje (m)	1.20	1.20	1.15
Coefficiente de drenaje de diseño	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE2: Determinar las condiciones hidrológicas de sitio ubicado en la vía de ingreso a Olón – San Vicente de Loja.

La evaluación de las condiciones hidrológicas del suelo en la vía de ingreso a San Vicente de Loja se obtuvo gracias a datos del diseño actual de la presente vía proporcionados por el GAD DE SANTA ELENA; en el que constan los espesores de pavimento, coeficientes de drenajes implementados, canteras de donde extrajeron material para el diseño de pavimento junto al análisis pluviométrico podemos tener una idea más clara y precisa de cómo afectaría los nuevos coeficientes de drenaje calculados con relación a los ya existentes actualmente. Los

resultados obtenidos permiten valorar la capacidad de drenaje del material granular en función de su granulometría, plasticidad, soporte y respuesta ante el agua.

4.3.1. Determinación de numero de día promedio que producen saturación

Tabla 68 Porcentaje de tiempo al que estará expuesto el pavimento a saturación

ESTACION	FEBRERO										MARZO									
842000 (SESA) GENERAL UULPIANO	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024		
	1	8	4	2	1	0	0	3	4	1	5	0	0	0	6	2	3	0		
PROMEDIO MENSUAL	3										2									
# DE DIAS > 10 mm											5									
# DIAS DEL AÑO											365									
% DE LLUVIAS											1,37 %									

Como podemos observar el porcentaje de días que pueden llegar a producir saturación es de apenas 1.37% un valor considerablemente bajo, no olvidar que este en un solo parámetro para determinar bien la calidad de drenaje de mis materiales, puesto que también influye bastante la geometría de mi estructura de pavimento, así como los materiales del que está conformado.

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE3: Analizar los coeficientes de drenaje utilizados en el diseño de pavimento de la vía de ingreso a San Vicente de Loja y compararlos con los obtenidos en el presente estudio, con el fin de determinar la calidad de los materiales granulares para su uso en vías.

Este apartado presenta un análisis comparativo entre los materiales evaluados en laboratorio a partir de muestras de las canteras Villingota, La Rinconada, San Vicente, y los materiales actualmente presentes en la vía de ingreso a San Vicente, a fin de valorar su desempeño hidráulico y su aplicabilidad en obras de pavimentación.

El análisis se centra en los coeficientes de drenaje (m), considerando que una buena capacidad de drenaje garantiza mayor durabilidad del pavimento al evitar la acumulación de humedad en las capas estructurales.

4.4.1. Comparación de Parámetros Técnicos Relevantes

Tabla 69 Comparación de Parámetros Técnicos Relevantes entre el material de las tres canteras y la vía Olon-San Vicente

Parámetro Evaluado	Cantera Villingota	Cantera La Rinconada	Cantera San Vicente	Vía Olon-San Vicente (material de sub base)	Análisis
Humedad natural (%)	0.82	2.49	13.95	1.28	Menor humedad en la vía, posiblemente por baja cantidad de finos.
Plasticidad	6	5	6	IP = 3	Todos presentan baja plasticidad, favorable para drenaje.

% Finos (Pasa N°200)	8.13	10.31	2.23	7.05	<p>Menor contenido de finos en la vía a diferencia de los dos primeros materiales que podrían ser utilizados para sub bases, mejora filtración superficial. Similar a las dos primeras canteras; ambos valores reflejan adecuada compactación. Menor en la vía, lo que mejora estabilidad hidráulica. La vía tiene soporte intermedio, posiblemente el material de la primera cantera sea mejor calidad. Excelente durabilidad en la vía, menor desgaste por tránsito. Todos los materiales muestran excelente estabilidad volumétrica. Coeficientes de drenaje calculados reflejan mejor la realidad de la vía</p>
Densidad seca máxima (kg/m ³)	2178.5	2167	1455	2067	
Humedad óptima (%)	5.77	11.8	20.9	6.8	
CBR (%)	78	49.2	69.6	58.57	
Abrasión de Los Ángeles (%)	27.9	33.1	31.84	25.06	
Hinchamiento promedio (%)	1	0.4	1.2	0.8	
Coefficiente de drenaje (m)	1.20	1.20	1.15	1	

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Análisis de nuevo espesor de pavimento.

Ilustración 39 Datos de la vía actual para el diseño de pavimento

	CBR (ponderado)	Modulo Resiliente	
Base Clase I	100%	30,000 Psi	207 MPa
Sub Base Clase III (Mezcla)	58.57%	26,100 Psi	180 MPa
Mejoramiento	20%	20,300 Psi	140 MPa
Subrasante	2.44%	3,660 Psi	25.24 MPa

Fuente: tomado de diseño de pavimento del GAD provincial de Santa Elena

Tabla 70 Resultados de coeficientes estructurales y espesores de pavimento existente

SN existente	a	m	D (pulgadas)	CAPA
1,76	0,44	1	4	CARPETA ASFALTICA
1,12	0,14	1	8	BASE
1,04	0,13	1	8	SUB BASE CLASE III
1,02	0,085	1	12	MEJORAMIENTO
4,94				Sn requerido = 4

Fuente: Elaboración propia con datos del GAD Provincial de Santa Elena

Mediante el uso del método de protección de capa podemos determinar unos nuevos espesores debido a que tenemos un nuevo coeficiente de drenaje calculado con parámetros de acuerdo a coeficientes de permeabilidad, análisis hidrológicos y geometría de la vía, a continuación, se presenta el cálculo realizado para encontrar dichos espesores.

$$S_n = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + a_4 D_4 m_4$$

$$S_{n_1} = a_1 D_1 = 0.44 * 4 = 1.76$$

$$S_{n_2} = a_2 D_2 m_2 = 1.12$$

A partir de la base se procede el cálculo de un nuevo espesor para las siguientes capas.

$$D_3 = \frac{S_{n_3} - S_{n_2}}{a_3 * m_3} = 6.005."$$

Como recomendación de la AASTHO se debe redondear al número superior más próximo es decir $D_3 = 7''$

$$S_{n_3}^* = a_3 D_3 m_3 = 1.09$$

$$D_4 = \frac{S_{n_4} - S_{n_3}^*}{a_4 * m_4} = 1.94'' = 2''$$

Tabla 75 Resultados de coeficientes estructurales y espesores de pavimento existente

CANTERA VILLINGOTA				CANTERA LA RINCONADA			
a	m	D (pulgadas)	SN recalculado	a	m	D (pulgadas)	SN recalculado
0,44	1	4	1,76	0,44	1	4	1,76
0,14	1	8	1,12	0,14	1	8	1,12
0,136	1,2	8	1.296	0,127	1,2	8	1.219
0,085	1,15	-	-	0,085	1,15	-	-
			4,176				4,10

Fuente elaboración propia

4.4.3. Análisis Comparativo del Comportamiento Hidráulico

Tabla 76 Resultados del coeficiente de drenaje m_1 (para sección más crítica) de las distintas canteras

	VILLINGOTA	LA RINCONADA	SAN VICENTE
t50 (días)	1.789	1.947	4.64
CONDICION DE DRENAJE	BUENA	BUENA	REGULAR
COEFICIENTE DE DRENAJE	1.2	1.2	1.15

Fuente elaboración propia

En el presente estudio, se determinó el coeficiente de drenaje para los materiales granulares de las tres canteras analizadas (San Vicente de Loja,

Villingota y La Rinconada), considerando las condiciones específicas de la vía de ingreso a Olón - San Vicente. La metodología aplicada siguió los lineamientos establecidos en el Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO, 1993)

Los resultados, presentados en la Tabla 76, muestran que el coeficiente de drenaje varía significativamente entre las diferentes fuentes de material, con valores que oscilan entre 1.2 a 1.15 entre las canteras estudiadas, y en comparación al coeficiente utilizado para el diseño ya existente ($m=1$), la diferencia reflejada es de aproximadamente 13-17%, según estudios recientes (Zhou et al., 2022), una reducción del coeficiente de drenaje de 10% puede disminuir la vida útil del pavimento en un 18-22% en condiciones de tráfico pesado. En el contexto de la vía de Olón - San Vicente, donde se prevé un incremento del 35% en el tráfico pesado para el 2035, este aspecto es particularmente crítico.

4.5. Discusión de resultados

4.5.1. Caracterización de los materiales

En esta sección se especifican los resultados sobre la caracterización de los materiales obtenidos previamente de los ensayos efectuados a las tres canteras ubicadas en la Provincia de Santa Elena. A continuación, se detallan los siguientes resultados: límites de Atterberg, humedad natural, Proctor, CBR, granulometría, clasificación y posible uso del material.

Tabla 77 Resultados para caracterización de materiales de las 3 canteras

	VILLINGOTA -VERDÚ	LA RINCONADA	SAN VICENTE DE LOJA	
LIMITE PLASTICO	13	17	19	%
LIMITE LIQUIDO	19	22	25	%
INDICE DE PLASTICIDAD	6	5	6	%
HUMEDAD NATURAL	0.82	2.49	19.27	%
CBR	78	49,2	69,6	%
DENSIDAD SECA (Yd)	2182	2167	1455	Kg/cm ³

HUMEDAD OPTIMA	5,77	11,79	20,89	%
GS	2,66	2,66	2,69	s/u
D10	0,1655	0,0619	2,04	mm
D30	4939	3,19	9,58	mm
D60	14965	12528	24,52	mm
PASANTE No.4	29,21	33,99	16,58	%
PASANTE No. 40	15,36	18,59	4,4	%
PASANTE No. 200	8,13	10,31	2,23	%
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	90,41	202,41	12,02	s/u
COEFICIENTE DE CURVATURA	9,99	13,12	1,83	s/u
CLASIFICACION SUCS	GP GC (GRAVA MAL GRADADA CON ARCILLA Y LIMO CON ARENA	GP GM (GRAVA MAL GRADADA CON LIMO CON ARENA	GRAVA BIEN GRADADA CON ARENA	
CK	10	30	40	s/u
USO	SUB BASE CLASE III	SUB BASE CLASE III	MEJORAMIENTO	

Los ensayos realizados sobre los materiales granulares permitieron identificar diferencias sustanciales en términos de calidad y desempeño mecánico

Tabla 77 Caracterización cantera San Vicente

LIMITES DE ATTERBERG				NORMA
INDICE PLASTICO	6	<9		CUMPLE
LIMITE LIQUIDO	25	<35		CUMPLE
CAPACIDAD DE SOPORTE				
CBR	69,6	>20		CUMPLE
DESGASTE MAXIMO				
ABRASION DE LOS ANGELES	31,84	<40		CUMPLE

Tabla 78 Caracterización cantera La Rinconada

LIMITES DE ATTERBERG				NORMA
INDICE PLASTICO	5	<9		CUMPLE
LIMITE LIQUIDO	22	<35		CUMPLE
CAPACIDAD DE SOPORTE				
CBR	49,2	>20		CUMPLE
DESGASTE MAXIMO				
ABRASION DE LOS ANGELES	33,1	<40		CUMPLE

Tabla 79 Caracterización cantera Villingota

LIMITES DE ATTERBERG				NORMA
INDICE PLASTICO	6	<9		CUMPLE
LIMITE LIQUIDO	19	<35		CUMPLE

CAPACIDAD DE SOPORTE			
CBR	78	>20	CUMPLE
DESGASTE MAXIMO			
ABRASION DE LOS ANGELES	27.9	<40	CUMPLE

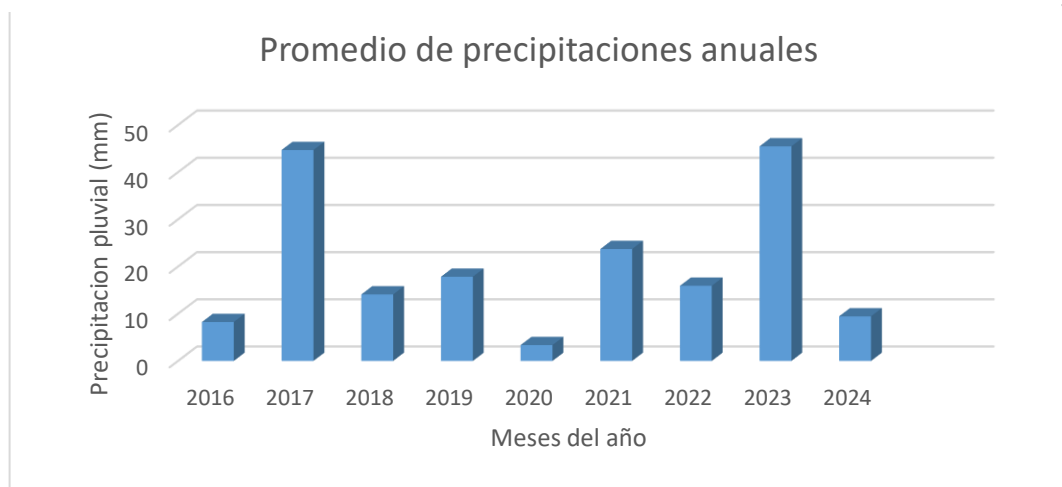
Los materiales de la cantera Villingota y La Rinconada que fueron estudiados y analizados mostraron un desempeño más adecuado para su utilización como estructura de sub base tipo III, en canto al material de la cantera San Vicente es mas recomendable tan solo como material de mejoramiento, en nuestro caso de estudio y en comparación con el material de sub base de la vía existente (tabla 73), encontramos materiales con similares características mecánicas.

4.5.2. Análisis de condiciones hidrológicas

Dado que la cuenca donde se implanta el proyecto no cuenta con estaciones hidrometeorológicas actualizadas o no existen registros, se usaron los registros de la Estación Salinas / General Ulpiano Páez, Latitud: -2.2, Longitud: -80.98333.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2016	15,23	45,97	27,43	6,86	0	0	0,51	1,01	0	0	0	2,03
2017	116,08	221,22	147,32	44,96	1,02	2,29	0,76	0,76	0	1,01	1,02	0
2018	1,02	139,2	3,04	0,25	21,08	0	0	0,25	0,51	3,3	0	0,51
2019	1,53	51,81	18,54	0,25	0	0	0	138,43	0,25	0	1,78	1,53
2020	3,04	22,36	7,71	4,57	0	0	1,01	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25
2021	9,15	1,02	199,64	4,83	10,16	0	0,25	0	0	0	59,68	0
2022	1,53	11,6	115,81	5,33	0	1,01	0,51	0,76	54,61	0	0	0
2023	1,02	172,22	141,72	204,73	13,97	0,25	5,33	0,5	0	0,25	0	5,85
2024	4,06	97,03	4,57	0	1,53	0,51	1,77	1,25	1,27	1,52	0	0
PROMEDIO	16,96	84,71	73,98	30,2	5,31	0,45	1,13	15,94	6,32	0,7	7	1,13

Ilustración 40 Promedio de precipitaciones anuales



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 41 Precipitaciones mensuales acumuladas



Determinación de las precipitaciones diarias en la zona de análisis y en los meses de mayor intensidad pluvial que se registro.

Determinación del número de días promedio de lluvias ue producen saturación según la data de análisis en la zona del proyecto

ESTACION	FEBRERO	MARZO
----------	---------	-------

842000 (SESA) GENERAL UULPIANO	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	1	8	4	2	1	0	0	3	4	1	5	0	0	0	6	2	3	0
PROMEDIO MENSUAL	3									2								
# DE DIAS > 10 mm										5								
# DIAS DEL AÑO										365								
% DE LLUVIAS										1,37 %								

El análisis estacional muestra que, durante los meses de enero a abril, el porcentaje de tiempo en saturación alcanza su máximo (85%), mientras que de julio a septiembre disminuye a solo 9.4%. Esta variabilidad estacional debe ser considerada en el diseño, ya que determina los periodos críticos de exposición a la humedad

Según los datos anteriores el porcentaje de tiempo al que estará expuesto el pavimento a niveles de saturación será del 1.37 % de acuerdo con la AASTHO.

El análisis detallado de las condiciones climáticas e hidrológicas en la zona del proyecto, específicamente en la estación Salinas / General Ulpiano Páez, permite determinar que el régimen pluviométrico está marcado por una estación lluviosa bien definida durante los meses de febrero y marzo, donde se concentra aproximadamente el 65% de la precipitación anual, con un promedio mensual que oscila entre 84.71 mm (febrero) y 73.98 mm (marzo). No obstante, el parámetro crítico para el diseño del pavimento no es el volumen total, sino la intensidad y frecuencia de los eventos de lluvia que pueden saturar la estructura.

La síntesis de este análisis, al cuantificar el número total de días con precipitaciones saturantes (≥ 10 mm) durante los meses húmedos, arroja un promedio de 5 días al año. Esto significa que la estructura del pavimento se encontrará expuesta a condiciones cercanas a la saturación aproximadamente el 1.37 % del tiempo anual de acuerdo con la metodología AASHTO.

En consecuencia, la selección del Coeficiente de Drenaje (m) para las capas granulares dependerá fundamentalmente de la calidad del sistema de drenaje que se implemente. Si se proyecta un sistema de drenaje "Bueno" como en nuestro proyecto (con bases granulares permeables y tiempos de drenaje inferiores a 2 días), adoptaremos un coeficiente m de 1.20, lo que indica que el material granular conserva el 100% de su capacidad de soporte. Sin embargo, si las condiciones constructivas o económicas llevan a un drenaje de calidad "Regular" (con tiempos de drenaje entre 2 y 7 días), el coeficiente m se reduciría, lo que implica una pérdida en la eficacia estructural de la capa granular y, por lo tanto, requeriría un aumento en el espesor de dicha capa o de las capas asfálticas superiores para compensar esta merma de capacidad.

4.5.3. Análisis y comparación de los coeficientes de drenaje

Se enfatiza que el coeficiente de drenaje es un parámetro sensible en el diseño de pavimento y no se debería escoger valores de manera conservadora como vemos en algunos proyectos, sino más bien exhortamos la realización de análisis de las condiciones hidrológicas y caracterización de los materiales de manera detallada para que no existan sobredimensionamientos en los diseños sino más bien optimizar cada recurso disponible como se demuestra en la tabla 76 donde analizando tanto la cantera Villingota o La Rinconada como sub base, obtenemos un estructura de

pavimento que satisface el Sn requerido que es de “4” dejando con un espesor de sub base de 8” y omitiendo la capa de mejoramiento por motivo de que es un espesor muy bajo.

Tabla 76 Nuevo diseño de pavimento corrigiendo el coeficiente de drenaje

CANTERA VILLINGOTA				CANTERA LA RINCONADA			
a	m	D (pulgadas)	SN recalculado	a	m	D (pulgadas)	SN recalculado
0,44	1	4	1,76	0,44	1	4	1,76
0,14	1	8	1,12	0,14	1	8	1,12
0,136	1,2	8	1.296	0,127	1,2	8	1.219
0,085	1,15	-	-	0,085	1,15	-	-
SN calculado =			4.176	SN calculado =			4,10

CAPITULO V: Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Con respecto al objetivo uno a cerca de la caracterización de los materiales extraídos de las canteras de Villingota, La Rinconada y San Vicente, nos permitió identificar las diferencias más relevantes en su comportamiento físico, mecánico e hidráulico. Si bien los tres cumplen con los requisitos básicos para sub-base, la cantera Villingota se destacó por su equilibrio entre capacidad de soporte, estabilidad ante la humedad y buena permeabilidad. Por otro lado, La Rinconada mostró un excelente desempeño estructural y volumétrico, pero solo cumple para material de sub base a menos de realizar una mezcla con material de una cantera cercana intentando mejorar sus propiedades mecánicas, lo cual podría comprometer su uso si no se controlan adecuadamente las condiciones de humedad y condiciones ambientales como ya se ha tratado en este documento. San Vicente, aunque cumple

con los parámetros óptimos para un mejoramiento, mostró limitaciones en cuanto a su comportamiento con el agua, esto debido a que presentaba un contenido de humedad natural alto y su humedad para alcanzar el máximo grado de compactación lo era aún mucho más, por lo que su aplicación debe ser más cuidadosa.

En relación al objetivo dos sobre el análisis de las condiciones hidrológicas del sitio en la vía de ingreso a San Vicente confirmamos que constituyen el marco determinante que condiciona de forma inexorable al diseño, la longevidad de cualquier estructura de pavimento. La incidencia de la lluvia, no solo en su volumen anual sino en su intensidad y distribución estacional, dicta la agresividad potencial del agua, y es el principal agente de deterioro, al saturar la subrasante y las capas granulares, lo que provoca una drástica reducción de su capacidad de soporte y acelera los fenómenos de fatiga y deformación permanente. Frente a esta realidad, y los resultados encontrados en este estudio, debemos incorporar de manera prioritaria sistemas de drenajes adecuados, desde capas drenantes internas hasta cunetas y alcantarillas que aseguren la rápida evacuación de los flujos superficiales y subsuperficiales, transformando así un medio hostil en uno controlado.

Y en afinidad al último objetivo, la comparación entre el material de cantera y el utilizado en la vía permitió establecer con claridad que el desempeño hidráulico no solo depende de la calidad del suelo, sino también de las condiciones de ejecución y operación. Aunque ambos materiales presentan características similares, el comportamiento en campo se ve afectado por factores externos. El coeficiente de drenaje se consolidó como un parámetro sensible, cuya correcta

estimación puede optimizar el diseño del pavimento y prevenir deterioros prematuro, esto se traduce directamente en una estructura de pavimento más delgada, eficiente y rentable a largo plazo, al mitigar el principal agente de deterioro: el agua.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda utilizar materiales granulares que presenten un equilibrio adecuado entre resistencia, baja plasticidad y buen comportamiento hidráulico, como el de la cantera Villingota pero por motivos de ubicación y transporte, el material de la cantera más conveniente sería el de la cantera La Rinconada, dado que está situada a 15 km del inicio de la vía, a pesar que la cantera San Vicente se origina a menos distancia pero por asunto de la granulometría y el coeficiente de drenaje menor al de las otras dos canteras es preferible el uso como material de mejoramiento. Para futuras obras, se sugiere implementar una ficha técnica estandarizada por cantera, que contenga resultados actualizados de ensayos de laboratorio, lo que permitirá tomar decisiones más informadas y seguras. Asimismo, se debería considerar complementar los ensayos tradicionales con pruebas de durabilidad a largo plazo, especialmente en zonas de alta humedad o tránsito frecuente.

Dado que la eficiencia del drenaje se vio reducida en campo, se recomienda reforzar o implementar sistemas de drenaje eficientes en la vía de ingreso a San Vicente. Esto incluye cunetas, drenes laterales o capas filtrantes que ayuden a evacuar el exceso de humedad. Es fundamental realizar controles de humedad durante la construcción y promover mantenimientos periódicos para preservar las condiciones del material granular. Además, se sugiere repetir los ensayos en

distintas estaciones del año para evaluar el impacto estacional sobre la saturación y el drenaje.

Se recomienda incorporar de manera obligatoria en el diseño estructural de pavimentos el análisis del coeficiente de drenaje (m) a la par de la medición del correcto coeficiente de permeabilidad (k) mediante el ensayo de carga constante según la normativa ASTM D 2434 que nos permite calcular este parámetro primordial de los distintos materiales que serán implementados, Para lograrlo un buen diseño, es necesario capacitar a los equipos técnicos en la estimación, cálculo y ajuste de m , además fomentar el monitoreo posterior a la construcción para validar su comportamiento en servicio. Finalmente, se sugiere replicar este estudio en otras vías de la provincia para generar una base de datos regional que respalde decisiones futuras en infraestructura vial.

Se recomienda no subestimar la acción del agua en la estructura del pavimento debido a conduce invariablemente a fallas prematuras, tales como ahuellamientos, grietas, bombeo de finos y pérdida de soporte estructural. Estas patologías, más allá de ser un problema de mantenimiento, son la consecuencia directa de un diseño que no consideró la dinámica hídrica del terreno y condiciones pluviométricas. Se ha comprobado que un coeficiente de drenaje “ m ” del actual pavimento fue calculado de forma conservadora. Un sistema de drenaje mal diseñado o un análisis hídrico que subestime los valores que pueda saturar las capas granulares, podría transformar una estructura rígida en una plataforma inestable y susceptible al fallo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amirkhanian, S. N., Kaczmarek, D., & Burati, J. L. (1991). Effects of Los Angeles Abrasion Test Values on the Strengths of Laboratory-Prepared Marshall Specimens. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*.
- Aashto. (1993). *Design of pavement structures*.
- Botía Diaz, W. Á. (2015). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO*. [UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA].
<https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/433c4e77-8e73-440d-911f-ef67f23ec10c/content>
- Bouchedid, M. B., & Humphrey, D. N. (1936). Permeability of Base Material for Maine Roads. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- Canaza Canaza, J. U. (2020). *Evaluación de las propiedades de los materiales de base y sub base para pavimentos del distrito de José Luis Bustamante y Rivero*. UniversidadContinental.
- Castaño Martínez, F. L., Herrera Betín, J. M., Gómez Sáenz, J. N., & Reyes Lizcano, F. (2009). Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C. *Pontificia Universidad Javeriana*.

- Cedergren, H. (1988). Why all important pavements should be well drained. *Transportation Research Record*, 56–61. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1988/1188/1188-006>
- Connelly, J., Jensen, W., & Harmon, P. (2008). *Proctor Compaction Testing*. <http://digitalcommons.unl.edu/ndor/31>
- Corapi, P., & Nuñez Neira, N. S. (2022). Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(4), 44–68. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.974>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Diseño y desarrollo de estudios de investigación con métodos mixtos (3.^a ed.). . *Pearson Educación*.
- Cuervo Cuervo, S. (2018). *Pavimentos: análisis de la influencia de su selección al hacer ciudad*. [Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. Arquitectura (UPM)]. <https://oa.upm.es/50279/1>
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Séptima edición*.
- FHWA. (1980). *Highway Subdrainage Design*.
- GADSE. (2023). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL*.
- García Garizábal, I., Romero, P., Jiménez, S., & Jordá, L. (2017). Evolución climática en la costa de Ecuador por efecto del cambio climático. *DYNA*, 84(203), 37–44. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.59600>
- Garnica Anguas, P., Gómez López. José Antonio, & Sesma Martínez, J. A. (2002). *Mecánica de materiales para pavimentos*. <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt197.pdf>

GEOPORTALIGM. (2012a). *GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL - GEOMORFOLOGÍA.*

GEOPORTALIGM. (2012b). *GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1:25.000 - CLIMA E HIDROLOGÍA.*

Gomez Morales, J. A. (2023). *ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES ENTRE EL CBR, DCP, LAS PROPIEDADES ÍNDICES Y MECÁNICAS EN LOS SUELOS DE LA PARROQUIA ANGAMARCA, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI.* UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

González Mayorga, W. F. (2017). *Análisis de sensibilidad en el diseño de un pavimento flexible a partir del coeficiente de drenaje.* [Especialización en Ingeniería de Pavimentos , Universidad Militar Nueva Granada].
<http://hdl.handle.net/10654/17094>

Grau Sacoto, C. A. (2014). *EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO DE LA VÍA PERIMETRAL, TRAMO TERCER PUENTE – DESVÍO PROSPERINA, EN FUNCIÓN DE SU SERVICIABILIDAD Y CAPACIDAD ESTRUCTURAL PARA DETERMINAR EL MANTENIMIENTO ADECUADO.* UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL.

Gutiérrez Graf, F. (2004). *Rediseño geométrico del distribuidor vial de la UDLA-P en la ruta Quetzalcóatl.* [Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla.].
https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/gutierrez_g_f

- Gutiérrez Rodríguez, W. Á. (2023a). Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 6908–6927. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5834
- Gutiérrez Rodríguez, W. Á. (2023b). Vista de Análisis comparativo de las técnicas de laboratorio para determinar los límites de Atterberg en suelos de la ciudad de Oruro – Bolivia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7 (4), 7289–7293. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7475
- Hernández Castañeda, O., & Mendoza Escobedo, C. J. (2006). Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 7 (1), 57–70. <https://www.redalyc.org/pdf/404/40470105>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). . *McGraw-Hill Education*.
- Jiménez Acuña, M., & Leiva Villacorta Fabricio. (2004). *CARACTERIZACIÓN MECANÍSTICA DE MATERIALES GRANULARES PARA PAVIMENTOS*.
- Londoño N, C. A. (1999). *SUBRASANTES Y SUBBASES PARA PAVIMENTOS CONCRETO*.
- López, A., Mayacela, M., Chérrez, D., Aldas, E., & Contreras, L. F. (2023). Comparison of Physical and Mechanical Properties of Stone Aggregates and Their Use in the Structure of a Flexible Pavement, from Mines in Ecuador. *Buildings*, 13(1632), 1–26. <https://doi.org/10.3390/buildings13071632>
- Martines, E., & Lira, L. (2010). ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LAS EXPRESIONES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN SÓLIDOS.

<https://www.cenam.mx/Sm2010/Info/Pviernes>, 1.

<https://www.cenam.mx/sm2010/>

MTINV. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*.

Mullaney, J., & Lucke, T. (2014). Practical review of pervious pavement designs. In *Clean - Soil, Air, Water* (Vol. 42, Issue 2, pp. 111–124).

<https://doi.org/10.1002/clen.201300118>

Nateros Enriquez, K. R. (2023). *Determinación de coeficientes de diseño para el cálculo del espesor de sustitución de subrasante*. [Universidad Peruana Los Andes].

<https://hdl.handle.net/20.500.12848/6111>

Navarrete, M., Martínez Molina, W., Alonso-Guzmán, E. M., Lara-Gómez, C., Bedolla-Arroyo, J. A., Barrera Chávez, H., Jerez Delgado, D., & Colamarco Arteaga, J. G. (2013). Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura. *Revista ALCONPAT*, 3 (2), 119–139.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21041/ra.v3 i2.49>

NEVI-12-MTOP. (2013). *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE*.

Núñez Del Arco, E. (2003). *GEOLOGÍA DEL ECUADOR*.

Ordoñez, M. (2020). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL MEJORAMIENTO URBANO EN VARIOS SECTORES DE LA AV. UNIVERSITARIA DE LA CIUDAD DE BABAHOYO*.

<https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras>

Ponce de León, D., Macías Socarrás, I., Cortéz Pozo, E. D. R., & García Ortega, Y. (2023). Factores naturales y antrópicos que influyen en la distribución de

carbonatos pedogénicos en la península de Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5 (7), 43–57.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:265594565>

Reynoso Oscanoa, J. (2021). *Relación entre la calidad de drenaje de la subbase y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93*. [Universidad Peruana Los Andes].
<https://hdl.handle.net/20.500.12848/2129>

Ríos Rodríguez, J. H., & Caro Guitierrez, D. G. (2019). *DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE VÍA TERCIARIA DEL MUNICIPIO DEL GUAMO TOLIMA DESDE EL BARRIO IFA HACIA GUAMO CHICORAL HASTA LA “Y” CRUCE HACIA LOMA DE LUISA*. UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA.

Rokade, S., Agarwal, P. K., & Shrivastava, R. (2012). DRAINAGE AND FLEXIBLE PAVEMENT PERFORMANCE. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*.

Romero, I. M. (2007). *EL PAVIMENTO MUSIVO COMO ELEMENTO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL ESPACIO DOMÉSTICO*.

Sabino, C. (1996). El proceso de investigación. . *Editorial Panapo*.

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2014). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (5.^a ed.). . *McGraw-Hill Interamericana*.

Sanchez Sabogal, F. (2002). CONSIDERACIONES SOBRE EL DRENAJE EN LOS PAVIMENTOS. In *CursoBasicoDeDiseñoDePavimentos*.

Saucedo Vidal, A. (2010). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del Valle de México*. [Universidad Nacional

Autónoma de México (UNAM)].

<http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/529>

Sornoza Jordan, L. D., & Tomalá Tomalá, M. C. (2023). *Evaluación de la susceptibilidad a la humedad en materiales granulares estabilizados con cemento en Santa Elena*. [Universidad Estatal Península de Santa Elena].
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10573>

Surita Gil, L. E., Fernández Huamán, R. I., & Chahuares Paucar, L. (2023). Aporte estructural de capa base granular estabilizada con cemento Portland tipo I versus emulsión asfáltica catiónica para vías urbanas. *Gaceta Técnica*, 24(2), 4–22.
<https://doi.org/10.51372/GACETATECNICA242.2>

Teófilo Salvador, E., Morales Reyes, G. P., Muciño Castañeda, R., & Esteller Alberich, M. V. (2019). Experimentación reducida-controlada in situ del deslizamiento de suelo por efecto de flujo subsuperficial de agua. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20 (3), 1–12.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n3.026>

Terán Molina, L. A. (2015). *Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados de la mina Cashapamba con metodología Marshall* [UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR].
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2208>

Thenoux Zeballos, G., & Gaete, R. (2024). Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico. *Revista Ingeniería de Construcción*, 14(No. 14 (1995)), 56–72.
<https://revistaingenieriaconstruccion.uc.cl/index.php/ric/article/view/17533>

Torres, M. (2024). *El drenaje, como variable del diseño de pavimentos*.

<https://ingmariantorres.com/el-drenaje-como-variable-del-diseno-de-pavimentos/>

Ulloa Calderón, A., & Múnera Miranda, J. C. (2020). *Guía de diseño para materiales estabilizados con asfalto*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR).

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2063>

White, D. J., Vennapusa, P., & Jahren, C. T. (2004). *DETERMINATION OF THE OPTIMUM BASE CHARACTERISTICS FOR PAVEMENTS*.

Zhang, S., Pei, J., Li, R., Wen, Y., & Zhang, J. (2020). Investigation on comparison of morphological characteristics of various coarse aggregates before and after abrasion test. *Materials*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/ma13020492>

ANEXOS

ENSAYOS PROCTOR



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



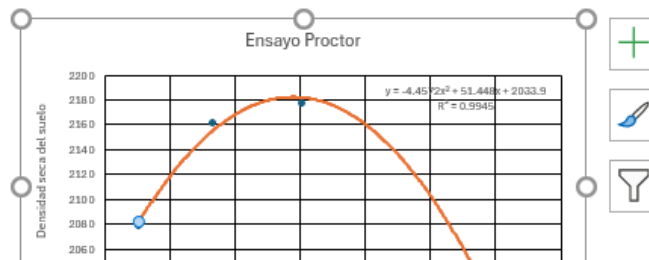
TEMA:	"EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE EN MATERIALES GRANULARES EN 3 CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO"
TUTOR:	ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, Msc.
TESISTAS:	KATHYA AZUCENA MÉNDEZ ROCA , SHEILLY NAHOMY MARÍN PALTIN

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Vertical (Value) Axis Major Gridlines SAYO PROCTOR NORMA ASTM D-1557

UBICACIÓN	VILLINGOTA			COORDENADAS	NORTE	552776
CALICATA:	1	MUESTRA:	1	ESTE		9738730

MOLDE	D
MASA DEL CILINDRO (P7) (g)	6.214
VOLUMEN DEL CILINDRO (V) (cm ³)	2.09513
TIPO DEL ENSAYO	Modificado

PUNTO #	DATOS DEL ENSAYO											
	1		2		3		4		5		6	
Material para ensayo	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino
RECIPIENTE #	M		T		5		1					
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1) (g)	307.5		297.3		327.7		361.4					
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2) (g)	304.7		290		312.1		327.8					
MASA DE AGUA (P3= P1- P2) (g)	2.8		7.3		15.6		33.6					
MASA DE RECIPIENTE (P4) (g)	32		51		54		34					
MASA DE MUESTRA SECA (P5= P2 - P4) (g)	272.7		239		258.1		293.8					
% DE HUMEDAD (W = P3 ÷ P5 × 100) (%)	1.03		3.31		6.04		11.44					
% DE HUMEDAD PROMEDIO	1.03		3.31		6.04		11.44					
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	TN		150		300		500					
MASA DE CILINDRO + SUELO HÚMEDO (P6) (Kg)	10.615		10.893		11.052		10.377					
MASA DE SUELO HÚMEDO (P8 = P6 - P7) (KG)	4401		4679		4838		4763					
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (Dh = P8 ÷ V) (Kg/cm ³)	2100.59		2233.27		2303.16		2273.37					
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds = Dh ÷ (1 + W)) (Kg/cm ³)	2073.24		2161.82		2177.55		2040.06					



DENSIDAD SECA MAXIMA

2178.54

% DE HUMEDAD OPTIMA

5.77



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



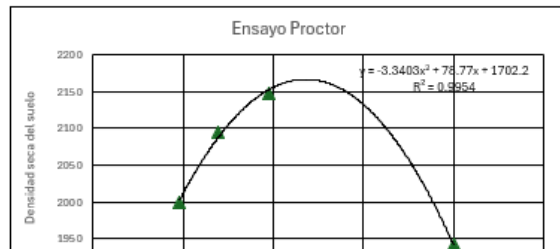
TEMA:	"EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE EN MATERIALES GRANULARES EN 3 CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO"
TUTOR:	ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, Msc.
TESISTAS:	JEZ ROCA , SHEILLY NAHOMY MARÍN PALTIN

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD OPTIMA PARA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS, ENSAYO PROCTOR NORMA ASTM D-1557

UBICACIÓN	LA RINCONADA			COORDENADAS	NORTE	9811696
CALICATA:	1	MUESTRA:	1		ESTE	522815

MOLDE	D
MASA DEL CILINDRO (P7) (g)	6.214
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	0.0020951
TIPO DEL ENSAYO	Modificada

PUNTO #	DATOS DEL ENSAYO											
	1		2		3		4		5		6	
Material para ensayo	Groeso	Fino	Groeso	Fino	Groeso	Fino	Groeso	Fino	Groeso	Fino	Groeso	Fino
RECIPIENTE #	Y1		H		C		AE					
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1) (g)	240.3		235.8		190.5		256.5					
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	230.8		278		175.3		217.1					
MASA DE AGUA (P3= P1- P2) (g)	10.1		17.8		15.2		39.4					
MASA DE RECIPIENTE (P4) (g)	20		20		19		20					
MASA DE MUESTRA SECA (P5= P2 - P4) (g)	210.8		258		156.3		197.1					
% DE HUMEDAD (W = P3 ÷ P5 × 100)	4.79		6.90		9.72		19.99					
% DE HUMEDAD PROMEDIO	4.79		6.90		9.72		19.99					
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	TN		150		300		500					
MASA DE CILINDRO + SUELO HÚMEDO (P6) (Kg)	10.602		10.307		11.151		11.097					
MASA DE SUELO HÚMEDO (P8 = P6 - P7) (KG)	4388		4693		4337		4883					
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (Dh = P8 ÷ V)	2094.38		2233.96		2356.42		2330.64					
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds = Dh ÷ (1 + W)	1998.62		2095.39		2147.57		1942.37					



DENSIDAD SECA MAXIMA
2166.58

% DE HUMEDAD OPTIMA
11.73



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



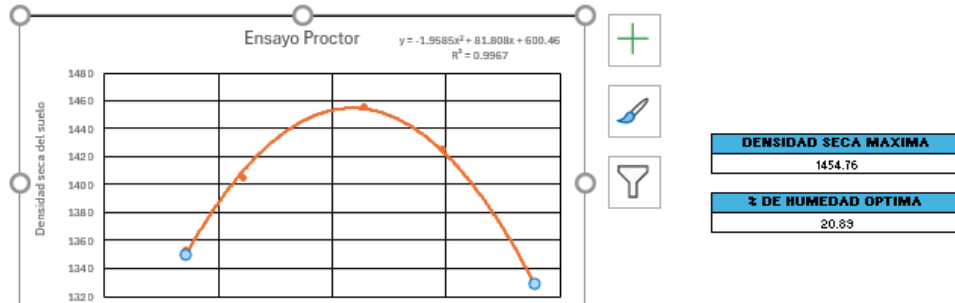
TEMA:	"EVALUACIÓN DE COEFICIENTES DE DRENAJE EN MATERIALES GRANULARES EN 3 CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO"
TUTOR:	ING. DANIEL ROSENDO CAMPOYERDE CAMPOYERDE, M.Sc.
TESISTAS:	KATHYA AZUCENA MÉNDEZ ROCA , SHEILLY NAHOMY MARÍN PALTIN

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD ÓPTIMA PARA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS, ENSAYO PROCTOR NORMA ASTM D-1557

UBICACIÓN	SAN VICENTE de Iloja			COORDENADAS	NORTE	9804032
CALICATA:	1	MUESTRA:	1	ESTE		532897

MOLDE	D
MASA DEL CILINDRO (P7) (g)	5.372
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	0.0021279
TIPO DEL ENSAYO	Modificado

DATOS DEL ENSAYO												
PUNTO #	1		2		3		4		5		6	
Material para ensayo	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino
RECIPIENTE #	Q		X		M		F		N			
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1) (g)	236.8		226.3		236.6		235.2		236.2			
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2) (g)	215.2		200		200.5		247.2		237.2			
MASA DE AGUA (P3= P1- P2) (g)	21.6		26.3		36.1		48		59			
MASA DE RECIPIENTE (P4) (g)	56		33		32		54		33			
MASA DE MUESTRA SECA (P5= P2 - P4) (g)	159.2		167		168.5		193.2		204.2			
% DE HUMEDAD (W = P3 ÷ P5 × 100)	13.57		16.11		21.42		24.84		28.89			
% DE HUMEDAD PROMEDIO	13.57		16.11		21.42		24.84		28.89			
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	TN		200		400		600		800			
MASA DE CILINDRO + SUELO HÚMEDO (P6) (Kg)	8.641		8.844		9.134		9.158		9.015			
MASA DE SUELO HÚMEDO (P8 = P6 - P7) (KG)	3269		3472		3762		3786		3.643			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (Dh = P8 ÷ V)	1536.24		1631.64		1767.92		1779.20		1712.00			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds = Dh ÷ (1 + W)	1352.71		1405.28		1455.99		1425.13		1328.23			



ENSAYO CBR

VILLINGOTA			PROFUNDIDAD: 1 m	
INFORME DE RESULTADOS: C.B.R · DENSIDADES NORMA ASTM D-1883				
MOLDE N°	XX	1	4	PESO DEL MARTILLO: 10.00 Lb ALTURA DEL MARTILLO: 18.00"
PESO MOLDE	6552	6453	5946	
VOLUMEN MOLDE cm ³	2336.2	2367.35	2348.79	
No DE GOLPES CAPA:	12	25	56	

N° de ensayo:	1	2	3
---------------	---	---	---

ANTES DE LA INMERSION				
No DE GOLPES CAPA:		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa
HUMEDAD	N° recipiente	N	X	O
	Wh + r	288.65	332.45	335.87
	Ws + r	273.47	315.38	318.66
	Ww	15.18	17.07	17.21
	r	32.25	32.62	33.56
	Ws	241.22	282.76	285.1
	w (%)	6.29	6.04	6.04
MOLDE NUMERO		XII	2	1
Molde + suelo humedo (P)		11670	11840	11500
Molde		6552	6453	5946
Suelo humedo (W)		5118	5387	5554
Suelo seco (Ws)		4814.99	5080.31	5237.82
Contenido de agua (w)		6.29	6.04	6.04
Densidad humeda (H)		2.19	2.28	2.36
Densidad seca (S)		2.06	2.15	2.23

DESPUES DE LA INMERSION							
	N° recipiente	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
	C9	H8	C12	G8	C10	C8	
	Wh + r	117.68	127.07	129.77	142.22	137.87	120.95
	Ws + r	107.17	116.07	127.64	114.62	125.42	110.01
	Ww	10.51	11	2.13	27.6	12.45	10.94
	r	17.87	16.52	16.8	17.01	18.39	16.95
	Ws	89.3	99.55	110.84	97.61	107.03	93.06
	w (%)	11.77	11.05	1.92	28.28	11.63	11.76
Promedio w (%)		11.41		15.10		11.69	
Molde + suelo humedo (P)		11860		12070		11620	
Molde		6552		6453		5946	
Suelo humedo (W)		5308		5617		5674	
Suelo seco (Ws)		4764.40		4880.16		5079.95	
Contenido de agua (w)		11.41		15.10		11.69	
Densidad humeda (H)		2.27		2.37		2.42	
Densidad seca (S)		2.04		2.06		2.16	

HINCHAMIENTO			
Lectura inicial	0.52	0.5	0.39
24 horas	0.54	0.53	0.42
48 horas	0.55	0.54	0.44
72 horas	0.56	0.55	0.45
HINCHAMIENTO %	0.80	1.00	1.20

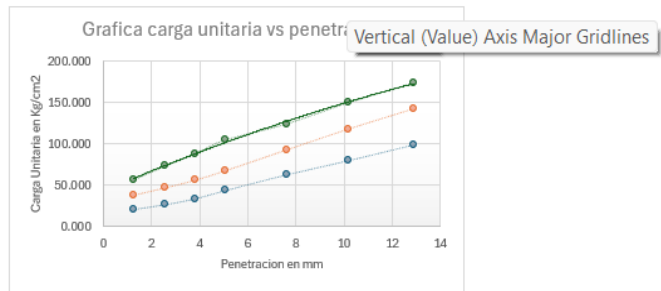
PENETRACION						
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
	CARGA DE PENETRACION EN LB			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1,27mm (0,05")	881.54	1635.48	2432.98	400.70	743.40	1105.90
2,54mm (0,10")	1116.72	2000.46	3116.08	507.60	909.30	1416.40
3,81mm (0,15")	1422.96	2402.84	3774.54	646.80	1092.20	1715.70
5,08mm (0,20")	1848.88	2887.72	4473.92	840.40	1312.60	2033.60
7,62mm (0,30")	2667.06	3966.60	5316.30	1212.30	1803.00	2416.50
10,16mm (0,40")	3391.52	5025.90	6406.18	1541.60	2284.50	2911.90
12,70mm (0,50")	4208.82	6070.02	7419.06	1913.10	2759.10	3372.30

PENETRACION						
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
	CARGA DE PENETRACION EN LB			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1,27mm (0,05")	881.54	1635.48	2432.98	400.70	743.40	1105.90
2,54mm (0,10")	1116.72	2000.46	3116.08	507.60	909.30	1416.40
3,81mm (0,15")	1422.96	2402.84	3774.54	646.80	1092.20	1715.70
5,08mm (0,20")	1848.88	2887.72	4473.92	840.40	1312.60	2033.60
7,62mm (0,30")	2667.06	3966.60	5316.30	1212.30	1803.00	2416.50
10,16mm (0,40")	3391.52	5025.90	6406.18	1541.60	2284.50	2911.90
12,70mm (0,50")	4208.82	6070.02	7419.06	1913.10	2759.10	3372.30

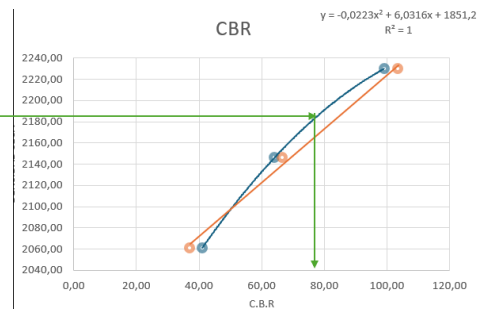
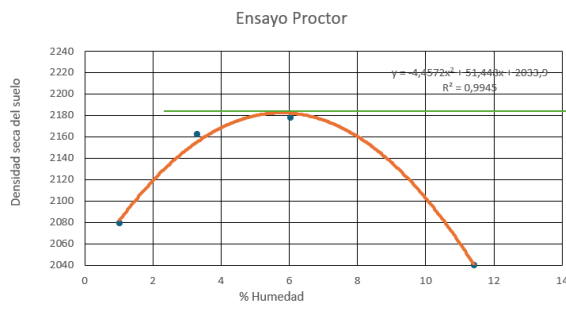
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /N°	CARGA DE PENETRACION EN Lb/pulg2			CARGA DE PENETRACION EN Kg/cm2		
1.27 mm (0.05")	293.85	545.16	810.99	20.660	38.329	57.019
2.54 mm (0.10")	372.24	666.82	1038.69	26.171	46.883	73.028
3.81 mm (0.15")	474.32	800.95	1258.18	33.348	56.313	88.460
5.06 mm (0.20")	616.29	962.57	1491.31	43.330	67.676	104.850
7.62 mm (0.30")	889.02	1322.20	1772.10	62.505	92.961	124.592
10.16 mm (0.40")	1130.51	1675.30	2135.39	79.483	117.786	150.135
12.87 mm (0.50")	1402.94	2023.34	2473.02	98.637	142.256	173.872

N° de Golpes	Esfuerzo de penetracion	
	0.1 pulg	0.2 pulg
12	26.171	43.330
25	46.883	67.676
56	73.028	104.850

C.B.R	%	
	12	37.15
25	66.54	64.04
56	103.65	99.21



C.B.R	%	41.00	64.04	99.21
Densidad seca	γ _S	2061.04	2145.99	2230.01



LA RINCONADA	PROFUNDIDAD: 1 m
INFORME DE RESULTADOS: C.B.R · DENSIDADES NORMA ASTM D-1883	

MOLDE N°	XVII	XVIII	6	PESO DEL MARTILLO: 10.00 Lb ALTURA DEL MARTILLO: 18.00 "
PESO MOLDE	6009	6453	5946	
VOLUMEN MOLDE cm3	2350.6	2367.35	2348.79	
No DE GOLPES CAPA:	12	25	56	

N° de ensayo:	1	2	3
---------------	---	---	---

ANTES DE LA INMERSION				
No DE GOLPES CAPA:	12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa	
HUMEDAD	N° recipiente	Q	IE	F
	Wh + r	374.57	252.32	331.8
	Ws + r	353.64	235.81	313.49
	Ww	20.93	16.51	18.31
	r	55.94	33.34	54.18
	Ws	297.7	202.47	259.31
	w (%)	7.03	8.15	7.06
MOLDE NUMERO	XIX	2	1	
Molde + suelo humedo (P)	11150	11900	11650	
Molde	6009	6453	5946	
Suelo humedo (W)	5141	5447	5704	
Suelo seco (Ws)	4803.30	5036.32	5327.80	
Contenido de agua (w)	7.03	8.15	7.06	
Densidad humeda (H)	2.19	2.30	2.43	
Densidad seca (S)	2.04	2.13	2.27	

DESPUES DE LA INMERSION							
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
	N° recipiente	C11	Q2	XI	C12	Y1	C5
	Wh + r	119.96	125.31	121.37	139.42	117.68	134.48
	Ws + r	108.65	112.95	109.96	125.87	106.32	121.68
	Ww	11.31	12.36	11.41	13.55	11.36	12.8
	r	18.39	16.51	16.65	18.16	16.32	16.87
	Ws	90.26	96.44	93.31	107.71	90	104.81
	w (%)	12.53	12.82	12.23	12.58	12.62	12.21
	Promedio w (%)	12.67		12.40		12.42	
	Molde + suelo humedo (P)	11390		12040		11740	
	Molde	6009		6453		5946	
	Suelo humedo (W)	5381		5587		5794	
	Suelo seco (Ws)	4775.75		4970.46		5154.01	
	Contenido de agua (w)	12.67		12.40		12.42	
	Densidad humeda (H)	2.29		2.36		2.47	
	Densidad seca (S)	2.03		2.10		2.19	

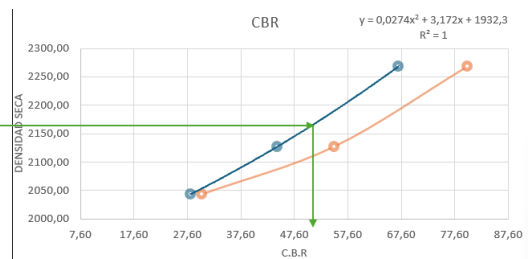
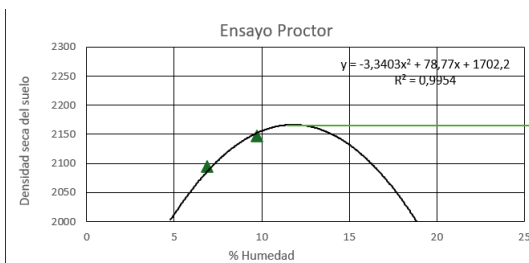
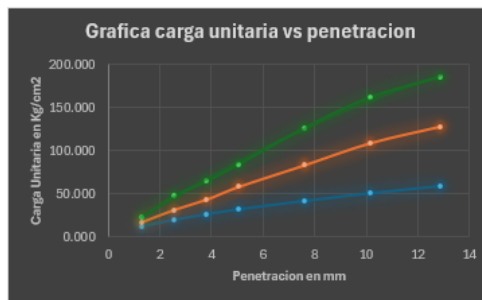
HINCHAMIENTO				
Lectura inicial		0.59	0.58	0.6
24 horas		0.62	0.6	0.61
48 horas		0.62	0.6	0.61
72 horas		0.62	0.6	0.61
HINCHAMIENTO	%	0.60	0.40	0.20

PENETRACION						
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
	CARGA DE PENETRACION EN LB			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1,27mm (0,05")	507.32	716.76	982.96	230.60	325.80	446.80
2,54mm (0,10")	847.44	1336.50	2016.74	385.20	607.50	916.70
3,81mm (0,15")	1124.42	1851.08	2762.32	511.10	841.40	1255.60
5,08mm (0,20")	1368.84	2483.58	3603.60	622.20	1128.90	1638.00
7,62mm (0,30")	1785.52	3558.50	5402.32	811.60	1617.50	2455.60
10,16mm (0,40")	2168.76	4649.48	6916.36	985.80	2113.40	3143.80
12,70mm (0,50")	2525.38	5466.34	7906.14	1147.90	2484.70	3593.70

NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /N°	CARGA DE PENETRACION EN Lb/pulg2			CARGA DE PENETRACION EN Kg/cm2		
1.27 mm (0.05")	169.11	238.92	327.65	11.889	16.798	23.037
2.54 mm (0.10")	282.48	445.50	672.25	19.861	31.322	47.264
3.81 mm (0.15")	374.81	617.03	920.77	26.352	43.382	64.737
5.06 mm (0.20")	456.28	827.86	1201.20	32.080	58.205	84.454
7.62 mm (0.30")	595.17	1186.17	1800.77	41.845	83.397	126.608
10.16 mm (0.40")	722.92	1549.83	2305.45	50.827	108.965	162.091
12.87 mm (0.50")	841.79	1822.11	2635.38	59.185	128.109	185.287

N° de Golpes	Esfuerzo de penetracion	
	0.1 pulg	0.2 pulg
12	19.861	32.080
25	31.322	58.205
56	47.264	84.454

C.B.R	%	
12	28.19	30.36
25	44.46	55.08
56	67.08	79.91



SAN VICENTE	PROFUNDIDAD: 1 m
INFORME DE RESULTADOS: C.B.R · DENSIDADES NORMA ASTM D-1883	

MOLDE N°	XX	XIX	5	PESO DEL MARTILLO: 10.00 Lb ALTURA DEL MARTILLO: 18.00 "
PESO MOLDE	6631	6553	6719	
VOLUMEN MOLDE cm³	2363	2369.18	2351.88	
No DE GOLPES CAPA:	12	25	56	

N° de ensayo:	1	2	3
---------------	---	---	---

ANTES DE LA INMERSION				
No DE GOLPES CAPA:		12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa
HUMEDAD	N° recipiente	A	G	M
	Wh + r	243.36	261.37	229.23
	Ws + r	209.43	228.8	196.74
	Ww	33.93	32.57	32.49
	r	34.39	54.18	32.12
	Ws	175.04	174.62	164.62
	w (%)	19.38	18.65	19.74
MOLDE NUMERO		4	5	6
Molde + suelo humedo (P)		10510	10520	10890
Molde		6631	6553	6719
Suelo humedo (W)		3879	3967	4171
Suelo seco (Ws)		3249.18	3343.39	3483.49
Contenido de agua (w)		19.38	18.65	19.74
Densidad humeda (H)		1.64	1.67	1.77
Densidad seca (S)		1.38	1.41	1.48

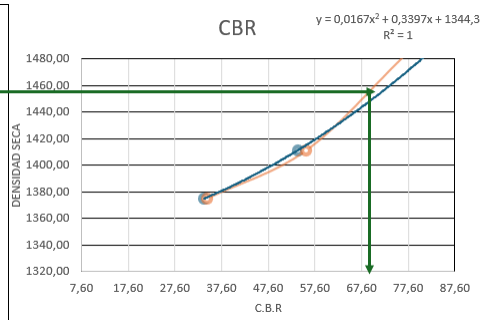
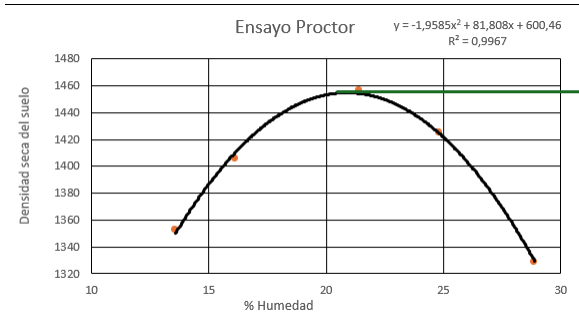
DESPUES DE LA INMERSION							
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
	N° recipiente	Q1	C9	R3	C10	T2	C6
	Wh + r	90.85	113.19	91.82	107.29	88.67	107.71
	Ws + r	75.12	92.63	75.96	88.36	73.71	89.56
	Ww	15.73	20.56	15.86	18.93	14.96	18.15
	r	16.83	17.62	16.83	16.8	17.12	18.17
	Ws	58.29	75.01	59.13	71.56	56.59	71.39
	w (%)	26.99	27.41	26.82	26.45	26.44	25.42
Promedio w (%)		27.20		26.64		25.93	
Molde + suelo humedo (P)		10750		10750		11060	
Molde		6631		6553		6719	
Suelo humedo (W)		4119		4197		4341	
Suelo seco (Ws)		3238.27		3314.18		3447.16	
Contenido de agua (w)		27.20		26.64		25.93	
Densidad humeda (H)		1.74		1.77		1.85	
Densidad seca (S)		1.37		1.40		1.47	

25

HINCHAMIENTO			
Lectura inicial	1.95	0.86	0.55
24 horas			
48 horas			
72 horas	2.02	0.95	0.66
HINCHAMIENTO	%	1.40	1.80
			2.20

PENETRACION						
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
	CARGA DE PENETRACION EN LB			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1,27mm (0,05")	606.98	947.98	1674.42	275.90	430.90	761.10
2,54mm (0,10")	1017.94	1619.64	2430.34	462.70	736.20	1104.70
3,81mm (0,15")	1303.28	2115.08	2976.60	592.40	961.40	1353.00
5,08mm (0,20")	1552.76	2513.06	3446.96	705.80	1142.30	1566.80
7,62mm (0,30")	1956.02	3092.98	4173.84	889.10	1405.90	1897.20
10,16mm (0,40")	2285.36	3527.70	4821.52	1038.80	1603.50	2191.60
12,70mm (0,50")	2594.46	3884.54	5254.70	1179.30	1765.70	2388.50

NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	1	2	3
	CARGA DE PENETRACION EN Lb/pulg²			CARGA DE PENETRACION EN Kg/cm²		
Tamiz ASTM Abertura /N°						
1.27 mm (0.05")	202.33	315.99	558.14	14.225	22.217	39.242
2.54 mm (0.10")	339.31	539.88	810.11	23.856	37.958	56.957
3.81 mm (0.15")	434.43	705.03	992.20	30.544	49.569	69.759
5.06 mm (0.20")	517.59	837.69	1148.99	36.390	58.896	80.783
7.62 mm (0.30")	652.01	1030.99	1391.28	45.841	72.487	97.818
10.16 mm (0.40")	761.79	1175.90	1607.17	53.559	82.675	112.997
12.87 mm (0.50")	864.82	1294.85	1751.57	60.803	91.038	123.149



ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

UBICACION			LA RINCONADA			COORDENADAS		
CALICATA: 1			MUESTRA: 1					
Parámetro	Valor	Unidad	Lecturas	Valor	Unidad	CALCULOS		
Peso del material seco	2500	gr	0-15 seg	130	ml	HUMEDAD	9,74	%
Volumen de agua inicial	210	ml	15-30 seg	150	ml	AREA (d=10cm)	78,54	cm ²
Peso del recipiente de humedad (JL)	16,57	gr	60	185	ml	Q	185	cm ³
Peso húmedo de muestra extraída	107,85	gr				h (Carga hidráulica porm.)	150,17	cm
Peso seco de muestra extraída	99,75	gr				t	60	s
Peso del molde con muestra	5204	gr				k	0,004447	cm/s
Longitud de la muestra	17,01	cm						
Altura 1	153	cm						
Altura 2	149,5	cm						
Altura 3	148	cm						

UBICACION			VILLINGOTA			COORDENADAS		
CALICATA: 3			MUESTRA: 1					
Parámetro	Valor	Unidad	Lecturas	Valor	Unidad	CALCULOS		
Peso del material seco	2500	gr	0-15 seg	175	ml	HUMEDAD	6,41	%
Volumen de agua inicial	210	ml	15-30 seg	195	ml	AREA (d=10cm)	78,54	cm ²
Peso del recipiente de humedad (JL)	17,39	gr	60	195	ml	Q	195	cm ³
Peso húmedo de muestra extraída	87,44	gr				h (Carga hidráulica porm.)	150,00	cm
Peso seco de muestra extraída	83,22	gr				t	60	s
Peso del molde con muestra	5034	gr				k	0,004693	cm/s
Longitud de la muestra	17,01	cm						
Altura 1	152,5	cm						
Altura 2	149	cm						
Altura 3	148,5	cm						
Longitud de la muestra	17,01	cm						
Altura 1	150	cm						
Altura 2	148	cm						
Altura 3	146	cm						

RESISTENCIA DE A LA ABRASION

LA RINCONADA				
TAMIZ		PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUES POR TAMIZ N°12 (gr)	% DE PERDIDA
PASANTE	RETENIDO			
2"	1 1/2"	5000+-50		
1 1/2"	1"	5000+-25		
		1005	6693	33,1

SAN VICENTE				
TAMIZ		PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUES POR TAMIZ N°12	% DE PERDIDA
PASANTE	RETENIDO			
2"	1 1/2"	5000+-50		
1 1/2"	1"	5000+-25		
		1006	7498	25,06

VILLINGOTA				
TAMIZ		PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUES POR TAMIZ N°12	% DE PERDIDA
PASANTE	RETENIDO			
2"	1 1/2"	5000+-50		
1 1/2"	1"	5000+-25		
		1003	7212	27,9

ENSAYO GRANULOMETRICO

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA						
Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra						
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales						
ANALISIS GRANULOMETRICO						
PROYECTO	TESISI			FECHA	2	Sept 2025
Obra:	Análisis Hidráulico		Localización:	Prov. SANTA EL		
Muestra:	A-1 FONDO		Para:	Tesis de Grado		
Fuente del Material : CANTERA VILLINGOTA (VERDÚ)						
Descripción del Material : GRAVA MAL GRADADADA						
.....	Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Aculado	%Pasante	Especificaciones
75	3"				100	
63	2 (1/2)"				100	
50	2"				100	
38,1	1 (1/2)"				99,23	
25	1"				84,33	
19	3/4"				70,36	
9,5	3/8"				45,97	
4,75	No. 4				29,21	
2	No. 10				22,33	
0,425	No. 40				15,36	
0,075	No. 200				8,13	
	No.					
	Fondo					
	Total					

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO	TESISI	FECHA	2	Sept	2025
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. SANTA ELENA	Sondeo:			
Muestra: A-1 FONDO	Para : Tesis de Grado				
Fuente del Material : LA RINCONADA					
Descripción del Material : GRAVA MAL GRADADA					

.....	Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Aculado	%Pasante	Especificaciones
75	3"				100	
63	2 (1/2)"				100	
50	2"				100	
38,1	1 (1/2)"				100,00	
25	1"				87,06	
19	3/4"				68,27	
9,5	3/8"				56,13	
4,75	No. 4				33,99	
2	No. 10				26,96	
0,425	No. 40				18,59	
0,075	No. 200				10,31	
	No.					
	Fondo					
	Total					

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
 Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO	TESISI	FECHA	2	Sept	2025
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. SANTA ELENA	Sondeo:			
Muestra: A-1 FONDO	Para : Tesis de Grado				
Fuente del Material : CANTERA SAN VICENTE DE LOJA					
Descripción del Material : Arena muy fina					

.....	Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Aculado	%Pasante	Especificaciones
75	3"				95,32	
63	2 (1/2)"				89,04	
50	2"				82,78	
38,1	1 (1/2)"				74,79	
25	1"				60,72	
19	3/4"				51,57	
9,5	3/8"				29,81	
4,75	No. 4				16,58	
2	No. 10				9,90	
0,425	No. 40				4,40	
0,075	No. 200				2,23	
	No.					
	Fondo					
	Total					

ENSAYO DE HUMEDAD

UBICACIÓN	LA RINCONADA		COORDENADAS	NORTE
CALICATA:	2	MUESTRA: 1		ESTE

Ensayo de contenido de humedad	
Recipiente N.	P
masa de recipiente + muestra humeda (W1) (g)	599,79
masa de recipiente + muestra seca (W2) (g)	587,40
Masa de agua (Ww=W1-W2) (g)	12,39
masa del recipiente (Wr) (g)	89,78
masa de muestra seca (Ws=W2-Wr) (g)	497,62
% de humedad $w=(Ww/Ws) \times 100$	2,49

UBICACIÓN	VILLINGOTA		COORDENADAS	NORTE
CALICATA:	1	MUESTRA: 1		ESTE

Ensayo de contenido de humedad	
Recipiente N.	T
masa de recipiente + muestra humeda (W1) (g)	589,73
masa de recipiente + muestra seca (W2) (g)	585,67
Masa de agua (Ww=W1-W2) (g)	4,06
masa del recipiente (Wr) (g)	89,92
masa de muestra seca (Ws=W2-Wr) (g)	495,75
% de humedad $w=(Ww/Ws) \times 100$	0,82


UBICACIÓN	SAN VICENTE		COORDENADAS	NORTE
CALICATA:	2	MUESTRA: 2		ESTE

Ensayo de contenido de humedad	
Recipiente N.	E
masa de recipiente + muestra humeda (W1) (g)	488,82
masa de recipiente + muestra seca (W2) (g)	418,92
Masa de agua (Ww=W1-W2) (g)	69,90
masa del recipiente (Wr) (g)	56,19
masa de muestra seca (Ws=W2-Wr) (g)	362,73
% de humedad $w=(Ww/Ws) \times 100$	19,27

Datos reportados por la estación meteorológica: 842000 (SESA)

Latitud: -2.2 | Longitud: -80.98 | Altitud: 4

Disponemos de datos horarios para esta estación meteorológica. Puedes verlos en: [Registros](#)

 [Descargar datos climáticos](#)

Datos climáticos: Enero 2016

Día	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM	VG	RA	SN	TS	FG
1	26.7	29.3	22.5	-	82	0	10	21.3	29.4	-				
2	26.1	28.5	24.2	1009.4	83	0	10	21.5	29.4	-				
3	26	28.2	24.4	1009.3	80	0	10	15.4	22.2	-				
4	25.7	28.5	19	-	83	0	10.3	18.9	27.8	-				
5	26.6	28.5	24.5	1011.1	79	0	10	19.6	25.9	-				
6	26.3	28.8	25	1011.6	78	0	11.6	18.9	31.7	-				
7	25.9	29	24.9	1011.8	80	0	12.2	17	20.6	-				
8	26	29	24	1010.7	80	0	11.7	17.8	22.2	-				
9	26.3	28.5	24.4	1010.6	79	0	10.6	18.5	25.9	-				
10	26.6	29	24.6	1011.5	77	0	11.4	20.2	25.9	-				
11	26.4	28.2	25	-	80	0	10	21.7	29.4	-				
12	26.3	29.4	24.8	1012	84	0	10	21.7	27.8	-				
13	26.2	29.4	24.4	1012.1	82	0	10	23.2	27.8	-				
14	26.3	28	24	-	79	0	10	20.6	29.4	-				
15	26.3	28.5	24.5	1009.3	78	0	10	15.6	22.2	-				
16	26.7	29	25	1009.3	80	0	10	22.2	27.8	-				
17	26.3	29	25	1010.7	81	0	10	18.1	22.2	-				
18	26.7	29.5	25	1009.9	81	0	10.8	15	18.3	-				
19	26.6	29.6	25	-	81	0	10.1	11.9	14.8	-				
20	25.9	29.6	24.5	1012	84	0.25	10.3	18.1	25.9	-	o			
21	27.4	29.8	26	1010.8	79	0	10	14.4	18.3	-				
22	27.5	29.8	25.5	1010.4	77	0	10	15.7	22.2	-				
23	27.3	29.8	25.4	1010.4	76	0	10	15.4	22.2	-				
24	26.7	29.7	26	-	79	0	10	15.4	22.2	-				
25	24.9	26	23	-	91	12.95	8.2	17.2	22.2	-	o			
26	26.7	28.6	25	1012.1	84	2.03	10	17.6	25.9	-	o			
27	27.2	29	25	-	80	0	10.1	21.7	25.9	-				
28	26.8	29	25	1010.6	80	0	10	16.7	22.2	-				
29	26.9	29.1	25.5	1010.7	79	0	10	16.7	24.1	-				
30	26.9	29.1	25.8	1012.2	79	0	10.1	12	16.5	-				
31	27.6	29.7	26	1011.2	77	0	10.6	13.5	16.5	-				
Medias y totales mensuales:														
	26.5	28.9	24.6	1010.9	80.4	15.23	10.3	17.9	24		3	0	0	0

Valores climáticos medios y totales mensuales

Resumen de los valores medios y totales mensuales históricos del mes de enero de 2016 en la estación meteorológica de "Salinas / General Ulpiano Paéz".

Temperatura media	26.5 °C
Presión atmosférica media	1010.9 hPa
Humedad relativa media	80.4 %
Precipitación total mes	15.23 mm
Visibilidad media	10.3 km
Velocidad del viento media	17.9 km/h
Días con lluvia	3

Datos climáticos: Enero 2017

Día	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM	VG	RA	SN	TS	FG
1	26.2	29	22.5	-	81	0	11.3	14.6	22.2	-				
2	26.6	28.2	25	-	78	0	10	14.1	29.4	-				
3	26.9	28.5	25.8	-	78	0	10	18.7	29.4	-				
4	26.3	28.5	24.4	1008.9	78	0	10	13.9	24.1	-				
5	26.1	27.8	25	1009.8	80	0	10	13.3	18.3	-				
6	26.4	27.4	25	1010.3	81	0	10	10.6	13	-				
7	26.8	29	25.4	-	80	-	10	11.7	20.6	-	o			
8	26.8	28	25.3	1012.9	81	0	10	11.3	13	-				
9	26.1	28	25.4	1012.3	84	-	10	9.4	14.8	-	o			
10	25.4	27.5	23	1011	87	14.99	10	13.3	22.2	-	o			
11	26.8	28.1	25	-	79	0	10.3	15.9	20.6	-				
12	26.6	28.2	25	1010.2	80	0	10.5	15.9	18.3	-				
13	26.6	28	25.4	-	80	0	10	18.5	22.2	-				
14	26.9	28	26	-	78	0	10	16.1	20.6	-				
15	26.9	29	25	-	78	0	10.6	14.8	20.6	-				
16	27.1	28.6	25.5	1010.4	78	0	11.6	14.8	18.3	-				
17	27.2	28.4	26	-	77	0	12.2	15.9	18.3	-				
18	27	29	25.6	1011.6	80	0	10	12.8	16.5	-				
19	27.2	28.5	26	1012	79	0	10	15.9	22.2	-				
20	26.4	27.6	25	1012.8	82	0	10	15.4	24.1	-				
21	26.4	28.9	24.5	-	78	-	10	14.8	24.1	-	o			
22	26.9	28.9	25	-	81	0	10	14.6	22.2	-				
23	27.2	29.1	26	-	78	0	10	12.8	22.2	-				
24	26.7	28	25	-	84	32	9.3	17.4	22.2	-	o			
25	27.1	29	25.4	1011.8	84	0	10	15.6	22.2	-				
26	26.2	28	23	1013.2	85	14.99	8.4	11.3	16.5	-	o			
27	26.6	28.4	24.7	1012.3	82	4.06	10.6	12.6	20.6	-				
28	27.4	29.4	26	-	81	0	10.6	10.2	18.3	-				
29	27.6	30.7	27	-	82	0	10.6	15.4	24.1	-	o			
30	26.1	29.3	24	1011.5	88	50.04	10	14.4	25.9	-	o			
31	26.4	28	24	1011.5	86	-	10	14.1	20.6	-	o			
Medias y totales mensuales:														
	26.7	28.5	25	1011.4	80.9	116.08	10.2	14.2	20.9		9	0	0	0

Valores climáticos medios y totales mensuales

Resumen de los valores medios y totales mensuales históricos del mes de enero de 2017 en la estación meteorológica de "Salinas / General Ulpiano Paéz".

Temperatura media	26.7 °C
Presión atmosférica media	1011.4 hPa
Humedad relativa media	80.9 %
Precipitación total mes	116.08 mm
Visibilidad media	10.2 km
Velocidad del viento media	14.2 km/h
Días con lluvia	9

Datos climáticos: Febrero 2017

Día	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM	VG	RA	SN	TS	FG
1	26.7	28.4	25	1010.6	87	1.02	10	8.1	16.5	-	o			
2	26.3	28	24	1011.1	88	7.87	9.7	11.7	18.3	-	o			
3	26.6	28.2	23.5	1010.1	88	14.99	10	12.2	20.6	-	o			
4	27.6	29.1	26	1008.4	84	0	10.1	9.4	14.8	-	o			
5	27.7	29.1	27	-	84	0	10	12.2	16.5	-				
6	27.1	29	26	-	87	0	10	11.7	22.2	-				
7	26.7	28.2	24.8	-	89	7.11	9.3	10.6	14.8	-	o			
8	26.1	28.2	24	-	90	42.93	7.7	13.9	18.3	-	o		o	
9	27.6	29.2	25.8	1010.2	84	23.88	10	9.6	16.5	-				
10	27.6	30.1	25	-	85	0.76	10.1	11.9	18.3	-	o			
11	28	29	26.9	-	83	0	10.6	11.5	18.3	-				
12	27	29.8	25	-	87	4.06	9.8	17.2	24.1	-	o			
13	27.3	29	25.6	1010.2	83	2.03	10.9	13.1	20.6	-				
14	27.8	29.5	26.5	1010.9	82	0	10.5	10.2	14.8	-				
15	27.7	29.5	24.4	-	85	3.05	9.7	9.8	14.8	-	o		o	
16	26.7	27	25.8	-	89	2.03	10	9.6	14.8	-				
17	25.9	28	23	-	86	10.92	6.4	9.8	14.8	-	o		o	
18	27.7	29	25.3	-	82	7.87	10	9.3	14.8	-				
19	28.1	29.3	25.9	-	80	0	10	10	16.5	-				
20	25.3	26	24	-	89	10.92	9	12.6	16.5	-	o			
21	27	29.7	25.2	-	86	8.89	10	13	27.8	-	o			
22	25.6	28	23	-	87	35.05	10.3	13.5	20.6	-	o			
23	28.4	29.4	27	-	78	0	10.1	8.1	14.8	-				
24	28.4	30	26	1009.8	79	0	10.5	12.4	16.5	-				
25	27.8	29.7	26	-	80	0	10.5	10.7	14.8	-				
26	27	28	24	-	82	0	9.7	7.4	11.1	-	o		o	
27	27.8	29	25.3	-	81	12.95	10	7.2	11.1	-				
28	28.7	30	25.7	-	78	24.89	10.6	-	-	-				
Medias y totales mensuales:														
	27.2	28.8	25.2	1010.2	84.3	221.22	9.8	11	17.2		14	0	4	0

Valores climáticos medios y totales mensuales

Resumen de los valores medios y totales mensuales históricos del mes de febrero de 2017 en la estación meteorológica de "Salinas / General Ulpiano Paez".

Temperatura media	27.2 °C
Presión atmosférica media	1010.2 hPa
Humedad relativa media	84.3 %
Precipitación total mes	221.22 mm
Visibilidad media	9.8 km
Velocidad del viento media	11 km/h
Días con lluvia	14
Días con tormenta	4

Datos climáticos: Enero 2023

Día	T	TM	Tm	SLP	H	PP	WW	V	VM	VG	RA	SN	TS	FG
1	25.3	27	23.7	1013	81	0	10.1	13.5	22.2	-				
2	25.2	26.6	23.5	1012.8	78	0	10	10.9	25.2	-				
3	25	26	23	-	82	0	10	17	43.2	-				
4	25.3	26	22.7	-	76	0	10	13.1	21.7	-				
5	25.5	27.7	24	-	77	0	10	12.6	18.3	-				
6	25.6	27.4	24	-	75	0	10	13.5	20.6	-				
7	24.8	26	23	-	78	0	10	16.1	20.6	-				
8	25.8	27	24	-	74	0	10	12	16.5	-				
9	26.3	28	24	-	73	0	10	12.4	20.6	-				
10	25.4	27.6	24	-	77	0	10	12.4	18.3	-				
11	25.9	28	24.2	-	74	0	10	13.7	20.6	-				
12	26.1	28	24.7	-	74	0	10	14.6	22.2	-				
13	25.8	28	24.4	1011.6	77	0	10	17.4	28.7	-				
14	26.1	27	24.3	1012.3	75	0	10	14.8	20.6	-				
15	26.3	28.2	24.6	1012.8	74	0	10	13.1	18.3	-				
16	27	28.3	25	1012.3	73	0	10	14.4	22.2	-				
17	26.8	28	24.9	1011.5	72	0	10	16.9	22.2	-				
18	27.4	29.3	25	1011	73	0	10	14.8	24.1	-				
19	26.7	28.5	25	1012.3	75	0	10	13.1	20.6	-				
20	26.6	29	24	-	77	1.02	10	11.7	16.5	-	o			
21	27.3	29	25.6	1011.3	72	0	10	12.8	16.5	-				
22	27.7	29.6	24.6	1010.1	70	0	10	11.5	18.3	-				
23	27.3	29.2	25.4	1010.4	73	0	10	11.9	20.6	-				
24	27.4	29.2	25.7	1010.9	73	0	10	15.4	18.3	-				
25	27.7	29.3	25.5	-	75	0	10	16.9	25.9	-				
26	27.6	29.3	25.3	1009.5	73	0	10	15	20.6	-				
27	27.3	29.2	25.5	1009.6	75	0	10	14.1	20.6	-				
28	27.5	29.2	25.7	1009.5	73	0	10	15	32.4	-				
29	28.2	30	26	-	73	0	10	16.7	20.6	-				
30	28	30	26	-	70	0	10	13.9	18.3	-				
31	27.7	29.1	26	-	74	0	10	14.8	18.3	-				
Medias y totales mensuales:														
	26.5	28.2	24.6	1011.3	74.7	1.02	10	14.1	21.7		1	0	0	0

Valores climáticos medios y totales mensuales

Resumen de los valores medios y totales mensuales históricos del mes de enero de 2023 en la estación meteorológica de "Salinas / General Ulpiano Paez".

Temperatura media	26.5 °C
Presión atmosférica media	1011.3 hPa
Humedad relativa media	74.7 %
Precipitación total mes	1.02 mm
Visibilidad media	10 km
Velocidad del viento media	14.1 km/h
Días con lluvia	1

Datos climáticos: Febrero 2016

Día	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM	VG	RA	SN	TS	FG
1	27.2	29.7	24.4	1009.6	80	0	10.3	15	25.9	-				
2	27.3	29.7	24.9	1009.9	80	0	10	15	18.3	-				
3	28.9	29.6	24.4	-	80	0	10	14.8	18.3	-				
4	26.7	29.7	26	1011	84	0	10	10.7	14.8	-				
5	27.7	30.4	24	1010.4	80	0	10	12.8	22.2	-				
6	27.6	30.4	26	1009.6	82	0	10	12.4	18.3	-				
7	26.9	28	26	-	84	0	10	12.6	18.3	-				
8	26.3	29	26	1010.1	85	0	10	13.9	22.2	-	o			
9	26.1	29.5	25	1010.8	84	0	10.5	15.7	22.2	-	o			
10	27	29.5	25	1011	83	3.05	11.1	10.9	14.8	-	o			
11	27.9	29.6	26.6	1011.2	78	0	10.5	15	22.2	-				
12	28.1	30.2	26	1010.6	78	0	10	14.6	18.3	-				
13	28.4	31.6	27	1009	77	0	10	12.8	18.3	-				
14	27.8	31.6	26	1007	80	0	10	13.1	18.3	-				
15	28	30.5	26.6	-	81	0	10	11.5	14.8	-				
16	28.5	30.5	26.2	1008.3	78	0	10	13.1	18.3	-				
17	28.3	31.4	26.2	1008.7	77	0	10	13.5	18.3	-				
18	28.4	31.4	27	1008.8	79	0	10	11.5	18.3	-				
19	28.4	31	26.6	1008.4	79	0	10	14.6	22.2	-				
20	27.9	30.1	26.5	1007.8	78	0	10	14.8	18.3	-				
21	27.9	30.6	26.5	1007.7	78	0	10.9	13.7	22.2	-				
22	28.1	30.8	25.9	1007.9	79	0	10	14.6	22.2	-				
23	28.2	30.8	26	1008.3	77	0	10.9	14.1	18.3	-				
24	28	30.6	26	1009.2	79	0	10.1	15	25.9	-	o			
25	27.8	31.4	26	1010.1	80	0	10.1	17.6	29.4	-	o			
26	28.1	31.4	26.6	1009.8	80	0	10.1	14.6	25.9	-				
27	27.7	29	26.5	-	85	0	10	11.9	14.8	-				
28	26.7	30	24.8	1009.8	90	40.89	9	14.8	25.9	-	o		o	
29	27.2	29.4	26	1010.3	84	2.03	10.3	14.8	18.3	-	o			
Medias y totales mensuales:														
	27.6	30.3	25.9	1009.3	80.7	45.97	10.1	13.8	20.2		7	0	1	0

Valores climáticos medios y totales mensuales

Resumen de los valores medios y totales mensuales históricos del mes de febrero de 2016 en la estación meteorológica de "Salinas / General Ulpiano Paez".

Temperatura media	27.6 °C
Presión atmosférica media	1009.3 hPa
Humedad relativa media	80.7 %
Precipitación total mes	45.97 mm
Visibilidad media	10.1 km
Velocidad del viento media	13.8 km/h
Días con lluvia	7
Días con tormenta	1

Datos climáticos: Marzo 2016

Día	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM	VG	RA	SN	TS	FG
1	27.1	29.7	25.8	1010.4	84	1.02	10.1	15.7	22.2	-	o			
2	27.3	29.8	26	1010.6	82	0	10	18.3	25.9	-				
3	25.6	29.8	23.8	1011.1	90	23.11	7.9	13.3	16.5	-	o			
4	26.9	29.2	25	1010.7	84	0	10	12.8	18.3	-				
5	26.8	29.2	25.2	1010.6	84	1.02	9.8	10.6	14.8	-	o			
6	27.1	28.5	25.5	1011.4	86	0	10.1	11.1	18.3	-				
7	27.3	29.7	26	1011.9	87	2.03	9.7	10	18.3	-	o			
8	27.5	29.7	25	1011.2	84	0	10.1	13.3	25.9	-				
9	27.8	30.5	25.2	1010.8	81	0	10	13.7	18.3	-				
10	27.9	30.5	24	-	80	0	10	14.4	18.3	-				
11	28.3	30.8	26.8	1011.5	77	0	10.6	14.8	18.3	-				
12	28.2	30.8	26	1011.5	78	0	10	15.6	18.3	-				
13	28.2	30.5	24.8	1010.8	81	0	10.6	16.5	20.6	-				
14	28.1	30.5	25	1010.9	78	0	10.5	16.5	22.2	-				
15	28.1	30.5	26	1010.6	78	0	10.1	13.7	18.3	-				
16	28.4	30.7	26.4	1010.1	78	0	10.5	14.4	22.2	-				
17	28.2	31	27	1010.1	77	0	10.8	14.1	22.2	-				
18	27.7	31	26	1009.7	80	0	10.6	14.6	22.2	-				
19	28.1	30.8	27	-	77	0	10.5	14.3	18.3	-				
20	28.1	30.9	26.4	1010	78	0.25	10.9	15.4	20.6	-				
21	28.4	31	26	1010	79	0	10.3	14.3	18.3	-				
22	28.7	32.5	26	1010.1	75	0	10	16.1	25.9	-				
23	28.5	30.6	23	-	77	0	10	16.5	18.3	-				
24	28.2	30.6	26	1008.7	77	0	10	17	22.2	-				
25	27.7	30.5	24.5	1008.2	80	0	10	18.3	22.2	-				
26	28.6	32	26	1008.8	75	0	10	16.1	22.2	-				
27	29.1	32	26	1011	74	0	10.3	13.7	18.3	-				
28	29.3	32.5	27	1011.1	72	0	10.3	12	22.2	-				
29	29.4	32.5	28	1010	78	0	10.6	12.6	18.3	-				
30	28.1	32.2	27	1011.1	78	0	10.9	11.7	20.6	-				
31	28.3	31	26.8	1011.6	79	0	10.6	12.8	22.2	-				
Medias y totales mensuales:														
	28	30.7	25.8	1010.5	79.6	27.43	10.2	14.3	20.3		4	0	0	0

Valores climáticos medios y totales mensuales

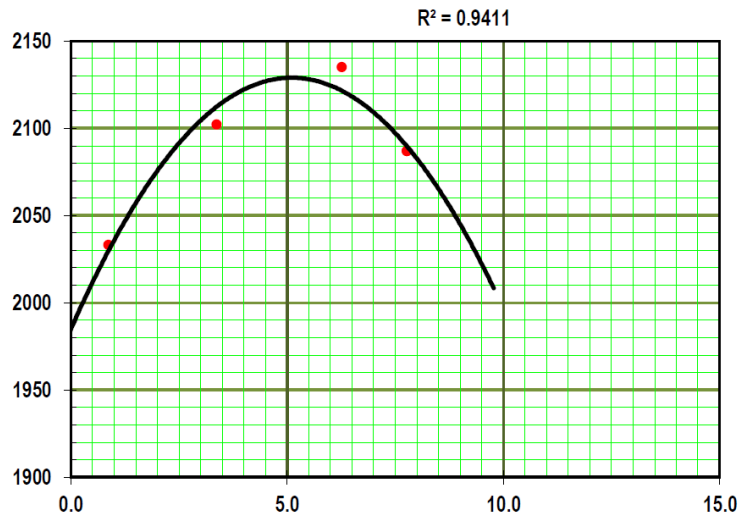
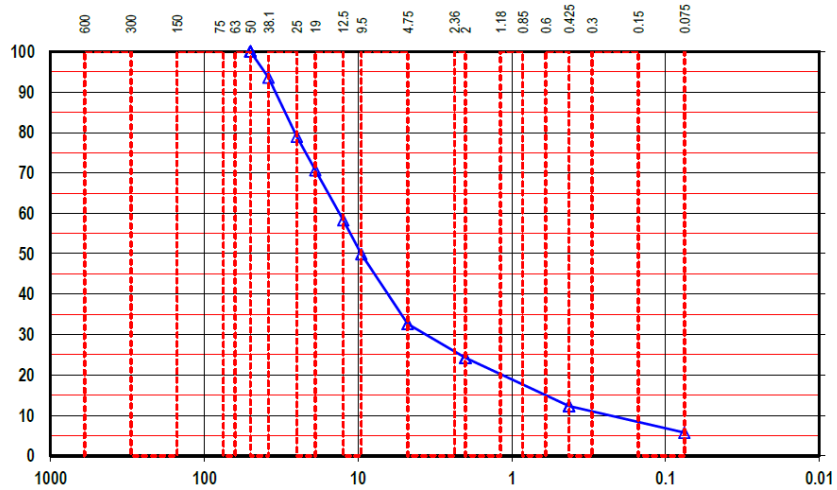
Resumen de los valores medios y totales mensuales históricos del mes de marzo de 2016 en la estación meteorológica de "Salinas / General Ulpiano Paez".

Temperatura media	28 °C
Presión atmosférica media	1010.5 hPa
Humedad relativa media	79.6 %
Precipitación total mes	27.43 mm
Visibilidad media	10.2 km
Velocidad del viento media	14.3 km/h
Días con lluvia	4

Ensayos de material de sitio de la via existente

GRANULOMETRIA			
TAMIZ	MUESTRA PASANTE (%)	NORMA CLASE I TIPO A	
2''	100.00	100	✓
1 1/2''	93.55	70-100	✓
1''	78.98	55-85	✓
3/4''	70.74	50-80	✓
3/8''	49.97	35-60	✓
N° 4	32.64	25-50	✓
N° 10	24.32	20-40	✓
N° 40	12.33	10-25	✓
N° 200	5.75	2-12	✓

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA
TAMICES ASTM (Abertura en milímetros)



CANTERAS Y CBR PARA EL DISEÑO EXISTENTE

Cantera TUGADUAJA BASE CLASE I

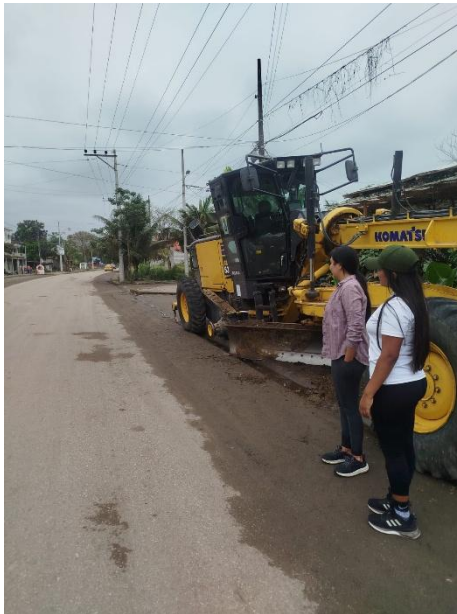
Cantera LA RINCONADA SUBBASE CLASE III

Cantera SAN VICENTE MEJORAMIENTO

	CBR (ponderado)	Modulo Resiliente	
Base Clase I	100%	30,000 Psi	207 MPa
Sub Base Clase III (Mezcla)	58.57%	26,100 Psi	180 MPa
Mejoramiento	20%	20,300 Psi	140 MPa
Subrasante	2.44%	3,660 Psi	25.24 MPa

RECOLECCION DE MUESTRAS EN CANTERAS





ENSAYOS DE LABORATORIO



