

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

***“INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN EL ÍNDICE CALIFORNIA
BEARING RATIO (CBR) DEL AFIRMADO DE LA CARRETERA COCHAMARCA – RÍO
SECO, DISTRITO DE GREGORIO PITA, PROVINCIA DE SAN MARCOS,
DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, ENTRE EL KM 00+000 AL KM 05+000”***

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER
ESTRADA TORREL, ANGÉLICA CRISTINA**

**ASESOR
DR. ING. LLIQUE MONDRAGÓN, ROSA HAYDEE**

CAJAMARCA – PERÚ

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: ANGÉLICA CRISTINA ESTRADA TORREL

DNI: 73117711

Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL

2. Asesor: DRA. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN

Facultad:

3. Grado académico o título profesional

☐ Bachiller

☒ Título profesional

☐ Segunda especialidad

☐ Maestro

☐ Doctor

4. Tipo de Investigación:

☒ Tesis

☐ Trabajo de investigación

☐ Trabajo de suficiencia profesional

☐ Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN EL ÍNDICE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DEL AFIRMADO DE LA CARRETERA COCHAMARCA – RÍO SECO, DISTRITO DE GREGORIO PITA, PROVINCIA DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, ENTRE EL KM 00+000 AL KM 05+000

6. Fecha de evaluación: 15 DE ENERO DE 2026

7. Software antiplagio:

☒ TURNITIN

☐ URKUND (OURIGINAL) (*)

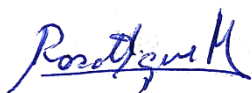
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 12%

9. Código Documento: 3117:546576916

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19 DE ENERO DEL 2026



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN

DNI: 26621287



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 19/01/2026 19:11:46-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0001-2026

TITULO : *INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN EL ÍNDICE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DEL AFIRMADO DE LA CARRETERA COCHAMARCA - RÍO SECO, DISTRITO DE GREGORIO PITA, PROVINCIA DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, ENTRE EL KM 00+000 AL KM 05+000.*

ASESOR : *Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto en el Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **veintinueve días del mes de enero de 2026**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Vocal : Ing. Marcos Mendoza Linares.
Secretario : Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN EL ÍNDICE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DEL AFIRMADO DE LA CARRETERA COCHAMARCA - RÍO SECO, DISTRITO DE GREGORIO PITA, PROVINCIA DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, ENTRE EL KM 00+000 AL KM 05+000*, presentado por la Bachiller en Ingeniería Civil *ANGÉLICA CRISTINA ESTRADA TORREL*, asesorada por la Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y la evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : *6* PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : *11* PTS.
EVALUACIÓN FINAL : *17* PTS *DIECISIETE* (En letras)

En consecuencia, se la declara *APROBADA* con el calificativo de *17 (DIECISIETE)* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *10:30* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Presidente

Ing. Marcos Mendoza Linares.
Vocal

Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario

Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A mi madre, María Esther Torrel Pajares, ejemplo de amor y dedicación, por ser mi mayor inspiración, mi apoyo incondicional y mi motor en los momentos más difíciles. Gracias por tu fe inquebrantable en mí, por tus palabras de aliento. Este logro también es tuyo. Te amo profundamente.

A mi hermano Omar; a mis tíos, Severino Torrel y Wilder Torrel; y a mi primo Wilder, por su respaldo constante, por alentarme en los momentos de mayor desafío y por creer en mis capacidades cuando más lo necesitaba.

A mi asesora, Dr. Ing. Rosa Llique Mondragón, por su valiosa orientación, paciencia y compromiso, que contribuyeron de manera fundamental al desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A mi madre, María Esther, con todo mi amor y gratitud. Por no rendirte nunca, ni siquiera cuando las circunstancias fueron difíciles; por tu fortaleza, que me inspira cada día; y por ser mi guía, mi ejemplo y mi mayor inspiración en mi vida.

A mi hermano Omar; a mis tíos, Severino Torrel y Wilder Torrel; y a mi primo Wilder, por ser parte fundamental de mi formación académica y personal, por estar presentes en cada momento que los necesité y por brindarme siempre su cariño, apoyo y confianza.

A mi asesora, Dr. Ing. Rosa Llique Mondragón, por acompañarme con paciencia, entrega y sabiduría a lo largo de cada etapa de este recorrido.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Planteamiento del Problema	15
1.2 Formulación del Problema	16
1.3 Variables	16
1.4 Hipótesis	17
1.4.1 Hipótesis General	17
1.5 Justificación	17
1.6 Alcance	17
1.7 Delimitación	17
1.8 Objetivos	18
1.8.1 Objetivo General	18
1.8.2 Objetivos Específicos	18
1.9 Descripción de los Capítulos	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	20
2.1 Antecedentes Teóricos	20
2.1.1 Antecedentes Internacionales	20
2.1.2 Antecedentes Nacionales	22
2.1.3 Antecedentes Locales	24
2.2 Bases Teóricas	25
2.2.1 Carretera	25

2.2.1.1	Clasificación de las Carreteras.....	25
2.2.1.2	Carreteras No Pavimentadas.....	25
2.2.1.3	Carreteras Afirmadas.....	25
2.2.1.4	Afirmado.....	26
2.2.2	Suelo	26
2.2.2.1	Clasificación de los Suelos.....	26
2.2.2.1.1	Sistema de Clasificación AASHTO.	27
2.2.2.1.2	Sistema de Clasificación SUCS	27
2.2.2.2	Propiedades Físicas y Mecánicas de los Suelos	28
2.2.2.2.1	Granulometría	28
2.2.2.2.2	Contenido de humedad (w%)	28
2.2.2.2.3	Límites de Consistencia.....	29
2.2.2.2.4	Densidad del Suelo	31
2.2.2.2.5	Compactación	31
2.2.2.2.6	Ensayo de Proctor Modificado.....	33
2.2.2.2.7	Abrasión de los Ángeles	35
2.2.2.2.8	Índice de California Bearing Ratio (CBR).....	35
2.2.2.2.9	Ensayo de CBR.....	36
2.2.3	Cemento	37
2.2.3.1	Cemento Portland Tipo I	37
2.2.3.2	Estabilización de Suelos con Cemento	37
2.3	Definición de Términos Básicos.....	38
2.3.1	Carretera	38
2.3.2	Afirmado	38
2.3.3	Índice de CBR.....	38
2.3.4	Cemento Portland Tipo I	38
2.3.5	Estabilización	38

2.3.6	<i>Afirmados Estabilizados con Cemento</i>	38
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		39
3.1	Ubicación Geográfica de la Investigación	39
3.2	Metodología de la Investigación	42
3.2.1	<i>Tipo, Nivel y Diseño de Investigación</i>	42
3.2.1.1	Tipo de Investigación	42
3.2.1.2	Nivel de Investigación	42
3.2.1.3	Diseño de Investigación	42
3.2.1.4	Método de Investigación	42
3.2.2	<i>Población y Muestra de Estudio</i>	43
3.2.2.1	Población de Estudio	43
3.2.2.2	Muestra	43
3.2.2.3	Unidad de Análisis	43
3.2.2.4	Unidad de Observación	44
3.2.3	<i>Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos</i>	44
3.2.3.1	Técnicas	44
3.2.3.2	Instrumentos	44
3.2.3.3	Equipos y Materiales Utilizados	44
3.2.4	<i>Procedimiento</i>	45
3.2.4.1	Primera Fase: Recolección y Preparación de las Muestras de Afirmado	45
3.2.4.2	Segunda Fase: Ensayos de Laboratorio	46
3.2.5	<i>Técnicas e instrumentos de procesamiento de datos</i>	47
3.2.5.1	Presentación de Resultados	47
3.2.5.1.1	<i>Contenido de Humedad</i>	47
3.2.5.1.2	<i>Análisis Granulométrico</i>	47
3.2.5.1.3	<i>Límites Atterberg</i>	48

3.2.5.1.4	<i>Proctor Modificado</i>	48
3.2.5.1.5	<i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	52
3.2.5.1.6	<i>Desgaste de los Ángeles</i>	53
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		54
4.1	Análisis y Discusión	54
4.1.1	<i>Contenido de Humedad</i>	54
4.1.2	<i>Clasificación del afirmado</i>	54
4.1.3	<i>Proctor Modificado y CBR</i>	54
4.1.4	<i>Desgaste de los Ángeles</i>	55
4.2	Contrastación de Hipótesis	56
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		57
5.1	Conclusiones	57
5.2	Recomendaciones	58
REFERENCIAS		59
ANEXOS		65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Coordenadas UTM y Geográficas de la Investigación Realizada.</i>	41
Tabla 2	<i>Muestras de la investigación realizada.</i>	43
Tabla 3	<i>Resultados de ensayo de contenido de humedad.</i>	47
Tabla 4	<i>Resultados de ensayo de granulometría.</i>	47
Tabla 5	<i>Clasificación del afirmado por el Sistema AASHTO y SUCS.</i>	48
Tabla 6	<i>Resultados de Límites de Atterberg.</i>	48
Tabla 7	<i>Resultados de ensayo de Proctor Modificado.</i>	48
Tabla 8	<i>Resultados de ensayo de CBR para 0.1" y 0.2" de penetración.</i>	52
Tabla 9	<i>Resultados de ensayo de CBR considerados para el diseño.</i>	52
Tabla 10	<i>Porcentaje de mejora del CBR para cada dosificación de cemento.</i>	53
Tabla 11	<i>Resultados de ensayo de Desgaste de los Ángeles.</i>	53
Tabla 12	<i>Clasificación de Suelos AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282.</i>	65
Tabla 13	<i>Clasificación de suelos según su Índice de Grupo.</i>	66
Tabla 14	<i>Símbolos para fines de identificación de suelos en el SUCS.</i>	66
Tabla 15	<i>Grupos de Clasificación de suelos en el Sistema SUCS.</i>	67
Tabla 16	<i>Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS.</i>	68
Tabla 17	<i>Clasificación según el Índice de Plasticidad.</i>	68
Tabla 18	<i>Determinación del método del ensayo – Proctor Modificado.</i>	69
Tabla 19	<i>Parámetros de cada método de ensayo – Proctor Modificado.</i>	69
Tabla 20	<i>Requisitos mínimos del Cemento Portland Tipo I.</i>	70
Tabla 21	<i>Rango de Cemento Requerido en la Estabilización Suelo - Cemento.</i>	70
Tabla 22	<i>Gradación de las muestras de ensayo.</i>	71
Tabla 23	<i>Resultados de ensayo de Análisis Granulométrico.</i>	72
Tabla 24	<i>Resultados del análisis de la fracción gruesa.</i>	72
Tabla 25	<i>Resumen de ensayo de Análisis Granulométrico.</i>	73

Tabla 26	<i>Resultados de ensayo de Contenido de Humedad.....</i>	74
Tabla 27	<i>Especificaciones de ensayos realizados</i>	74
Tabla 28	<i>Resultados de ensayo de Proctor Modificado con incorporación de 0% de cemento.....</i>	75
Tabla 29	<i>Resultados de ensayo de Proctor Modificado con incorporación de 2% de cemento.....</i>	77
Tabla 30	<i>Resultados de ensayo de Proctor Modificado con incorporación de 4% de cemento.....</i>	79
Tabla 31	<i>Resultados de ensayo de Proctor Modificado con incorporación de 6% de cemento.....</i>	81
Tabla 32	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 0% de cemento – Compactación.</i>	83
Tabla 33	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 0% de cemento – Hinchamiento.</i>	84
Tabla 34	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 0% de cemento – Carga Penetración.....</i>	85
Tabla 35	<i>Penetración para (0.1”) y (0.2”) para muestras con 0% de cemento.</i>	87
Tabla 36	<i>Resultado de CBR al 95% y 100% de MDS para muestra con 0% de cemento.....</i>	87
Tabla 37	<i>Resultado de Proctor Modificado y CBR para muestra con 0% de cemento.....</i>	88
Tabla 38	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 2% de cemento – Compactación.</i>	89
Tabla 39	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 2% de cemento – Hinchamiento.....</i>	90
Tabla 40	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 2% de cemento – Carga Penetración.....</i>	91
Tabla 41	<i>Penetración para (0.1”) y (0.2”) para muestras con 2% de cemento.</i>	93

Tabla 42	<i>Resultado de CBR al 95% y 100% de MDS para muestra con 2% de cemento.....</i>	93
Tabla 43	<i>Resultado de Proctor Modificado y CBR para muestra con 2% de cemento.....</i>	94
Tabla 44	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 4% de cemento – Compactación.</i>	95
Tabla 45	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 4% de cemento – Hinchamiento.</i>	96
Tabla 46	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 4% de cemento – Carga Penetración.....</i>	97
Tabla 47	<i>Penetración para (0.1”) y (0.2”) para muestras con 4% de cemento.</i>	99
Tabla 48	<i>Resultado de CBR al 95% y 100% de MDS para muestra con 4% de cemento.....</i>	99
Tabla 49	<i>Resultado de Proctor Modificado y CBR para muestra con 4% de cemento.....</i>	100
Tabla 50	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 6% de cemento – Compactación.</i>	101
Tabla 51	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 6% de cemento – Hinchamiento.....</i>	102
Tabla 52	<i>Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 6% de cemento – Carga Penetración.....</i>	103
Tabla 53	<i>Penetración para (0.1”) y (0.2”) para muestras con 6% de cemento.</i>	105
Tabla 54	<i>Resultado de CBR al 95% y 100% de MDS para muestra con 6% de cemento.....</i>	105
Tabla 55	<i>Resultado de Proctor Modificado y CBR para muestra con 6% de cemento.....</i>	106
Tabla 56	<i>Resultados de ensayo de Abrasión de los Ángeles.</i>	106
Tabla 57	<i>Resumen del ensayo de Abrasión de los Ángeles.</i>	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Principios de Compactación.</i>	32
Figura 2	<i>Ubicación departamental del tramo en estudio.</i>	39
Figura 3	<i>Ubicación provincial del tramo en estudio.</i>	40
Figura 4	<i>Ubicación distrital del tramo en estudio.</i>	40
Figura 5	<i>Ubicación geográfica del tramo en estudio.</i>	41
Figura 6	<i>Curvas de compactación con porcentajes de cemento (0%, 2%, 4% y 6%).</i>	49
Figura 7	<i>Porcentaje de Cemento vs Óptimo Contenido de Humedad.</i>	50
Figura 8	<i>Porcentaje de Cemento vs Máxima Densidad Seca.</i>	51
Figura 9	<i>Curva de Distribución Granulométrica.</i>	73
Figura 10	<i>Curva de Compactación: Contenido de Humedad VS Densidad Seca para 0% de cemento.</i>	76
Figura 11	<i>Curva de Compactación: Contenido de Humedad VS Densidad Seca para 2% de cemento.</i>	78
Figura 12	<i>Curva de Compactación: Contenido de Humedad VS Densidad Seca para 4% de cemento.</i>	80
Figura 13	<i>Curva de Compactación: Contenido de Humedad VS Densidad Seca para 6% de cemento.</i>	82
Figura 14	<i>Curva Esfuerzo – Penetración para muestra con incorporación de 0% de cemento.</i>	86
Figura 15	<i>Curva Densidad – CBR para muestra con incorporación de 0% de cemento.</i>	87
Figura 16	<i>Curva Esfuerzo – Penetración para muestra con incorporación de 2% de cemento.</i>	92
Figura 17	<i>Curva Densidad – CBR para muestra con incorporación de 2% de cemento.</i>	93
Figura 18	<i>Curva Esfuerzo – Penetración para muestra con incorporación de 4% de cemento.</i>	98

Figura 19	<i>Curva Densidad – CBR para muestra con incorporación de 4% de cemento.....</i>	99
Figura 20	<i>Curva Esfuerzo – Penetración para muestra con incorporación de 6% de cemento.....</i>	104
Figura 21	<i>Curva Densidad – CBR para muestra con incorporación de 6% de cemento.....</i>	105
Figura 22	<i>Identificación del tramo en estudio.....</i>	108
Figura 23	<i>Reconocimiento de la cantera El Mirador de Cochamarca.....</i>	108
Figura 24	<i>Identificación del material de cantera.....</i>	109
Figura 25	<i>Elaboración de ensayo de granulometrías.....</i>	109
Figura 26	<i>Elaboración de ensayo de Límite Líquido.....</i>	110
Figura 27	<i>Agregado + Cemento para ensayo de Proctor Modificado.....</i>	110
Figura 28	<i>Ensayo Proctor Modificado – Espécimen enrasado.....</i>	111
Figura 29	<i>Ensayo de Proctor Modificado.....</i>	111
Figura 30	<i>Ensayo de CBR.....</i>	112
Figura 31	<i>Ensayo de CBR.....</i>	112
Figura 32	<i>Ensayo de CBR - Inmersión.....</i>	113
Figura 33	<i>Ensayo de Desgaste de los Ángeles – Equipo.....</i>	113
Figura 34	<i>Ensayo de Desgaste de los Ángeles.....</i>	114

RESUMEN

El afirmado de la carretera Cochamarca - Río Seco presenta problemas de baches y deformaciones producto de las cargas generadas por el tránsito vehicular y de las condiciones climáticas de la zona. Por ello la presente investigación tiene como finalidad determinar la influencia del cemento Portland tipo I en el Índice California Bearing Ratio (CBR), para mejorar el desempeño estructural del afirmado. Para cumplir con dicho objetivo, se trabajó con el material que se usó para la construcción de la carretera, procediendo a realizar los ensayos correspondientes: Contenido de Humedad, Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg (líquido y plástico), Proctor Modificado, Abrasión los Ángeles y CBR. Se utilizaron distintos porcentajes de cemento (2%, 4% y 6%) buscando mejorar las características físicas y mecánicas del material. Los resultados del CBR al 100% de la MDS (0.1'') correspondiente a la muestra sin incorporación de aditivo fue de 39.23%; mientras que al incorporar cemento en las dosificaciones de 2%, 4% y 6%, los valores obtenidos fueron de 44.92%, 69.78% y 72.59%, respectivamente. Estos resultados superan el requisito mínimo exigido de 40% establecido en el Manual de Carreteras, concluyendo que la incorporación de cemento Portland tipo I incrementa el CBR del afirmado.

Palabras Claves: Afirmado, Cemento Portland tipo I, Máxima Densidad Seca, Óptimo Contenido de Humedad, índice CBR

ABSTRACT

The road surface of the Cochamarca - Río Seco highway exhibits potholes and deformations due to the loads generated by vehicular traffic and the area's climatic conditions. Therefore, this research aims to determine the influence of Type I Portland cement on the California Bearing Ratio (CBR) to improve the structural performance of the road surface. To achieve this objective, the material used for the highway construction was analyzed, and the following tests were performed: Moisture Content, Particle Size Analysis, Atterberg Limits (liquid and plastic), Modified Proctor Test, Los Angeles Abrasion Test, and CBR. Different cement percentages (2%, 4%, and 6%) were used to improve the material's physical and mechanical characteristics. The CBR result at 100% of the MDS (0.1") for the sample without additives was 39.23%. While incorporating cement in dosages of 2%, 4%, and 6% resulted in values of 44.92%, 69.78%, and 72.59%, respectively. These results exceed the minimum requirement of 40% established in the Highway Manual, concluding that the incorporation of Type I Portland cement increases the CBR of the road base.

Keywords: Affirmed, Portland cement type I, Maximum Dry Density, Optimal Moisture Content, CBR Index.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

La comprensión de las características de los accesos viales de alto tráfico es fundamental, ya que la apertura de nuevas conexiones urbanas representa un pilar estratégico para el desarrollo global. Si bien es habitual que estas rutas presenten imperfecciones iniciales que se subsanan con el tiempo, muchos países priorizan su construcción bajo estándares de alta calidad, entendiendo que las vías actúan como arterias esenciales para el funcionamiento del sistema social y económico. Por ello, la ejecución de estos proyectos se realiza de manera rigurosa, integrando el uso de aditivos especializados que optimizan la capacidad de soporte de la infraestructura. Esta implementación técnica no solo busca mejorar la resistencia de los materiales ante el flujo constante, sino que tiene como objetivo primordial extender la vida útil de las vías, garantizando que su operatividad sea lo más duradera y eficiente posible para el beneficio de la conectividad ciudadana. (Portugal, 2022)

La infraestructura vial representa un eje motor para el progreso socioeconómico en Perú, especialmente al conectar comunidades rurales con servicios esenciales. No obstante, el deterioro del 60% de la red vial nacional, reportado por el MTC (2024), constituye un obstáculo crítico. Esta deficiencia estructural no solo reduce la calidad de vida de los ciudadanos, sino que también frena la competitividad regional, evidenciando la urgente necesidad de optimizar la inversión en mantenimiento para garantizar un crecimiento sostenible.

En Cajamarca, la vulnerabilidad vial es crítica debido a la presencia de carreteras afirmadas. Sin una estabilización adecuada, esta capa de afirmado se degrada rápidamente por el tránsito constante y el clima adverso, comprometiendo la durabilidad de las rutas y exigiendo soluciones técnicas que aseguren su resistencia. (Arellano y Gonzales, 2021)

La realidad de la región, es que la infraestructura vial es mayoritariamente no pavimentada (89.5%), según el MTC (2024). Pese a su rol estratégico en el transporte agrícola y el acceso a servicios de salud y educación, estas rutas presentan un afirmado deficiente que incumple los estándares técnicos. Según Arellano y Gonzales (2021), esta precariedad estructural origina patologías como grietas, deformaciones y baches, factores que elevan considerablemente los costos de mantenimiento estatal. Además, el deterioro constante compromete la seguridad de los usuarios, limitando la eficiencia del transporte y el desarrollo regional bajo condiciones de transitabilidad seguras y duraderas en el tiempo.

La carretera Cochamarca – Río Seco, ubicada en la región de Cajamarca, evidencia un deterioro prematuro debido al uso de material deficiente proveniente de la cantera El Mirador de Cochamarca. Al no cumplir con los requisitos técnicos para un afirmado óptimo, la vía ha fallado en alcanzar su vida útil proyectada. Actualmente, la ruta presenta baches y deformaciones en toda su extensión, provocadas por la interacción entre las cargas vehiculares constantes y el clima adverso de la zona. Esta situación resalta la urgencia de emplear materiales estabilizados que aseguren la durabilidad estructural.

1.2 Formulación del Problema

¿En cuánto influye el Cemento Portland tipo I en el Índice California Bearing Ratio (CBR) del afirmado de la carretera Cochamarca – Río Seco, distrito de Gregorio Pita, provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca, entre el Km 00+000 al Km 05+000?

1.3 Variables

Variable independiente: Cemento Portland tipo I.

Variable dependiente: Índice California Bearing Ratio (CBR).

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

La adición de Cemento Portland tipo I en proporciones de 2%, 4% y 6% incrementa el Índice California Bearing Ratio (CBR) hasta un 80% para su uso como afirmado de la carretera Cochamarca – Río Seco, distrito de Gregorio Pita, provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca, entre el Km 00+000 al Km 05+000.

1.5 Justificación

La calidad del afirmado resulta fundamental para la estabilidad y vida útil de las carreteras. Comprender la influencia específica del Cemento Portland tipo I permitió mejorar las características del afirmado de la Carretera Cochamarca – Río Seco, optimizando el diseño en carreteras y garantizando una infraestructura vial más resistente y duradera.

La correcta selección y dosificación de materiales, incluido el Cemento Portland tipo I, permitió obtener un afirmado con mejor calidad y mucho más resistente a las condiciones adversas de clima y tráfico.

1.6 Alcance

La investigación se realizó en la carretera a Río Seco entre 00+000 km al 05+000 km, donde se evaluó la influencia del Cemento Portland tipo I en el Índice California Bearing Ratio (CBR) del afirmado.

1.7 Delimitación

En esta investigación se utilizó Cemento Portland Tipo I en proporciones de 0%, 2%, 4% y 6% para incrementar el Índice de CBR del afirmado de la carretera Cochamarca – Río Seco. El material utilizado pertenece a la cantera El Mirador de Cochamarca.

1.8 Objetivos

1.8.1 Objetivo General

- Determinar la Influencia del Cemento Portland tipo I en el Índice California Bearing Ratio (CBR) del afirmado de la carretera Cochamarca – Río Seco, distrito de Gregorio Pita, provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca, entre el Km 00+000 al Km 05+000.

1.8.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas y clasificar el material del afirmado.
- Determinar el Índice California Bearing Ratio (CBR) del afirmado con los porcentajes de Cemento Portland tipo I de 0%, 2%, 4% y 6%.
- Establecer una comparativa de los resultados obtenidos del Índice de CBR sin incorporación y con incorporación de Cemento Portland Tipo I.

1.9 Descripción de los Capítulos

Capítulo I. Introducción: Planteamiento del problema, formulación del problema, variables, hipótesis, justificación, delimitaciones, limitaciones y objetivos de la investigación.

Capítulo II. Marco Teórico: Antecedentes teóricos, bases teóricas en las cuáles de basa la investigación y, definición de términos básicos.

Capítulo III: Materiales y Métodos: Ubicación política y geográfica de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, descripción del proceso de investigación, identificación de la población, muestra y unidad de análisis.

Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados: Presentación, descripción y discusión de los resultados más importantes.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones: Se elaboran las conclusiones en base a los objetivos y resultados de las investigación, recomendaciones, bibliografía, apéndices y anexos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Ceballos y De la Cruz (2021), en su investigación *“Diseño del Suelo-Cemento y su Aplicación como Material para la Construcción del Camino Vecinal del Recinto de Zapán”*, se diseñó una mezcla óptima de cemento con suelo tipo A-2-4. En el estudio, se realizaron ensayos al suelo A-2-4 siguiendo el sistema de clasificación AASHTO del afirmado, al cual se le incorporó cemento en porcentajes de 2 %, 6 % y 8 %. Los resultados obtenidos fueron altamente satisfactorios, cumpliendo con los criterios de mejora del Índice de Capacidad de Soporte California (CBR), registrando incrementos de 16,72 %, 17,5 % y 20 %, respectivamente. Asimismo, la resistencia del suelo alcanzó valores de 26,99 %, 32,18 % y 40,48 % para los mismos porcentajes de adición de cemento. Por consiguiente, se concluyó que la estabilización de suelos mediante cemento contribuye significativamente a la mejora de sus propiedades.

Golfín (2020) en su tesis de investigación *“Mejoramiento del Desempeño en la Estabilización de Suelos de Subrasantes con Cemento Portland tipo I en vías no Pavimentadas”*, Se mejoraron las propiedades mecánicas del suelo tipo A-1-b mediante su estabilización con cemento en el lecho de caminos sin pavimentar, utilizando tres tipos de materiales provenientes de las zonas de Los Santos, Nicoya y Pocosol. En la primera etapa, se realizaron ensayos al suelo, incluyendo análisis granulométrico, límites de Atterberg y el ensayo de CBR. Posteriormente, se incorporó cemento Portland tipo I a los suelos A-2-4 y se repitieron los ensayos para determinar la dosificación óptima. Con las proporciones establecidas, se llevaron a cabo ensayos de resistencia, obteniéndose un incremento superior al 700 % al comparar los especímenes originales con aquellos estabilizados con 7 % de cemento. Estos resultados evidenciaron que la estabilización con

cemento mejora de manera significativa las propiedades mecánicas de los suelos, especialmente el CBR.

Eng Hie Tan (2022), en su artículo de investigación titulado *“Una investigación experimental comparativa sobre la estabilización química de agregados de arenisca utilizando cemento y látex de copolímero de estireno-butadieno para la construcción de subbases de carreteras”*, Se realizó un análisis experimental sobre la estabilización química de materiales de sub-base mediante cemento Portland, evaluando su influencia en parámetros geotécnicos como la resistencia no confinada (UCS) y el índice California Bearing Ratio (CBR). Se emplearon diferentes proporciones de cemento (2 %, 5 % y 8 %) y se compararon sus efectos en muestras compactadas al 95 % de la densidad máxima. Los resultados indicaron que el contenido del 5 % de cemento Portland fue el más eficiente, alcanzando los valores máximos de CBR sin ocasionar rigidez excesiva ni agrietamientos prematuros en el suelo estabilizado. Esta proporción permitió mejorar la capacidad portante del suelo de manera técnica y económica, superando los resultados obtenidos con dosis menores (2 %) o mayores (8 %), las cuales mostraron un comportamiento menos eficiente o inestable. Por lo tanto, el estudio concluye que la estabilización de suelos granulares con 5 % de cemento Portland constituye una solución óptima para la mejora de capas de afirmado o sub-base en carreteras no pavimentadas o de bajo tránsito, incrementando significativamente la capacidad de soporte medida mediante CBR y ofreciendo buena durabilidad frente a ciclos de humedad y carga.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Urcia (2022) realizó la investigación titulada *"Estabilización del suelo con la aplicación de cemento Portland tipo I para la mejora de la carretera a nivel de afirmado en el tramo: Izcuchaca – Quichuas. Región Huancavelica"*, concluyó que la utilización de cemento Portland Tipo I como estabilizador en el afirmado de la carretera incrementó significativamente las propiedades del suelo, mejorando su capacidad portante y su durabilidad.

Córdova y Huamán (2020), en su tesis *"Diseño y estabilización del afirmado tipo procesado empleando cemento Portland tipo I en la carretera Yantaló – Boca de Huascayacu"*, evaluó la mejora del afirmado mediante la adición de cemento Portland tipo I en proporciones de 2 %, 5 %, 7 % y 9 %. Se determinó que el CBR inicial del afirmado era del 20 % y que la dosificación óptima correspondía al 7 % de cemento, logrando un CBR de 57,91 % a un 95 % de la densidad máxima seca, superando ampliamente el valor mínimo del 40 % establecido por la Norma Técnica del MTC para capas de afirmado. La mejora alcanzada representa un incremento del 189,55 % respecto al valor inicial, evidenciando que la incorporación de cemento Portland tipo I constituye una solución técnica eficaz y sostenible para aumentar la capacidad portante del afirmado en vías rurales.

Pantigozo (2023) en su tesis *"Mejoramiento de la capacidad de soporte (CBR) de suelos grava arcillosas con polímeros y cemento para uso como afirmado en carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito"*, evaluó la mejora del índice CBR en suelos tipo grava arcillosa (GC) en Ayacucho mediante la combinación de cemento Portland Tipo I y polímeros. El estudio determinó que era suficiente aplicar 0,5 % de cemento Portland Tipo I ($10,6 \text{ kg/m}^3$) para cumplir con los requisitos técnicos mínimos establecidos en el Documento Técnico de Soluciones Básicas para Caminos Rurales. Con

esta dosificación se lograron valores de CBR de 133 %, 151 % y 163 %, superando ampliamente el umbral del 100 %, lo que evidencia que incluso con una cantidad mínima de cemento se puede obtener una mejora significativa en la capacidad portante del afirmado. Esta combinación técnica constituye una alternativa eficiente y sostenible para la estabilización de caminos no pavimentados de bajo tránsito.

Pezo (2020) en su tesis *“Mejoramiento y rehabilitación de la carretera vecinal Juan Guerra–Bello Horizonte con estabilización de suelo-cemento del terreno de fundación y capa de afirmado, distrito de Juan Guerra, provincia de San Martín”*, En este estudio experimental, realizado en una vía vecinal de bajo tránsito (IMD \approx 48 vehículos/día), se aplicaron diferentes dosificaciones de suelo-cemento en el terreno de fundación y en el afirmado, utilizando cemento Portland Tipo I. Se determinó que el CBR inicial del afirmado sin cemento era de 4,69 %, valor que no cumplía con los requisitos para uso vial. No obstante, con la incorporación de cemento, el CBR se incrementó a más del 20 %, lo que permitió reducir el espesor del afirmado de 37 cm a 15 cm. Estos resultados evidencian que la adición de cemento Portland Tipo I mejora significativamente la capacidad portante del afirmado, optimizando tanto su desempeño técnico como su eficiencia estructural.

Casamayor y Castillo (2023) en su investigación *“Adición del cemento Portland para mejorar el índice CBR en el pavimento en H.U.P. Unión del Sur, Nuevo Chimbote”*. En este estudio experimental se aplicaron porcentajes de 2 %, 4 % y 6 % de cemento Portland Tipo I en la subrasante y un 3 % en la capa de base del afirmado, utilizando material granular proveniente de una cantera local. Los resultados mostraron un incremento significativo del índice CBR en ambas capas, indicando que el tratamiento permitió optimizar hasta en un 50 % el espesor estructural del pavimento. Esto evidencia

una mejora notable en la capacidad portante del mismo, de acuerdo con los métodos de diseño AASHTO empleados.

2.1.3 Antecedentes Locales

Según Cruz (2023) *“Influencia del cemento en la resistencia del afirmado de la calle Isaac Newton, Jaén – Cajamarca”*, evaluó la influencia del cemento Portland Tipo I sobre la resistencia del suelo del afirmado de la Calle Isaac Newton, en San Camilo, ciudad de Jaén. Se analizaron tres muestras de suelo, destacando la muestra C-1, clasificada como A-4(5) según AASHTO. Al estabilizar el suelo con 2 %, 4 % y 6 % de cemento Portland Tipo I, se observó una disminución progresiva del índice de plasticidad en aproximadamente 12,5 % por cada porcentaje de cemento añadido, junto con un aumento significativo del índice CBR. Con un 2 % de cemento, el CBR se incrementó un 59 %; con 4 %, un 72 %; y con 6 %, alcanzó un 118 %. Estas mejoras permitieron reclasificar el afirmado como regular al aplicar 2 % y 4 % de cemento, y como bueno al utilizar 6 %. Los resultados evidencian que la adición de cemento Portland Tipo I mejora de manera favorable el índice CBR y reduce el índice de plasticidad, contribuyendo de forma significativa a la estabilización y optimización del suelo para afirmado.

Tasilla (2023) en su investigación *“Influencia de Cemento Portland tipo I, como agente estabilizador de afirmado en el camino vecinal Emp. CA-1459 (La Colpa)-Agopampa Huacariz-Agocucho”*, evaluó la mejora del afirmado mediante la aplicación de cemento Portland Tipo I en distintas dosificaciones. El CBR inicial de las muestras sin estabilizar fue de 36,07 %, inferior al valor mínimo del 40 % establecido por la normativa MTC 2013. Con la estabilización del afirmado utilizando cemento Portland Tipo I, se observó un incremento progresivo del CBR, lo que evidencia que el empleo de este cemento fue fundamental para optimizar la capacidad portante del afirmado.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Carretera

Es una infraestructura vial proyectada para la circulación de vehículos. Está compuesta por una superficie pavimentada que facilita el desplazamiento seguro y eficiente. Pueden tener una sola calzada (un sentido) o de doble calzada (dos sentidos), y suelen conectarse con otras vías para formar redes de transporte que permiten la comunicación entre ciudades. (Arellano y Gonzales, 2021)

2.2.1.1 Clasificación de las Carreteras.

a) Por su función

- Carreteras que conforman la Red Vial Nacional.
- Carreteras que conforman la Red Vial Departamental o Regional.
- Carreteras que conforman la Red Vial Vecinal.

b) Por su orografía y clima

Carreteras que atraviesan terrenos planos, ondulados, accidentados y escarpados. Ubicados en la costa (poca lluvia), sierra (lluvia moderada) y selva (muy lluviosa). (Aliaga y Soriano, 2019)

2.2.1.2 Carreteras No Pavimentadas.

Vías de tránsito reducido, menor a 200 vehículos diarios, con superficies de rodadura compuestas por materiales granulares, suelos estabilizados o terreno natural, diseñadas para brindar conectividad básica en zonas rurales. (Aliaga y Soriano, 2019)

2.2.1.3 Carreteras Afirmadas.

Constituidas por materiales naturales o procesados y compactados, estas capas actúan como superficie de rodadura en vías no pavimentadas. Su función principal es

resistir las cargas del tránsito y las tensiones estructurales del transporte vehicular. (Aliaga y Soriano, 2019)

2.2.1.4 Afirmado.

Capa compactada de material granular, natural o procesado, diseñada con una gradación precisa para resistir directamente el peso y los esfuerzos mecánicos generados por el tráfico. (MEF, 2015):

- Requiere una mezcla equilibrada de finos cohesivos que actúen como ligante natural para mantener las partículas granulares unidas y estables.
- Sirve como la capa de rodadura en carreteras de bajo volumen de tránsito.

2.2.2 Suelo

Son partículas minerales naturales que se separan fácilmente mediante procesos mecánicos sencillos, como la agitación en agua o medios de baja intensidad. (Arellano y Gonzales, 2021)

2.2.2.1 Clasificación de los Suelos.

Los métodos de clasificación categorizan suelos en grupos según propiedades mecánicas como granulometría y límites de Atterberg.

Actualmente, predominan dos sistemas de clasificación:

- Sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- Sistema unificado de clasificación de suelos (Unified Soil Classification System (también es el sistema de la ASTM).

El sistema de la AASHTO se emplea principalmente para la clasificación de las capas del pavimento de una carretera. (Braja, 2015)

2.2.2.1.1 Sistema de Clasificación AASHTO.

Según Braja (2015), el sistema AASHTO categoriza los suelos en siete grupos (del A-1 al A-7) evaluando su granulometría y límites de Atterberg. Los grupos A-1, A-2 y A-3 corresponden a materiales granulares de grano grueso, ideales para pavimentos. En contraste, los grupos del A-4 al A-7 agrupan materiales de grano fino.

Para determinar la calidad de un suelo, se utiliza el Índice de Grupo (IG), según lo propuesto por Braja (2015). Este indicador permite una valoración cualitativa de la eficiencia del material, a medida que el valor numérico aumenta, la calidad del suelo para fines viales disminuye proporcionalmente. Un resultado de 20 o superior califica al material como altamente deficiente para la construcción de afirmados. La fórmula empleada para este cálculo matemático es la siguiente:

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

Donde:

F_{200} : % que pasa por la malla núm. 200.

LL : límite líquido.

IP : índice de plasticidad.

2.2.2.1.2 Sistema de Clasificación SUCS

La norma ASTM D 2487-11 establece un método estandarizado para clasificar suelos con fines ingenieriles. Este sistema se fundamenta en análisis de laboratorio que determinan la granulometría, el límite líquido y el índice de plasticidad. Su aplicación es indispensable cuando se busca una categorización técnica precisa para el diseño y construcción de infraestructuras seguras y duraderas.

El sistema clasifica los suelos en tres categorías principales: granos gruesos, finos y altamente orgánicos. Estas divisiones se desglosan en 15 grupos específicos, facilitando una identificación técnica precisa según sus propiedades físicas y composición.

2.2.2.2 Propiedades Físicas y Mecánicas de los Suelos

2.2.2.2.1 Granulometría

La clasificación precisa de los suelos requiere conocer la distribución de sus tamaños de grano. En materiales gruesos, este análisis granulométrico se realiza mediante el tamizado con mallas, permitiendo identificar la proporción de cada partícula dentro de la masa del suelo evaluada. (Arellano y Gonzales, 2021)

Según Braja (2015), la granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un suelo, calculada como el porcentaje del peso total de la muestra seca. El tamaño se define por el diámetro de los granos individuales que no pueden fragmentarse bajo la acción de fuerza moderada. Este análisis técnico es fundamental para determinar el comportamiento físico y la clasificación de los suelos. (Cedeño, 2013)

2.2.2.2.2 Contenido de humedad ($w\%$)

Braja (2015) define el contenido de humedad como la relación existente entre el peso del agua y el de los sólidos en una masa de suelo, permitiendo cuantificar la presencia hídrica respecto a su fase sólida.

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

Donde:

$w\%$: contenido de humedad expresado en porcentaje.

W_w : peso correspondiente al agua contenida en la muestra.

W_s : peso de la fase sólida.

2.2.2.2.3 Límites de Consistencia

La plasticidad refleja cómo varía el comportamiento del suelo según su humedad. Vásquez (2023) define límites que separan tres estados de consistencia: líquido, plástico y sólido. Estas fronteras críticas, conocidas como límites de Atterberg, permiten clasificar la respuesta mecánica del material ante cambios en su contenido de agua. Estos límites de consistencia son los siguientes:

- **Límite Líquido (LL):**

Según Vásquez (2023), se define como la transición del suelo del estado semilíquido al plástico. Su determinación requiere la copa de Casagrande, un dispositivo de bronce donde se deposita una muestra de 1cm de espesor. Tras realizar una hendidura central con un acanalador estandarizado, se somete la copa a caídas rítmicas contra su base. El contenido de humedad exacto que permite que ambos bordes de la ranura se unan en el fondo, tras impactar exactamente 25 golpes, constituye el valor del límite líquido, parámetro esencial para entender la cohesión y deformabilidad del suelo.

- **Límite Plástico (LP):**

Representa el contenido de humedad donde el suelo transita del estado plástico al semisólido, perdiendo su maleabilidad y comenzando a agrietarse. Este parámetro se expresa como un porcentaje basado en el peso del suelo seco. Para su medición, se utilizan aproximadamente 80 gramos de material tamizado por la malla N°40. El procedimiento consiste en añadir agua gradualmente hasta alcanzar una consistencia que permita formar manualmente cilindros de 3.2 mm de diámetro. El punto exacto en el que estos rollitos se fragmentan o presentan fisuras superficiales indica que se ha alcanzado el límite plástico.

Esta prueba es fundamental para comprender la cohesión y las variaciones volumétricas del terreno ante cambios en su grado de saturación. (Vásquez, 2023)

La fórmula para determinar el límite plástico es:

$$LP = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100 = \frac{P_w}{P_s} * 100$$

Donde:

LP: Límite plástico (%).

Ph: Peso de los trozos de filamentos húmedos en g.

Ps : Peso de los trozos de filamentos secos en g.

Pw : Peso correspondiente al agua contenida en los filamentos pesados en g.

- **Índice de Plasticidad (IP):**

Mide el rango donde el suelo es plástico, representando la diferencia porcentual entre sus límites de consistencia y su capacidad de deformación. (Vásquez, 2023)

Se índice de plasticidad se define como la diferencia entre los límites líquido y plástico:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP : Índice de plasticidad

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

Un IP elevado indica un suelos altamente arcillosos; mientras que, un IP menor caracteriza a suelos poco arcillosos. (Vásquez, 2023)

2.2.2.2.4 Densidad del Suelo

Representa la relación entre la masa de las partículas sólidas y su volumen, expresada comúnmente en gramos por centímetro cúbico (g/cm³). (Braja, 2015)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ : densidad del suelo (g/cm³).

m : masa total de la muestra de suelo (g).

V : volumen de la muestra de suelo (cm³).

La densidad se puede medir en diferentes condiciones, como densidad seca (sin humedad) o densidad húmeda (con contenido de agua).

$$\rho_d = \frac{m_s}{V}$$

Donde:

ρ_d : densidad seca del suelo (g/cm³).

m_s : masa de sólidos del suelo de la muestra (g).

V : volumen de la muestra de suelo (cm³).

2.2.2.2.5 Compactación

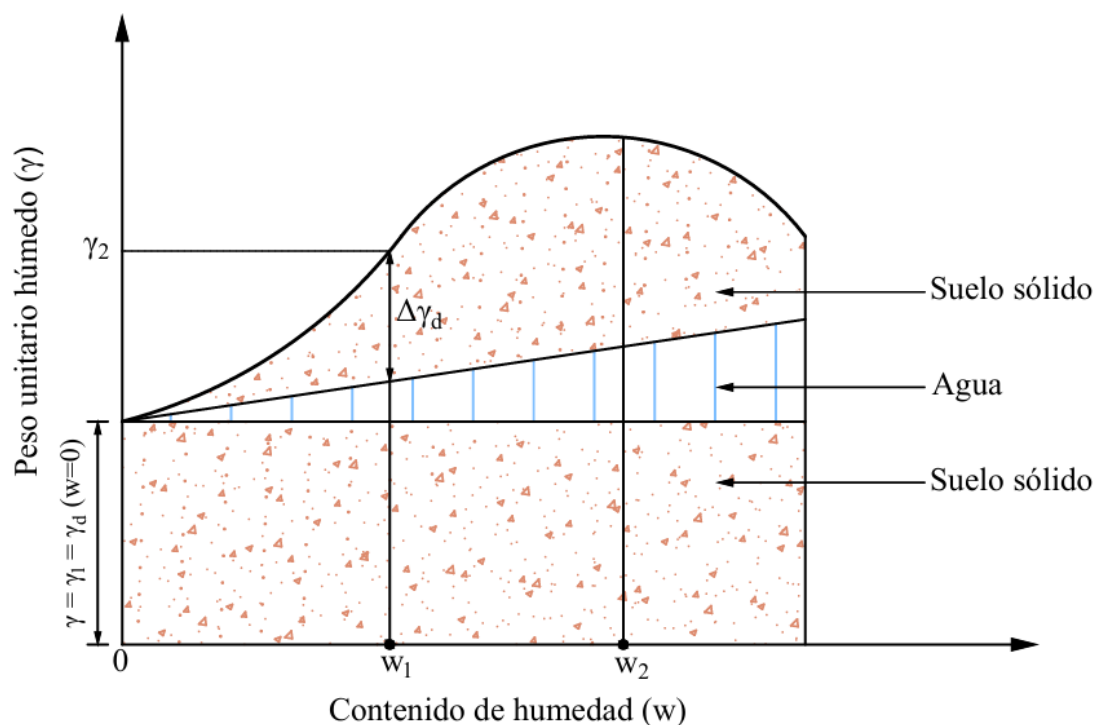
Se calcula en función del peso unitario seco. Según Braja (2015), el agua facilita el deslizamiento entre partículas al actuar como lubricante, permitiendo que estas se

reacomoden en una estructura más densa y empaquetada, reduciendo así los vacíos dentro de la masa del suelo.

$$\gamma = \gamma_d(w=0) = \gamma_1$$

Figura 1

Principios de Compactación.



Fuente: Adaptado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja, 2015).

Al aumentar gradualmente la humedad bajo un esfuerzo constante de compactación, el peso unitario seco del suelo se incrementa, logrando un reacomodo de partículas que eleva la densidad de la masa sólida.

El suelo en compactación constituye un sistema de tres fases: sólido, aire y agua. Según Braja (2015), inicialmente predomina el aire en los vacíos; no obstante, el proceso incrementa progresivamente la presencia de partículas sólidas y líquidos. Incluso al

alcanzar la humedad óptima, donde se logra la mayor densidad seca, persiste un volumen significativo de aire atrapado. Este fenómeno demuestra que la compactación mecánica redistribuye las fases sin eliminar completamente los espacios gaseosos del terreno.

Cuando un suelo tiene poca humedad, el agua forma capilares que aprietan las partículas, creando grumos difíciles de romper en suelos finos, lo que complica la compactación. A medida que se añade más agua, esta tensión capilar disminuye, permitiendo que la misma energía de compactación sea más efectiva. El agua extra también expulsa el aire y lubrica las partículas sólidas, ayudándolas a reorganizarse y ocupar más espacio. Sin embargo, si se añade demasiada agua y el suelo se satura, el agua ya no puede desplazar aire; en su lugar, comienza a desplazar las partículas sólidas, lo que, paradójicamente, hace que ocupen menos volumen y dificulta la compactación. (Braja, 2015)

El ensayo de Proctor Modificado es el método de laboratorio estándar utilizado para identificar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad requeridos para optimizar la compactación del suelo. (Braja, 2015)

2.2.2.2.6 Ensayo de Proctor Modificado

Este procedimiento establece la correlación entre el contenido de humedad y densidad seca tras compactar el suelo en un molde. Utilizando un pisón estandarizado de lo deja caer desde una altura de 18 pulgadas, produciendo una energía específica de 56,000 ft-lbf/ft³. (MTC, 2013)

Los resultados de esta prueba permiten identificar el óptimo contenido de humedad para que el suelo logre su máxima densidad seca durante. (MTC, 2013)

El ensayo consiste en compactar el suelo dentro de un molde mediante 5 capas sucesivas, aplicando 25 o 56 golpes por nivel (de acuerdo al método del ensayo) con un pisón modificado. Tras compactar la capa final en el molde, se enrasa el material al ras

del recipiente, se registra su masa total y se calcula la densidad del suelo compactado.
(MTC, 2013)

Esta ensayo se realiza al menos en 4 ocasiones, modificando gradualmente la cantidad de agua presente en cada muestra de suelo.

Método A

- Molde: Diámetro de 4" (101.6 mm)
- Material: Pasante por la malla N°4 (4.75 mm)
- Número de Capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Aplicación: Se emplea cuando el 20% o menos del peso del material queda retenido en la malla N°4 (4.75mm)

Método B

- Molde: Diámetro de 4" (101.6 mm)
- Material: Pasante por la malla 3/8" (9.5 mm)
- Número de Capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Aplicación: Se emplea cuando el 20% del peso del material queda retenido en la malla N°4 (4.75mm) y 20% o menos de peso del material queda retenido en la malla 3/8" (9.5mm)

Método C

- Molde: Diámetro de 6" (152.4 mm)
- Material: Pasante por la malla 3/4" (19.0 mm)
- Número de Capas: 5

- Golpes por capa: 56
- Aplicación: Se emplea cuando más del 20% del peso del material queda retenido en la malla 3/8'' (9.53mm) y menos del 30% queda retenido en la malla 3/4'' (19.0mm).

2.2.2.2.7 Abrasión de los Ángeles

Es un procedimiento estandarizado para evaluar la resistencia al desgaste de materiales granulares no ligados. Los valores obtenidos reflejan principalmente la pérdida de material ocasionada por el impacto y la degradación durante los procesos de manipulación, dosificación y almacenamiento. El resultado del ensayo depende en gran medida de la morfología y tamaño de las partículas, de la resistencia de la unión entre partículas y del grado de meteorización de la roca de origen. (Mohajerani, et al., 2017)

Consiste en un proceso que combina efectos de abrasión, impacto y trituración dentro de un tambor de acero rotatorio, en el cual se introduce un número determinado de esferas de acero, definido según la granulometría de la muestra. (ASTM C 131, 2010)

Durante el giro del tambor, una repisa interna levanta el material junto con las esferas y los deja caer, generando efectos de impacto, trituración y abrasión. Este ciclo se repite constantemente, provocando la reducción progresiva del agregado. Tras la cantidad establecida de revoluciones, el material es retirado del tambor y posteriormente tamizado para calcular la pérdida de masa como porcentaje de degradación. (ASTM C 131, 2010)

2.2.2.2.8 Índice de California Bearing Ratio (CBR)

Representa la carga máxima soportable por el suelo antes de presentar asentamientos. Desarrollado originalmente en California, este parámetro es fundamental en el diseño de pavimentos. Su aplicación técnica se fundamenta en rigurosos ensayos de

laboratorio previamente tabulados y analizados, los cuales permiten comparar la resistencia de diversos terrenos frente a un patrón de referencia.

El CBR define la relación porcentual entre la carga requerida para que un pistón penetre el suelo a una profundidad específica y la fuerza necesaria sobre una muestra patrón de grava triturada, siguiendo la siguiente fórmula establecida: (Delgado, 2021)

$$CBR = \frac{\text{Presión en muestra}}{\text{Presión en muestra patrón}} \times 100$$

2.2.2.2.9 Ensayo de CBR

Este ensayo determina la resistencia al corte del suelo bajo densidad y humedad controladas, mediante la penetración de un pistón de 0.5 pulgadas cuadradas a velocidad constante. El procedimiento evalúa la calidad estructural y capacidad de soporte del terreno compactado en moldes metálicos, resultando esencial para calificar materiales destinados a la construcción de obras viales. (Calua, 2021)

El valor del CBR representa la relación porcentual entre la carga unitaria aplicada para que un pistón penetre el suelo compactado y la carga patrón de referencia. Este ensayo considera condiciones específicas de humedad y densidad, permitiendo comparar la resistencia del terreno analizado frente a un material estándar de alta calidad bajo profundidades de penetración previamente normalizadas en laboratorio. (Calua, 2021)

Generalmente, el índice CBR se reporta a 2.54 mm (0.1”) de penetración. Si el valor a 5.08 mm (0.2”) es superior, se debe repetir la prueba para verificar el resultado. De confirmarse resultados similares, se adopta oficialmente el resultado obtenido a los 5.08 mm (0.2”). (Calua, 2021)

2.2.3 *Cemento*

Es un material empleado en ingeniería para optimizar las propiedades mecánicas de terrenos destinados para pavimentación. Al integrar cemento, se originan reacciones químicas que forman compuestos cementantes, mejorando significativamente la estabilidad estructural, resistencia y capacidad de carga. Esta técnica resulta fundamental para construir bases y subbases duraderas. (Aguila y Márquez, 2021)

2.2.3.1 *Cemento Portland Tipo I*

De acuerdo con Velásquez (2018), esta técnica optimiza la resistencia, durabilidad y valor CBR del afirmado, permitiendo que la infraestructura soporte eficientemente el flujo vehicular constante y las exigencias climáticas adversas.

2.2.3.2 *Estabilización de Suelos con Cemento*

Consiste en mezclar Cemento Portland con un suelo natural para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Este proceso transforma suelos con baja calidad en bases estables y resistentes, adecuadas para la construcción de carreteras y pavimentos. Al añadir cemento al suelo, se produce una reacción química llamada hidratación, que forma compuestos cementantes que unen las partículas del suelo, aumentando su resistencia a la compresión, reduciendo su permeabilidad y mejorando su capacidad de soportar cargas pesadas. Además, la estabilización disminuye la sensibilidad del suelo a los cambios de humedad, previniendo problemas como hinchazón, contracción o erosión. (Aguila y Márquez, 2021).

El procedimiento requiere integrar cemento al suelo, compactar la mezcla y aplicar un curado apropiado para asegurar su endurecimiento. Aunque es una técnica económica y sostenible, su efectividad reside en la correcta dosificación, el tipo de terreno y el control riguroso de las variables ambientales durante la ejecución. (Aguila y Márquez, 2021).

2.3 Definición de Términos Básicos

2.3.1 Carretera

Es una vía pública diseñada y construida con el propósito principal de permitir la circulación de vehículos. (Aliaga y Soriano, 2019)

2.3.2 Afirmado

Corresponde a una capa debidamente compactada, conformada por una mezcla de tres tamaños de materiales distintos: piedras, arenas y partículas finas seleccionadas. (Aliaga y Soriano, 2019)

2.3.3 Índice de CBR

Este indicador evalúa la resistencia y la capacidad de carga que posee un suelo determinado. (Arellano y Gonzales, 2021)

2.3.4 Cemento Portland Tipo I

Este material surge de pulverizar clinker portland, integrando ocasionalmente sulfato de calcio. (Arellano y Gonzales, 2021)

2.3.5 Estabilización

Proceso físico o químico usado para mejorar y optimizar el desempeño mecánico de un suelo. (Arellano y Gonzales, 2021)

2.3.6 Afirmados Estabilizados con Cemento

Esta mezcla se logra integrando meticulosamente material de afirmado disgregado con cemento, agua y aditivos opcionales; posteriormente, se requiere un proceso riguroso de compactación y curado adecuado. (Aguila y Márquez, 2021)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación Geográfica de la Investigación

El estudio realizado se ubica en la carretera Cochamarca – Río Seco, en el distrito de Gregorio Pita, provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca.

País : Perú

Departamento : Cajamarca

Provincia : San Marcos

Distrito : Gregorio Pita

Figura 2

Ubicación departamental del tramo en estudio.



Fuente: Adaptado de Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Figura 3

Ubicación provincial del tramo en estudio.



Fuente: Adaptado de Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Figura 4

Ubicación distrital del tramo en estudio.



Fuente: Adaptado de Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Tabla 1

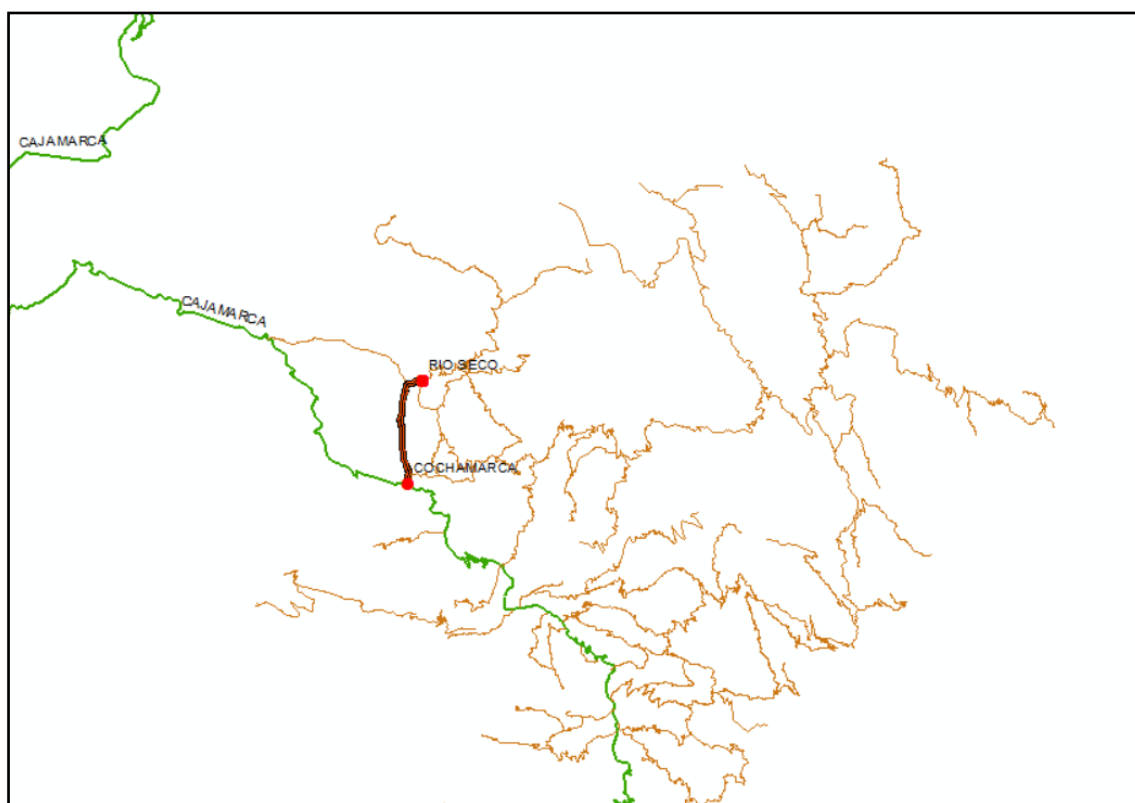
Coordenadas UTM y Geográficas de la Investigación Realizada.

Punto	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas		Cota (m.s.n.m.)
	Este	Norte	Latitud	Longitud	
Inicial	807312.051	9194064.174	7° 16' 57.35''	78° 13' 01.27''	2853.305
Final	807193.063	9198834.283	7° 14' 22.22''	78° 13' 06.10''	2855.446

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5

Ubicación geográfica del tramo en estudio.



Fuente: Adaptado de Instituto Geográfico Nacional (IGN).

En la figura anterior se puede observar el tramo estudiado que corresponde a la carretera Cochamarca – Río Seco, comprendido entre las progresivas 00+000 hasta 05+000.

3.2 Metodología de la Investigación

3.2.1 Tipo, Nivel y Diseño de Investigación

3.2.1.1 Tipo de Investigación

Es del tipo aplicada, puesto que pretende dar solución a una problemática como mejorar la capacidad de soporte del afirmado de la carretera por medio de la adición de cemento Portland Tipo I. Los resultados obtenidos no solo generan conocimiento teórico, sino que también pueden aplicarse directamente en el diseño y ejecución de obras viales, aportando soluciones concretas y útiles para la práctica profesional.

3.2.1.2 Nivel de Investigación

La investigación relaciona el comportamiento de dos variables, una dependiente (Índice de California Bearing Ratio) y una independiente (Porcentajes de Cemento Portland Tipo I), por lo que el nivel de investigación es correlacional.

3.2.1.3 Diseño de Investigación

El diseño es experimental ya que nos permite evaluar el efecto de la variable independiente (Porcentajes Cemento Portland Tipo I) sobre la variable dependiente (Índice de California Bearing Ratio).

3.2.1.4 Método de Investigación

Durante el estudio se aplicaron los siguientes métodos de investigación:

- **Método Empírico: Método experimental.** Permitió evaluar los efectos de la incorporación de Cemento Portland Tipo I en el Índice de CBR del afirmado de la vía Cochamarca – Río Seco. El diseño comparó los resultados del material sin

aditivo frente a los tratados con aditivo, demostrando de manera objetiva el incremento del CBR del afirmado y permitiendo validar la hipótesis planteada.

- **Método lógico: Hipotético-deductivo.** Se estableció la hipótesis indicando que el uso de Cemento Portland tipo I en proporciones de 2%, 4% y 6% incrementa el Índice CBR del material. Esta hipótesis fue verificada mediante ensayos CBR en laboratorio, comparando los resultados con el material sin estabilizar.

3.2.2 Población y Muestra de Estudio

3.2.2.1 Población de Estudio

Afirmado que fue obtenido de la Cantera El Mirador de Cochamarca.

3.2.2.2 Muestra

Las muestras han sido determinadas por conveniencia. Estas serán evaluadas para cada porcentaje de cemento, las cuales se precisan en la siguiente tabla:

Tabla 2

Muestras de la investigación realizada.

Porcentajes de Cemento Portland Tipo I	Probetas para ensayo de CBR	Probetas para ensayo de compactación
0%	3	5
2%	3	5
4%	3	5
6%	3	5
Parcial	12	20
Total	32	

3.2.2.3 Unidad de Análisis

La influencia del Cemento Portland tipo I en porcentajes de 0%, 2%, 4% y 6% en el índice CBR del afirmado.

3.2.2.4 Unidad de Observación

Probetas de afirmado con distintos porcentajes de cemento Portland Tipo I (0%, 2%, 4% y 6%).

3.2.3 *Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos*

3.2.3.1 Técnicas

Las técnicas utilizadas en la investigación fueron:

Observación directa porque permitió verificar de manera personal las condiciones reales de la carretera evaluada, así como los parámetros físicos del material del afirmado.

Experimentación, esta técnica permitió evaluar los cambios en el CBR del afirmado al incorporar distintos porcentajes de cemento.

3.2.3.2 Instrumentos

Se emplearon formatos específicos de cada ensayo, para registrar los datos. El uso de estos formatos garantizó la consistencia de los resultados, permitiendo posteriormente un análisis detallado y riguroso de cada uno de estos.

3.2.3.3 Equipos y Materiales Utilizados

Equipos

- Horno con temperatura constante
- Balanza para muestras de menos de 200 g con sensibilidad de 0.01g
- Balanza de 20 Kg de capacidad con sensibilidad de 0.01g.
- Taras
- Juego de Tamices (1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200)
- Recipientes para muestras

- Copa de Casagrande
- Ranurador de bronce
- Espátula
- Vidrio esmerilado
- Equipo para compactación (Proctor Modificado): molde de 6 pulgadas, collar de extensión y plato base
- Pisón manual de $4,54 \pm 0,01$ kg
- Regla recta metálica para enrasar
- Equipo CBR: Molde con base de 6 pulgadas, disco espaciador, collar
- Placa de metal perforada con vástago
- Trípode
- Sobrecarga circular y sobrecarga ranurada
- Máquina para ensayo de penetración
- Diales (10 mm y 30 mm de recorrido con divisiones de 0,01 mm)
- Tanque para la inmersión
- Máquina de los Ángeles y esferas de acero de diámetro de 46.8 mm y pesas con una masa entre 390 g y 445 g.)

Materiales

- Afirmado
- Cemento Portland Tipo I

3.2.4 *Procedimiento*

3.2.4.1 **Primera Fase: Recolección y Preparación de las Muestras de Afirmado.**

- Se identificó el tramo en estudio.
- Se ubicó la cantera.

- Se obtuvieron las muestras de cantera.

3.2.4.2 Segunda Fase: Ensayos de Laboratorio.

A las muestras extraídas de la cantera se realizó:

- Ensayo de Análisis Granulométrico de acuerdo a la norma MTC E 107.
- Ensayo de Contenido de Humedad de acuerdo a lo especificado en la norma MTC E 108.
- Ensayo de Límite Líquido y Límite Plástico de acuerdo a las normas MTC E 110 y MTC E 111 respectivamente.
- Con los resultados de los ensayos anteriores se procedió a clasificar las muestras de afirmado de acuerdo a los sistemas de clasificación AASHTO y SUCS.
- Ensayos de Proctor Modificado de las muestras de afirmado con los porcentajes de cemento (0%, 2%, 4% y 6%). Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma MTC E 115 y se obtuvo el Óptimo Contenido de Humedad (OCH) y la Máxima Densidad Seca (MDS).
- Ensayos de CBR de las muestras de afirmado con cada uno de los porcentajes de cemento, de acuerdo a la norma MTC E 132.
- Ensayo de Abrasión de los Ángeles en concordancia con la norma MTC E 207.

3.2.5 Técnicas e instrumentos de procesamiento de datos.

Técnicas: Se utilizaron las estadísticas descriptivas para el análisis e interpretación de los datos recolectados.

Instrumentos: Los softwares usados para este fin fueron Microsoft Excel, Word, Autodesk AutoCAD, ArcMap 10.8; lo cual permitió facilitar el procesamiento de la información recopilada de los ensayos, así como la presentación de resultados ilustrados en tablas, planos y gráficos estadísticos.

3.2.5.1 Presentación de Resultados

3.2.5.1.1 Contenido de Humedad

Tabla 3

Resultados de ensayo de contenido de humedad.

Contenido de humedad (%)	4.56
--------------------------	------

3.2.5.1.2 Análisis Granulométrico

Tabla 4

Resultados de ensayo de granulometría.

Tamiz N°	% Que Pasa
1"	91.34
3/4"	82.05
1/2"	71.60
3/8"	62.24
1/4"	55.87
N° 4	48.26
N° 10	38.71
N° 20	34.40
N° 40	30.20
N° 60	15.47
N° 100	5.58
N° 200	2.12
Cazoleta	----

Tabla 5*Clasificación del afirmado por el Sistema AASHTO y SUCS.*

Clasificación del Suelo	
SUCS	GP
AASHTO	A-1-b(0)

3.2.5.1.3 Límites Atterberg**Tabla 6***Resultados de Límites de Atterberg.*

Descripción	Muestra
Límite Líquido	N.P.
Límite Plástico	N.P.
Índice de Plasticidad	N.P.

3.2.5.1.4 Proctor Modificado**Tabla 7***Resultados de ensayo de Proctor Modificado.*

Dosificación de cemento	DMS (g/cm ³)	OCH (%)
0.00%	1.990	6.90
2.00%	2.056	7.20
4.00%	2.114	7.70
6.00%	2.176	7.10

Figura 6

Curvas de compactación con porcentajes de cemento (0%, 2%, 4% y 6%).

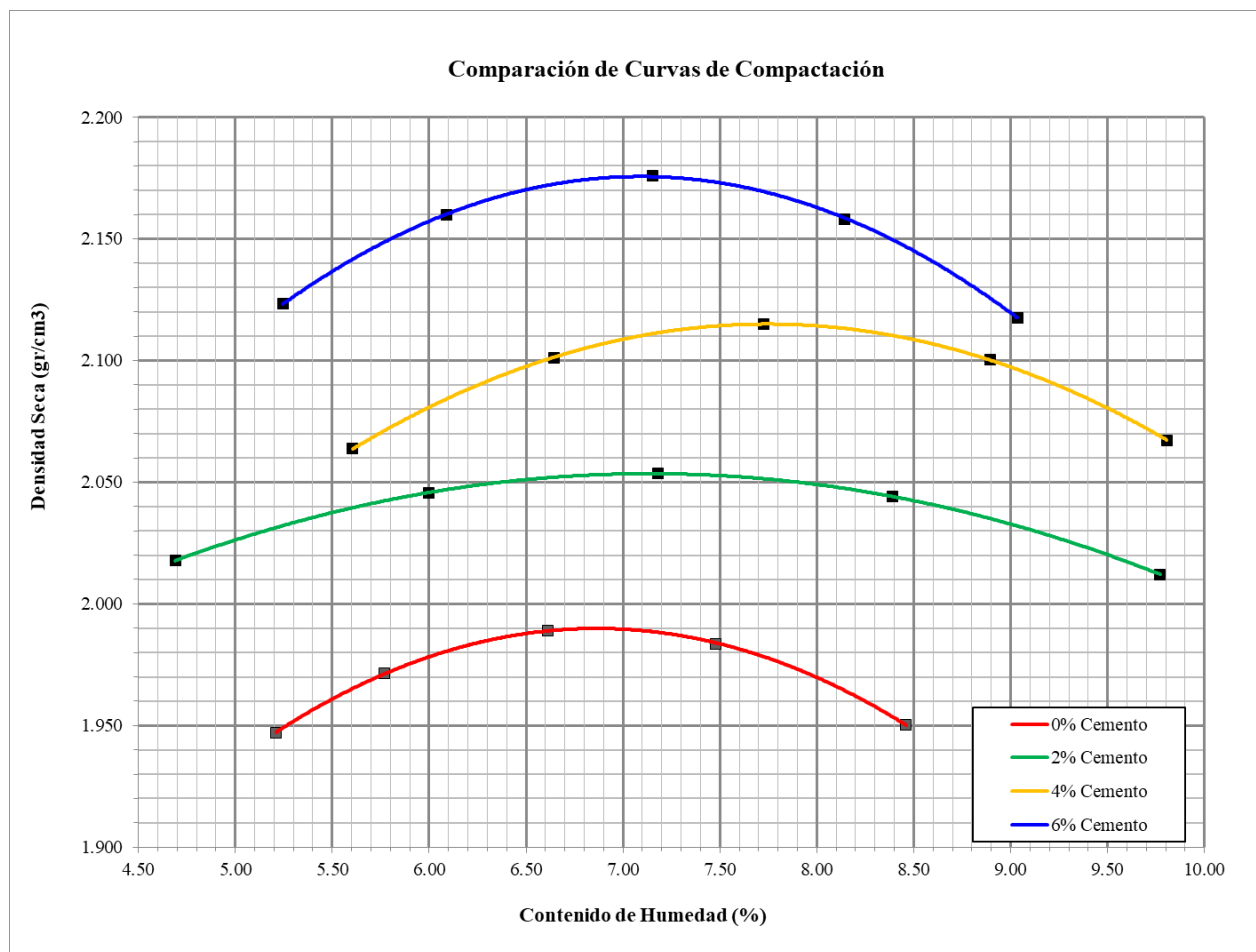


Figura 7

Porcentaje de Cemento vs Óptimo Contenido de Humedad.

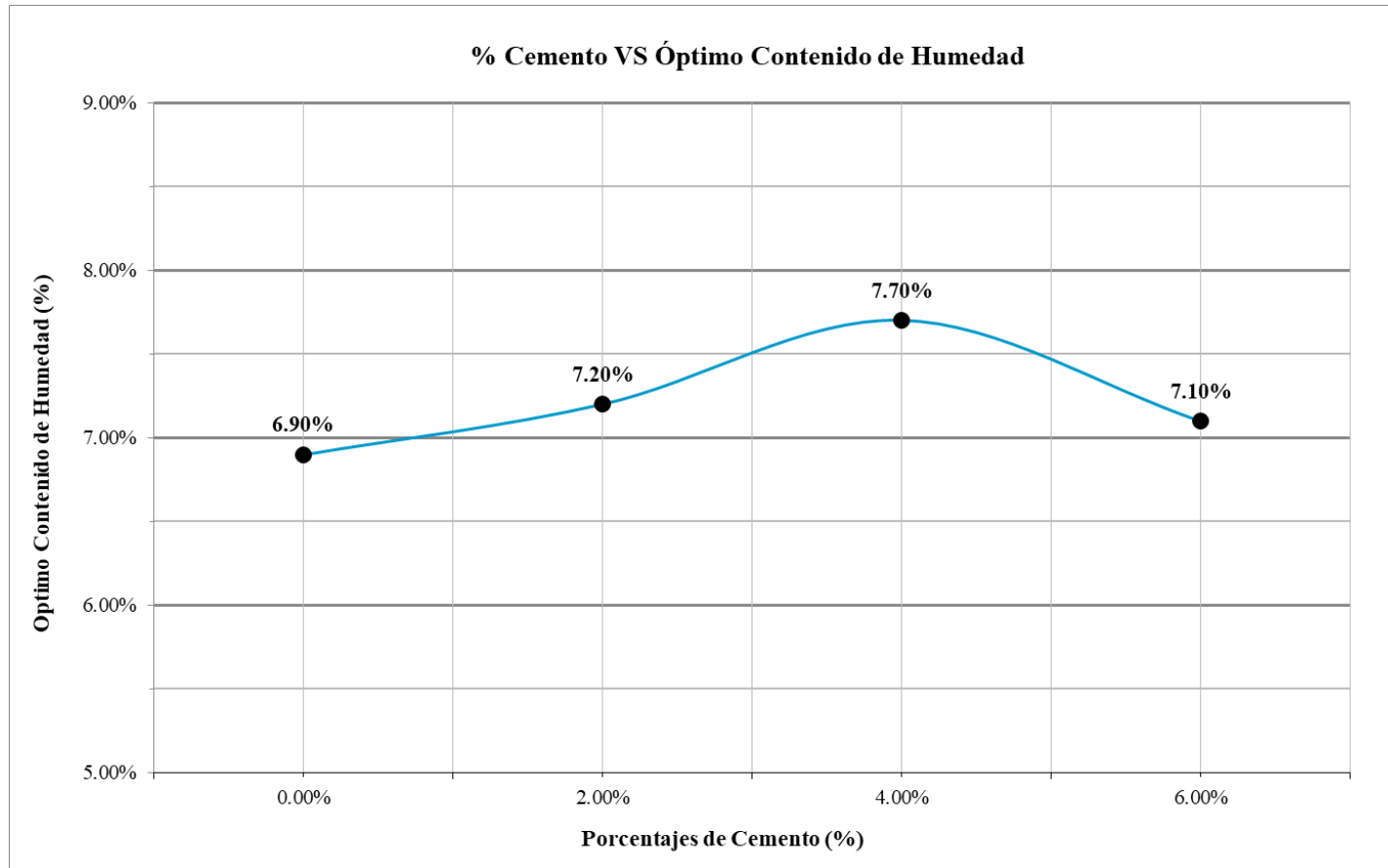
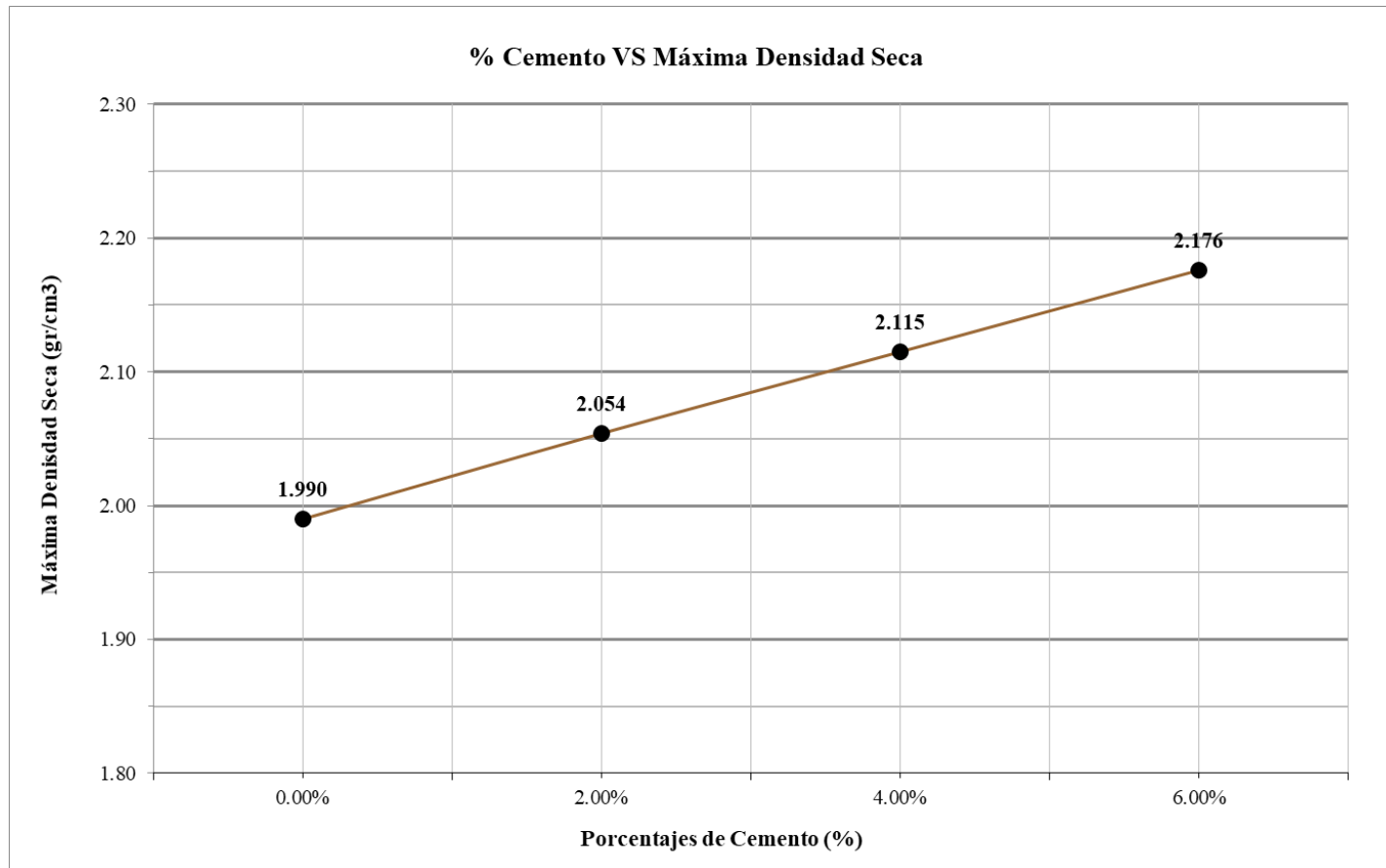


Figura 8

Porcentaje de Cemento vs Máxima Densidad Seca.



3.2.5.1.5 California Bearing Ratio (CBR)

Tabla 8

Resultados de ensayo de CBR para 0.1" y 0.2" de penetración.

Dosificación de cemento	Penetración de carga	CBR (%)
0.00%	CBR al 95% MDS (0.1")	33.74
	CBR al 100% MDS (0.1")	39.23
	CBR al 95% MDS (0.2")	27.30
	CBR al 100% MDS (0.2")	31.83
2.00%	CBR al 95% MDS (0.1")	40.80
	CBR al 100% MDS (0.1")	44.92
	CBR al 95% MDS (0.2")	32.97
	CBR al 100% MDS (0.2")	35.94
4.00%	CBR al 95% MDS (0.1")	61.16
	CBR al 100% MDS (0.1")	69.78
	CBR al 95% MDS (0.2")	48.07
	CBR al 100% MDS (0.2")	55.47
6.00%	CBR al 95% MDS (0.1")	61.46
	CBR al 100% MDS (0.1")	72.59
	CBR al 95% MDS (0.2")	47.92
	CBR al 100% MDS (0.2")	56.73

Tabla 9

Resultados de ensayo de CBR considerados para el diseño.

Dosificación de cemento	Penetración de carga	CBR (%)
0.00%	CBR al 95% MDS (0.1")	33.74
	CBR al 100% MDS (0.1")	39.23
2.00%	CBR al 95% MDS (0.1")	40.80
	CBR al 100% MDS (0.1")	44.92
4.00%	CBR al 95% MDS (0.1")	61.16
	CBR al 100% MDS (0.1")	69.78
6.00%	CBR al 95% MDS (0.1")	61.46
	CBR al 100% MDS (0.1")	72.59

Tabla 10

Porcentaje de mejora del CBR para cada dosificación de cemento.

Dosificación de cemento	CBR para 0.1" (al 100% de la MDS)	% Mejora
0.00%	39.23	
2.00%	44.92	14.52%
4.00%	69.78	77.88%
6.00%	72.59	85.06%

3.2.5.1.6 Desgaste de los Ángeles

Tabla 9

Resultados de ensayo de Desgaste de los Ángeles.

% Desgaste	51.25%
------------	--------

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis y Discusión

4.1.1 *Contenido de Humedad*

Según la Tabla N° 3, el contenido de humedad para el afirmado extraído de la cantera el Mirador de Cochamarca es de 4.56%, por ser un material granular poco cohesivo y seco.

4.1.2 *Clasificación del afirmado*

De acuerdo a la Tabla N°4 es un suelo granular, el cual presenta un 2.12% de finos que pasan por la malla N°200, un valor permisible según lo establecido en el Manual de Carreteras Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción (máx. 35%), esto favorece a la compactación al poseer un adecuado %e de finos. Asimismo en la Tabla N° 5, el material ensayado se clasifica como un suelo GP (SUCS) y como un suelo A-1-b(0) (AASHTO), se evidencia que se trata de una mezcla de grava y arena con poco o nada de finos (grava mal graduada)

El material no presenta plasticidad ($LL=NP$, $LP=NP$ y $IP=NP$), reflejando ser un material que se comporta como un sólido quebradizo, como se puede observar en la Tabla N° 6.

4.1.3 *Proctor Modificado y CBR*

Para un porcentaje del 0%, según la Tabla N° 7 se obtuvo que la Máxima Densidad Seca fue de 1.99 g/cm³ para un Óptimo Contenido de Humedad de 6.90%. De acuerdo con la Tabla N° 9, se alcanzó un CBR de 39.23% al 100% MDS (0.1’’), este valor no supera lo requerido por el MTC (mínimo 40% CBR), por lo que se necesita realizar un mejoramiento de las características físicas y mecánicas del agregado.

Para un porcentaje del 2% de cemento se obtuvo una MDS de 2.054 g/cm³ para un OCH de 7.20% y un CBR del 44.92% al 100% MDS (0.1’’), mejorando la capacidad de soporte en comparación con no añadir cemento al afirmado.

La MDS que se obtuvo para un porcentaje de cemento del 4% es de 2.115 g/cm³ para un OCH de 7.70%, el valor de CBR que se obtuvo para este porcentaje de cemento fue de 69.78% al 100% MDS (0.1’’), mejorando en gran medida las características mecánicas del afirmado.

Cuando se realizó la estabilización con el porcentaje de 6% de cemento se obtuvo una MDS de 2.176 g/cm³ para un OCH de 7.10%, además de obtener un CBR de 72.59% al 100% MDS (0.1’’). Como se puede observar según el CBR sigue mejorando las capacidades mecánicas del afirmado en comparación con porcentajes menores.

Las curvas de compactación obtenidas en el ensayo de Proctor Modificado para cada uno de los porcentajes se pueden contrastar en la Figura N° 6. En la Figura N° 7 se muestra un gráfico comparativo de los distintos porcentajes de cemento y la variación del Óptimo Contenido de Humedad, de igual manera en la Figura N° 8 se muestra un gráfico similar al anterior, indicando la variación de la Máxima Densidad Seca para cada uno de los porcentajes de Cemento Portland Tipo I.

De los resultados presentados del ensayo de CBR en la Tabla N° 9, los considerados para el diseño son los de 2.54mm (0.1’’) de penetración, conforme lo indica la norma MTC E 132.

4.1.4 *Desgaste de los Ángeles*

El material para afirmado obtuvo un desgaste de 51.25% en el ensayo de Abrasión de los Ángeles según la Tabla N° 9, valor que supera el límite máximo establecido por el MTC ($\leq 50\%$) para garantizar la resistencia al desgaste y a la fragmentación de los

agregados cuando son sometidos a impacto y fricción. El resultado evidenció que el material presenta una resistencia insuficiente al desgaste, lo que limita su empleo directo en afirmado

4.2 Contrastación de Hipótesis

De acuerdo con el estudio realizado, los resultados determinados y contrastando con la hipótesis la adición de Cemento Portland Tipo I en proporciones de 2%, 4% y 6% incrementa el Índice de CBR del afirmado de la carretera Cochamarca – Río Seco, distrito de Gregorio Pita, provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca, entre el Km 00+000 al Km 05+000.

La hipótesis formulada se valida, puesto que los valores de CBR alcanzados al incorporar Cemento Portland Tipo I aumenta hasta en un 85.06% para su uso como afirmado de la carretera Cochamarca – Río Seco.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El suelo se clasifica como suelo GP de acuerdo al Sistema de Clasificación SUCS y según el Sistema de Clasificación AASHTO como A-1-b(0).

La incorporación de cemento Portland Tipo I en el afirmado de la carretera Cochamarca – Río Seco mejora significativamente el Índice CBR en comparación con el material natural. Sin adición de cemento, el CBR alcanzó valores de 33.74% al 95% MDS y 39.23% al 100% MDS, mientras que con una dosificación del 6% de cemento, los valores máximos aumentaron a 61.46% al 95% MDS y 72.59% al 100% MDS, demostrando que esta proporción es efectiva para mejorar la capacidad de soporte del afirmado.

El afirmado de la cantera El Mirador de Cochamarca sin aditivo presentó un 2.12% de finos que pasan por la malla N°200, dentro del rango permitido por el MTC, y se clasificó como no plástico (NP), lo que refleja un suelo granular sin problemas de expansión; sin embargo, su Máxima Densidad Seca fue de 1.99 g/cm³ con un Óptimo Contenido de Humedad de 6.90%, y su CBR al 100% MDS (0.1'') fue de 39.23%, valor que no cumple lo requerido por el MTC (mínimo 40%). Con la adición de cemento Portland Tipo I, los resultados de CBR tienen un incremento significativo; incluso con solo un 2% de aditivo, el CBR al 100% MDS (0.1'') es de 44.92% superando el mínimo requerido, y con porcentajes mayores de 4% y 6% se alcanzaron valores de 69.78% y 72.59% respectivamente, lo que representa mejoras en las capacidades mecánicas del afirmado en comparación con un afirmado sin la incorporación de Cemento.

La Adición del aditivo en un porcentaje de 2% mejora en un 14.52% el CBR del afirmado, para un porcentaje de cemento de 4%, la mejora del CBR aumenta en un

77.88% y para una mezcla con 6% de cemento, el Índice de CBR mejora en un 85.06% en comparación a un afirmado sin incorporación de cemento.

5.2 Recomendaciones

Realizar investigaciones complementarias orientadas a evaluar el efecto del uso de diferentes porcentajes y tipos de aditivos estabilizantes en afirmados de carreteras de características similares, a fin de comparar su influencia en el índice CBR.

Seguir realizando investigaciones respecto a este tema y poder llegar a un límite máximo de porcentaje de cemento que se puede aplicar para una estabilización de afirmado, ya que llegará un punto donde el CBR ya no mejorará.

REFERENCIAS

- Aguila, A. y. (2021). *Análisis de estabilización con emulsión asfáltica y con cemento portland para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]*. Repositorio institucional, Lima - Perú. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4650>
- Alarcón Hernández, J. (2024). *Influencia del cemento Portland tipo I en las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, 2023. [Tesis de pregrado - Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio institucional, Jaén, Cajamarca, Perú. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/7085>
- Aliaga Rezza, F. R., & Soriano Ochoa, C. E. (2019). *Análisis Comparativo de Estabilización con Cemento Portland y Emulsión Asfáltica en Bases Granulares. [Tesis de pregrado. Universidad Ricardo Palma]*. Repositorio Institucional, Lima - Perú. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2673>
- Arellano Delgado, G. A., & Gonzales Diaz, E. G. (2021). *Dosificación en porcentaje del cemento portland para el mejoramiento de las propiedades de los suelos en carreteras de bajo volumen de tránsito. [Tesis de pregrado - Universidad Ricardo Palma]*. Repositorio institucional, Lima. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4722>
- Becerra Agurto, C. A., & Calderon Banda, C. E. (2023). *Influencia del cemento portland tipo I en la capacidad soporte (cbr) de la subrasante de la avenida Arana Vidal Sector la Colina, Jaén 2021. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Jaén]*.

Repositorio institucional, Jaén - Cajamarca. Obtenido de Obtenido de:
<http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/486>

Braja M., D. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones* (Séptima edición ed.). Ciudad de México, México: Cengage Learning.

Braja M., D. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta edición ed.). (S. R. González, Ed.) México, D.F.: Cengage Learning.

Calua Infante, A. (2021). *Influencia de la Incorporación de Microfibras de Polipropileno en el Índice CBR de los Suelos Arcillosos en el Sector 11 de la ciudad de Cajamarca. [Tesis de postgrado, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio institucional, Cajamarca, Perú. Obtenido de:
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/6703>

Casamayor Espinoza, E. A., & Castillo Cango, K. Y. (2022). *Adición del cemento Portland para mejorar el Índice CBR en el Pavimento en H.U.P Unión del Sur, Nuevo Chimbote, 2022. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Santa]*. Repositorio institucional. Obtenido de Repositorio institucional:
<https://hdl.handle.net/20.500.14278/4373>

Castillo, P. (2018). *Influencia de la aplicación de aditivos químicos en la estabilización de suelos cohesivos para uso como subrasante mejorada de pavimentos entre los sectores Calamarca - Huaso, La Libertad, 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio institucional, La Libertad. Obtenido de:
<https://hdl.handle.net/11537/13798>

Castro Ballena, A. K., & Esquivel Altamirano, R. J. (2023). *Estabilización de suelos adicionando cemento Portland Quisqueya tipo I para la subrasante en la Av. Los Incas, Huarochirí- Lima 2023. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]*.

Repositorio institucional, Lima. Obtenido de:
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/137786>

Ceballos Chávez, C. A., & De la Cruz Erique, J. E. (2021). *Diseño del suelo-cemento y su aplicación como material de sitio para la construcción del camino vecinal del Recinto Zapán. [Tesis - Ingeniería Civil, Universidad Laica Vicente Rocafructe de Guayaquil]*. Repositorio institucional, Guayaquil. Obtenido de:
<http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4277>

Córdova Peña, J., & Huamán Goicochea, K. O. (2020). *Diseño y estabilización del afirmado tipo procesado empleando cemento de alta resistencia en la carretera Yantaló – Boca de Huascayacu, 2020. [Tesis de pregrado. Universidad César Vallejo]*. Repositorio institucional. Obtenido de:
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/51483>

Cotrino Tucto, I. A. (2021). *Mejoramiento de la capacidad portante en términos de CBR para suelos estabilizados con cemento en una dosificación de 2% en la Av. Oquendo, Callao, 2019. [Tesis de suficiencia profesional, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio institucional, Lima. Obtenido de:
<https://hdl.handle.net/11537/27350>

Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones. 5 ed.* Ciudad de México - México: Limusa.

Cruz Chanta, M. M. (2023). *Influencia del cemento en la resistencia del suelo de la subrasante de la calle Isaac Newton, Jaén - Cajamarca. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio institucional, Jaén. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6580>

- Eng Hie Tan, E. M. (2022). Una investigación experimental comparativa sobre la estabilización química de agregados de arenisca utilizando cemento y látex de copolímero de estireno-butadieno para la construcción de subbases de carreteras. *ELSEVIER*. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391222001489>
- García, J. R. (2019). *Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín. [Trabajo de grado - Pregado, Universidad Católica de Colombia]*. Repositorio institucional, Bogotá. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/10983/23731>
- Golfín, K. A. (2020). *Mejoramiento del desempeño en la estabilización de suelos de subrasantes con cemento portland tipo I en vías no pavimentadas. [Proyecto de graduación - Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción]*. Repositorio institucional, Costa Rica. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/2238/10990>
- INACAL. (2020, 11 de diciembre). *NTP 334.009. Cementos. Cementos Pórtland. Requisitos. 7ma Ed.* Lima Perú.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos* (3ra edición ed.). Ciudad de México, México: Limusa.
- MEF. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras*. Lima - Perú: Servicios Gráficos JMD s.r.l.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG - 2018*. Lima - Perú.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2024). *Informe Multianual de Inversiones en Asociaciones Público Privadas 2024 - 2026*. MTC, Lima - Perú. Obtenido de: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_privada/app/IMIAPP_MTC_2024.pdf
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras (2da ed.)*. Bogotá - Colombia: Ágora.
- MTC. (2008). *Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*. Lima, Perú.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotécnica y pavimentos – sección suelos y pavimentos*. Lima - Perú: MTC.
- Pantigozo Amao, L. A. (2023). *Mejoramiento de la capacidad de soporte (CBR) de suelos grava arcillosas con polímeros y cemento para uso como afirmado en carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. [Tesis de pregrado - Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga]*. Repositorio institucional, Ayacucho - Perú. Obtenido de: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6259>
- Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (1983). *Ingeniería de Cimentaciones (2 ed ed.)*. Ciudad de México, México: Limusa. 557 p.
- Pezo López, F. G. (2020). *Mejoramiento y rehabilitación de la carretera vecinal Juan Guerra-Bello Horizonte con estabilización de suelo cemento del terreno de fundación y capa de afirmado, distrito de Juan Guerra, provincia de San Martín, Región San Martín. [Tesis de pregrado]*. Repositorio institucional. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/11458/2910>
- Tasilla Mendoza, E. (2023). *Influencia de cemento y aceite sulfonado, como agentes estabilizadores de afirmado en el camino vecinal Emp. CA. 1459 (la colpa)-*

Agopampa Huacariz, Huacariz- Agocucho. [Repositorio institucional. Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5998>

Urcia García, F. R. (2022). *Estabilización del suelo con la aplicación de cemento Portland tipo I para la mejora de la carretera a nivel de afirmado en el tramo: Izcuchaca – Quichuas. Región Huancavelica. [Tesis de Pregrado. Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/23128>*

Vásquez Silva , B. (2023). *Análisis del comportamiento de la combinación de cal y cemento portland tipo I como aditivo de las propiedades físico - mecánicas de la subrasante de la Av. Manuel Noriega. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional, Cajamarca - Perú. Obtenido de Obtenido de: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6230>*

Velásquez Pereyra, C. (2018). *Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional, Cajamarca. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2534>*

ANEXOS

Tabla 12

Clasificación de Suelos AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282.

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075mm (Nº 200)							Suelo finos más del 35% pasa por el tamiz de 0.075mm (Nº 200)				
Clasificación de grupo	A-1-a		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de: 2mm (Nº 10) 0.425mm (Nº 40) F: 0.075mm(Nº 200)	máx. 50 máx. 30 máx. 15	máx. 50 máx. 25	mín. 51 máx. 10	máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36
Características de la fracción que pasa el de 0.425 mm (Nº 40) Características de la fracción que pasa el tamiz (Nº 40) LL: Límite Líquido IP: Índice de Plasticidad				máx. 40 máx. 10	mín. 41 máx. 10	máx. 40 mín. 11	mín. 41 mín. 11	máx. 40 máx. 10	mín. 41 máx. 10	máx. 40 mín. 11	mín. 41 mín. 11 ^(a)	mín. 41 mín. 11 ^(b)
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno							Regular a insuficiente				

(a) Índice de Plasticidad de subgrupo A-7-5: es igual o menor que LL-30

(a) Índice de Plasticidad de subgrupo A-7-6: es mayor que LL-30

Fuente: Adaptado de Manual de Carreteras Suelo Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Tabla 13

Clasificación de suelos según su Índice de Grupo.

Índice de Grupo	Suelo de Sub rasante
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy bueno

Fuente: Adaptado de Manual de Carreteras de Suelos Geología, Geotécnica y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Tabla 14

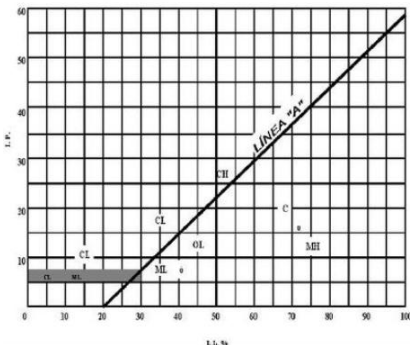
Símbolos para fines de identificación de suelos en el SUCS.

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

Fuente: Adaptado de Fundamentos de la Ingeniería de Cimentaciones (Braja, 2015).

Tabla 15

Grupos de Clasificación de suelos en el Sistema SUCS.

DIVISION MAYOR		SÍMBOLO		NOMBRES TÍPICOS		CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200	GRAVAS	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.		DETERMINÉSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla N°200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5%; GW, GP, SW, SP; más del 12%; GM, GC, SM, SC, entre 5% y 12%; Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **.	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4 COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3 $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2/(D_{10})(D_{60})$	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.	
		GM		d		Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4
			u	Arriba de la "Línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera requieren el uso de símbolos dobles.			
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla.			LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7	
	ARENAS	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.			Cu = D_{60}/D_{10} mayor que 6; Cc = $(D_{30})^2/(D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.	
			SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW.	
		SM*		d		Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4
			u	Arriba de la "Línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera requieren el uso de símbolos dobles.			
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7	
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.				
		CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.				
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.				
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos diatomáceos, más elásticos.				
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.				
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.				
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

Fuente: Adaptado de ASTM D 2487– 11:2.

Tabla 16*Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS.*

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM - D 2487
A-1-a	GM, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

*Fuente: Adaptado de MTC (2014).***Tabla 17***Clasificación según el Índice de Plasticidad.*

Índice de plasticidad (IP)	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelo muy arcilloso
20 > IP > 7	Media	Suelo arcilloso
IP < 7	Baja	Suelo poco arcilloso
IP = 0	No plástico (NP)	Suelo exento de arcilla

Fuente: Adaptado de Manual de Carreteras de Suelos Geología, Geotécnica y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Tabla 18

Determinación del método del ensayo – Proctor Modificado.

MÉTODO	% Acumulado retenido N°04	% Acumulado retenido 3/8"	% Acumulado retenido 3/4"	Material a usar en el ensayo	Molde (diámetro)
A	≤ 25%			Pasante N°04	4"
B	> 25%	≤ 25%		Pasante 3/8"	4"
C		> 25%	≤ 30%	Pasante 3/4"	6"

Fuente: Adaptado de Manual de Carreteras de Suelos Geología, Geotécnica y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Tabla 19

Parámetros de cada método de ensayo – Proctor Modificado.

Parámetro	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde (pulgadas)	4±0.016	4±0.016	6±0.026
Volumen del molde (cm ³)	943.0±14	943.0±14	2124.0±25
Peso del pistón (lb)	10±0.02	10±0.02	10±0.02
Altura de caída del pistón (pulgadas)	18±0.05	18±0.05	18±0.05
N° de golpes por capa	25	25	56
N° de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación (ft-lbf/ft ³)	56,000.00	56,000.00	56,000.00

Fuente: Adaptado de Manual de Carreteras de Suelos Geología, Geotécnica y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Tabla 20*Requisitos mínimos del Cemento Portland Tipo I.*

	Característica	Requisito
Composición química	MgO	< 6%
	SO ₃	< 3%
	Pérdida por ignición	< 3.5%
	Residuo insoluble	< 1.5%
Propiedades físicas	Contenido de aire	< 12%
	Expansión de autoclave	< 0.80%
	Superficie específica	> 2800cm ² /gr
	Densidad	No específica
Resistencia a la compresión	A 3 días	> 12MPa
	A 7 días	> 19MPa
	A 28 días	> 28MPa
Tiempo de fraguado	Inicial	> 45min
	Final	< 375min

*Fuente: Adaptado de NTP 334.009 (INACAL, 2020).***Tabla 21***Rango de Cemento Requerido en la Estabilización Suelo - Cemento.*

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3 - 5
A-1-b	5 - 8
A-2	5 - 9
A-3	7 - 11
A-4	7 - 12
A-5	8 - 13
A-6	9 - 15
A-7	10 - 16

Fuente: Adaptado de Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos (2014).

Tabla 22*Gradación de las muestras de ensayo.*

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
		Gradación			
Que pasa	Retenido	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
35.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	1 250 ± 25	-		
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	1 250 ± 25	-		
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")	-	-	2 500 ± 10	
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (N° 4)	-	-	2 500 ± 10	
4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	-	-		5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: Adaptado de ASTM C 131.

APÉNDICE

Apéndice 01: Ensayos de Laboratorio

Tabla 23

Resultados de ensayo de Análisis Granulométrico.

Tamiz N°	Abert (mm)	Peso Retenido		Porcentaje Acumulado	
		Parcial	% Parcial	% Reten. Acumulado	% Que Pasa
1"	25.40	464.82	8.66	8.66	91.34
3/4"	19.00	498.94	9.29	17.95	82.05
1/2"	12.70	561.10	10.45	28.40	71.60
3/8"	9.50	502.20	9.35	37.76	62.24
1/4"	6.30	342.10	6.37	44.13	55.87
N° 4	4.75	408.60	7.61	51.74	48.26
N° 10	2.00	512.90	9.55	61.29	38.71
N° 20	0.85	231.30	4.31	65.60	34.40
N° 40	0.43	225.40	4.20	69.80	30.20
N° 60	0.25	791.10	14.74	84.53	15.47
N° 100	0.15	530.90	9.89	94.42	5.58
N° 200	0.08	185.40	3.45	97.88	2.12
Cazoleta	---	114.00	---	---	---
TOTAL		5368.76			

Tabla 24

Resultados del análisis de la fracción gruesa.

Análisis de la Fracción Gruesa					
Tamiz N°	Abert (mm)	Peso Retenido		Porcentaje Acumulado	
		Parcial	% Parcial	% Reten. Acumulado	% Que Pasa
1"	25.40	464.82	8.85	8.85	91.15
3/4"	19.00	498.94	9.50	18.34	81.66
1/2"	12.70	561.10	10.68	29.02	70.98
3/8"	9.50	502.20	9.56	38.58	61.42
1/4"	6.30	342.10	6.51	45.09	54.91
N° 4	4.75	408.60	7.78	52.86	47.14

Figura 9

Curva de Distribución Granulométrica.

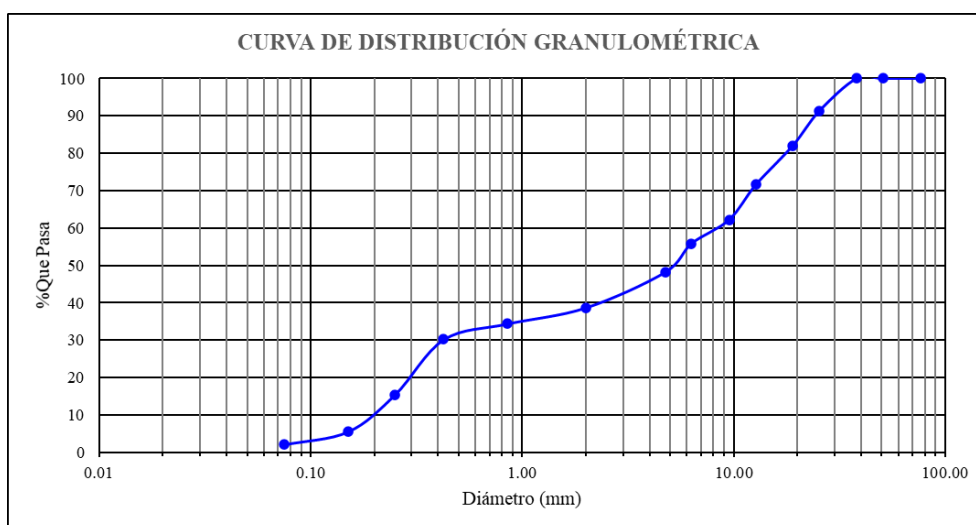


Tabla 25

Resumen de ensayo de Análisis Granulométrico.

Resumen			Clasificación			
Malla	%Que Pasa		SUCS	GP	AASHTO	A-1-b(0)
N° 4	48.26	Granulometría				
N° 10	38.71	%Grava	51.74	D60 = 8.22	Tipo Muestra	Alterada
N° 40	30.20	%Arena	46.14	D30 = 0.42	Cu =	0.011
N° 200	2.12	%Finos	2.12	D10 = 0.09	Cc =	0.247

Tabla 26*Resultados de ensayo de Contenido de Humedad.*

Muestra	Cantera Afirmado		
	A	B	C
Tara N°			
Peso suelo hum+tara	225.11	222.70	190.32
Peso suelo seco + tara	216.50	212.54	181.83
Peso del agua	8.61	10.16	8.49
Peso tara	27.63	26.66	28.10
Peso del suelo	188.87	188.87	188.87
Contenido de humedad (%)	4.56	4.56	4.56
Promedio (%)		4.56	

Tabla 27*Especificaciones de ensayos realizados*

Especificaciones
Secado de la muestra antes del ensayo: A temperatura ambiente.
Secado de la muestra para obtener humedades: Al horno a 110°C +-5°C
Tipo de Muestra para Ensayo: Alterada.
Agua Empleada: Agua Potable.
Rango de Medición: Balanza electrónica de 500gr. y 0.01gr.
Muestra: Cantera Afirmado (El Mirado de Cochamarca)

Tabla 28

Resultados de ensayo de Proctor Modificado con incorporación de 0% de cemento.

Proctor Modificado - (AASHTO T-180 / ASTM D 1557-12)										
Determinación de la Densidad										
Peso del suelo húmedo+Molde	(gr)	7158.0	7236.0	7311.0	7335.0	7300.0				
Peso del Molde	(gr)	2809.0	2809.0	2809.0	2809.0	2809.0				
Peso del Suelo Húmedo	(gr)	4349.0	4427.0	4502.0	4526.0	4491.0				
Volumen del molde	(cm ³)	2123.0	2123.0	2123.0	2123.0	2123.0				
Densidad Húmeda	(gr/cm ³)	2.049	2.085	2.121	2.132	2.115				
Contenido de Humedad promedio	(%)	5.21	5.77	6.61	7.48	8.46				
Densidad Seca	(gr/cm ³)	1.947	1.972	1.989	1.984	1.950				
Determinación del Contenido de Humedad										
Muestra N°		1		2		3		4		5
Recipiente N°		1	2	1	2	1	2	1	2	1 2
Peso del recipiente + suelo húmedo	(gr)	167.41	168.87	173.32	181.08	177.14	182.20	177.03	174.81	180.57 171.75
Peso del recipiente + suelo seco	(gr)	160.31	161.71	165.25	172.50	167.65	172.47	166.50	164.27	168.26 160.33
Peso del agua	(gr)	7.10	7.16	8.07	8.58	9.49	9.73	10.53	10.54	12.31 11.42
Peso del recipiente	(gr)	23.23	24.74	24.61	24.23	23.72	25.50	24.98	23.94	22.27 25.63
Peso del suelo seco	(gr)	137.08	136.97	140.64	148.27	143.93	146.97	141.52	140.33	145.99 134.70
Contenido de humedad	(%)	5.18	5.23	5.74	5.79	6.59	6.62	7.44	7.51	8.43 8.48
Contenido de humedad promedio	(%)	5.21		5.77		6.61		7.48		8.46

Figura 10

Curva de Compactación: Contenido de Humedad VS Densidad Seca para 0% de cemento.

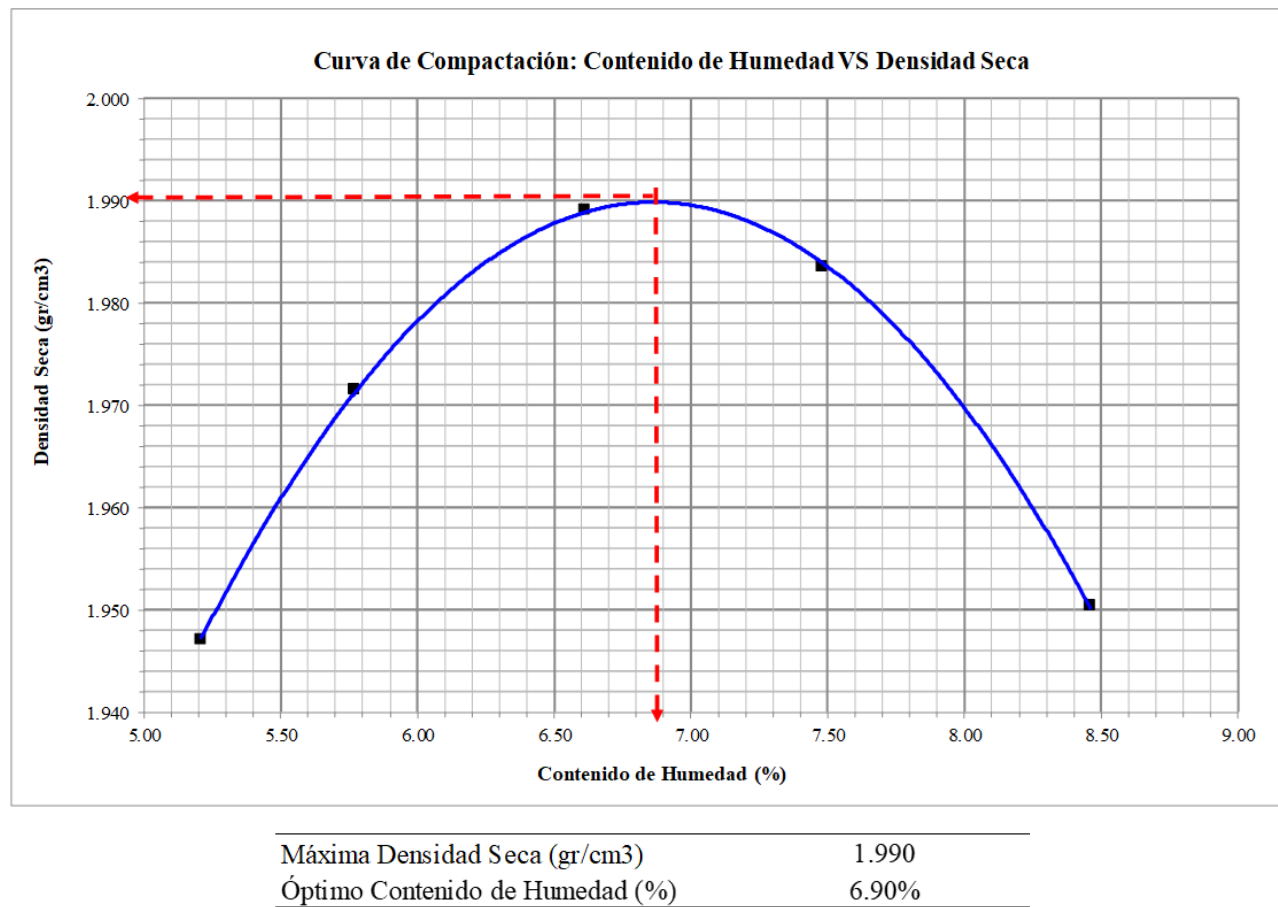


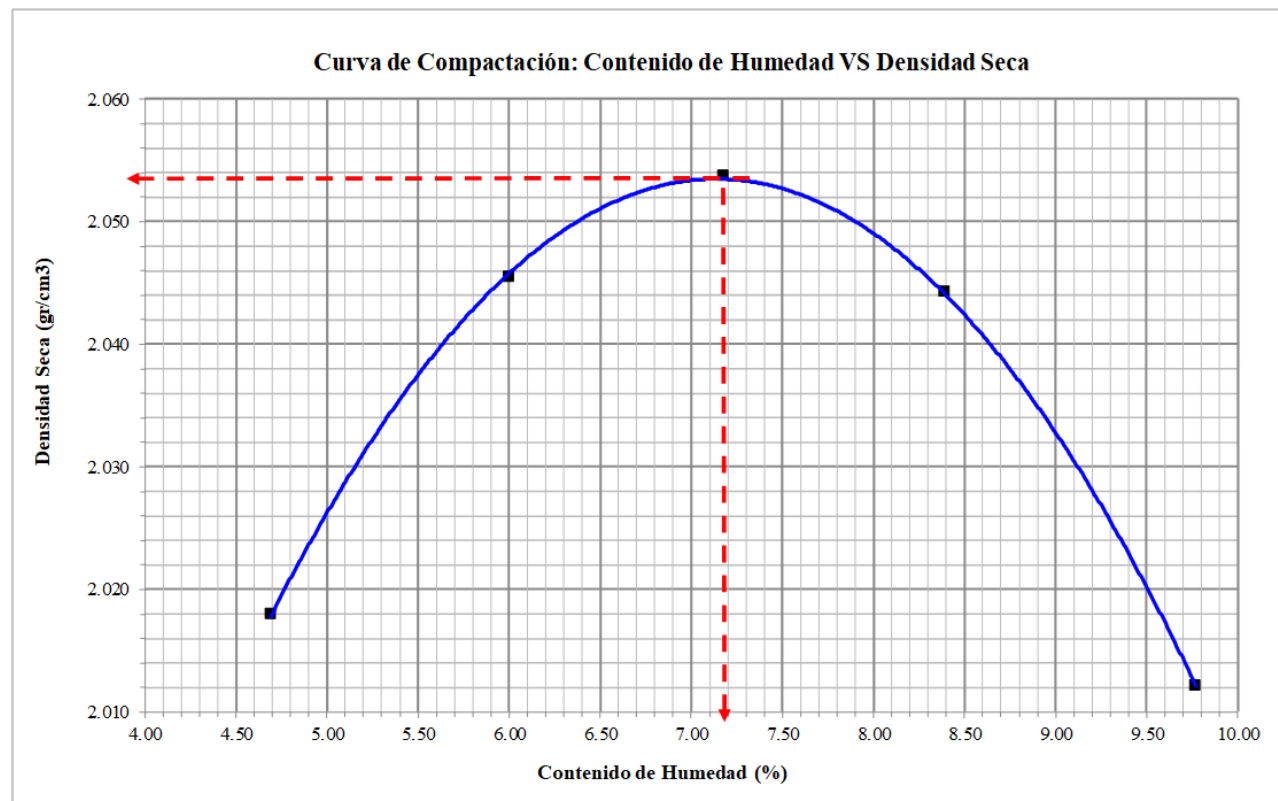
Tabla 29

Resultados de ensayo de Proctor Modificado con incorporación de 2% de cemento.

Proctor Modificado - (AASHTO T-180 / ASTM D 1557-12)										
Determinación de la Densidad										
Peso del suelo húmedo+Molde	(gr)	7294.0	7412.0	7482.0	7513.0	7498.0				
Peso del Molde	(gr)	2809.0	2809.0	2809.0	2809.0	2809.0				
Peso del Suelo Húmedo	(gr)	4485.0	4603.0	4673.0	4704.0	4689.0				
Volumen del molde	(cm ³)	2123.0	2123.0	2123.0	2123.0	2123.0				
Densidad Húmeda	(gr/cm ³)	2.113	2.168	2.201	2.216	2.209				
Contenido de Humedad promedio	(%)	4.69	6.00	7.18	8.39	9.77				
Densidad Seca	(gr/cm ³)	2.01794	2.04543	2.05368	2.04422	2.01209				
Determinación del Contenido de Humedad										
Muestra N°		1		2		3		4		5
Recipiente N°		1	2	1	2	1	2	1	2	
Peso del recipiente + suelo húmedo	(gr)	177.11	181.01	182.72	184.06	171.39	175.40	174.10	169.38	179.63 169.55
Peso del recipiente + suelo seco	(gr)	170.35	173.86	173.77	174.88	161.61	165.12	162.64	157.96	165.72 156.41
Peso del agua	(gr)	6.76	7.15	8.95	9.18	9.78	10.28	11.46	11.42	13.91 13.14
Peso del recipiente	(gr)	25.55	22.10	23.58	22.98	24.71	22.80	25.38	22.45	23.05 22.22
Peso del suelo seco	(gr)	144.80	151.76	150.19	151.90	136.90	142.32	137.26	135.51	142.67 134.19
Contenido de humedad	(%)	4.67	4.71	5.96	6.04	7.14	7.22	8.35	8.43	9.75 9.79
Contenido de humedad promedio	(%)	4.69		6.00		7.18		8.39		9.77

Figura 11

Curva de Compactación: Contenido de Humedad VS Densidad Seca para 2% de cemento.



Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	2.054
Óptimo Contenido de Humedad (%)	7.20%

Tabla 30

Resultados de ensayo de Proctor Modificado con incorporación de 4% de cemento.

Proctor Modificado - (AASHTO T-180 / ASTM D 1557-12)										
Determinación de la Densidad										
Peso del suelo húmedo+Molde	(gr)	7436.0	7566.0	7646.0	7665.0	7628.0				
Peso del Molde	(gr)	2809.0	2809.0	2809.0	2809.0	2809.0				
Peso del Suelo Húmedo	(gr)	4627.0	4757.0	4837.0	4856.0	4819.0				
Volumen del molde	(cm ³)	2123.0	2123.0	2123.0	2123.0	2123.0				
Densidad Húmeda	(gr/cm ³)	2.179	2.241	2.278	2.287	2.270				
Contenido de Humedad promedio	(%)	5.61	6.65	7.73	8.90	9.81				
Densidad Seca	(gr/cm ³)	2.06379	2.10108	2.11500	2.10049	2.06721				
Determinación del Contenido de Humedad										
Muestra N°		1		2		3		4		5
Recipiente N°		1	2	1	2	1	2	1	2	
Peso del recipiente + suelo húmedo	(gr)	178.95	172.60	178.48	168.39	175.47	174.21	178.99	169.82	173.42 173.77
Peso del recipiente + suelo seco	(gr)	170.73	164.71	168.71	159.43	164.72	163.44	166.43	157.81	160.21 160.39
Peso del agua	(gr)	8.22	7.89	9.77	8.96	10.75	10.77	12.56	12.01	13.21 13.38
Peso del recipiente	(gr)	23.16	24.83	22.31	24.02	25.79	23.80	25.58	22.44	25.78 23.58
Peso del suelo seco	(gr)	147.57	139.88	146.40	135.41	138.93	139.64	140.85	135.37	134.43 136.81
Contenido de humedad	(%)	5.57	5.64	6.67	6.62	7.74	7.71	8.92	8.87	9.83 9.78
Contenido de humedad promedio	(%)	5.61		6.65		7.73		8.90		9.81

Figura 12

Curva de Compactación: Contenido de Humedad VS Densidad Seca para 4% de cemento.

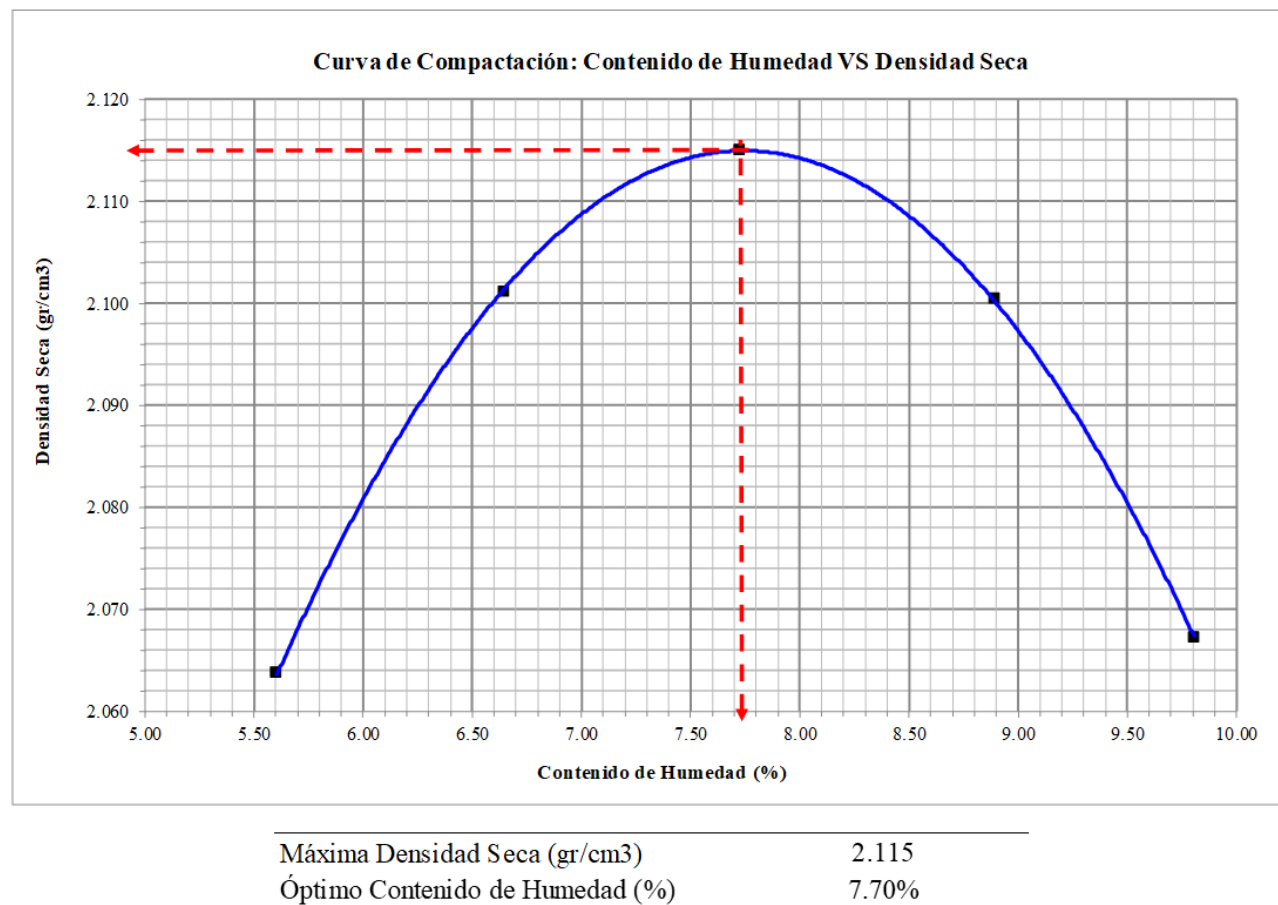


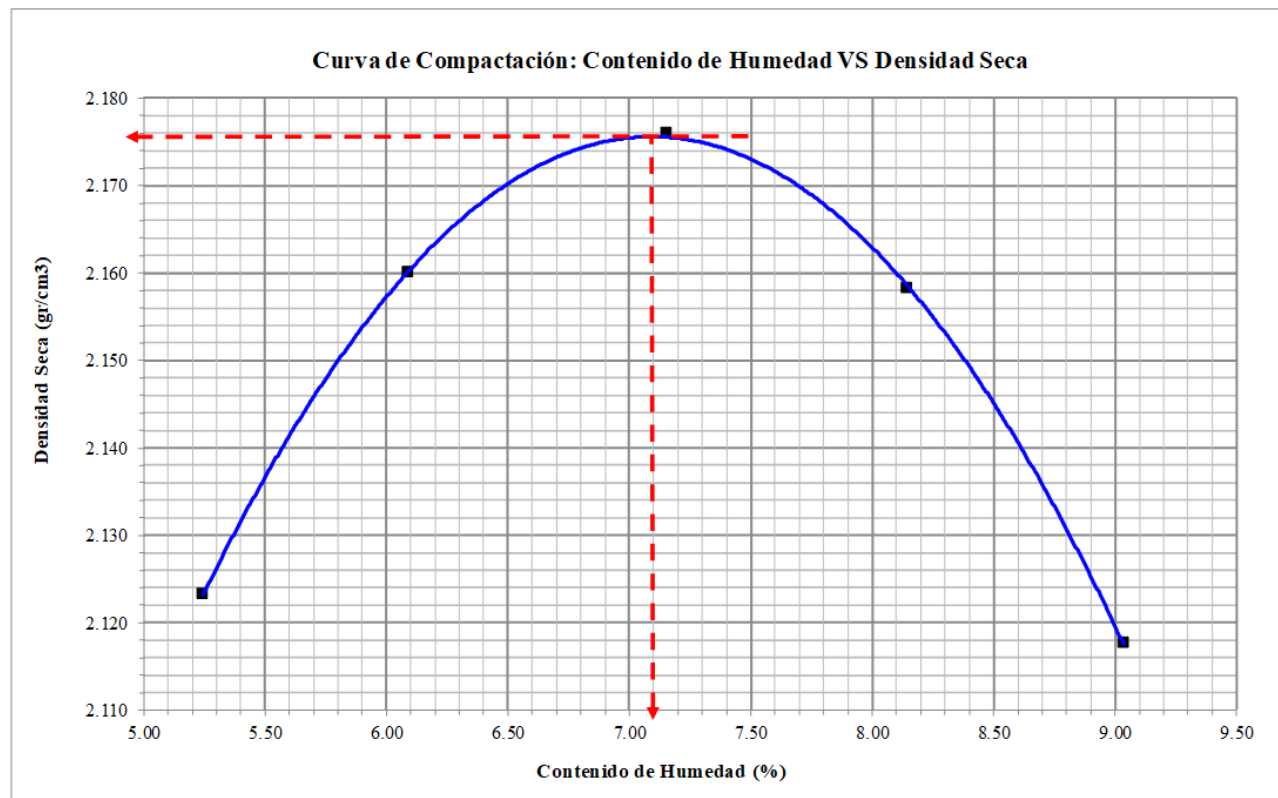
Tabla 31

Resultados de ensayo de Proctor Modificado con incorporación de 6% de cemento.

Proctor Modificado - (AASHTO T-180 / ASTM D 1557-12)										
Determinación de la Densidad										
Peso del suelo húmedo+Molde	(gr)	7553.0	7674.0	7759.0	7764.0	7711.0				
Peso del Molde	(gr)	2809.0	2809.0	2809.0	2809.0	2809.0				
Peso del Suelo Húmedo	(gr)	4744.0	4865.0	4950.0	4955.0	4902.0				
Volumen del molde	(cm ³)	2123.0	2123.0	2123.0	2123.0	2123.0				
Densidad Húmeda	(gr/cm ³)	2.235	2.292	2.332	2.334	2.309				
Contenido de Humedad promedio	(%)	5.25	6.09	7.16	8.15	9.04				
Densidad Seca	(gr/cm ³)	2.12321	2.16002	2.17592	2.15818	2.11767				
Determinación del Contenido de Humedad										
Muestra N°		1		2		3		4		5
Recipiente N°		1	2	1	2	1	2	1	2	
Peso del recipiente + suelo húmedo	(gr)	168.20	173.91	172.33	170.55	182.65	168.92	169.48	179.76	168.34 181.60
Peso del recipiente + suelo seco	(gr)	161.02	166.41	163.79	162.05	172.15	159.29	158.59	168.08	156.23 168.48
Peso del agua	(gr)	7.18	7.50	8.54	8.50	10.50	9.63	10.89	11.68	12.11 13.12
Peso del recipiente	(gr)	23.57	24.02	24.01	22.01	25.08	24.95	25.07	24.40	22.00 23.47
Peso del suelo seco	(gr)	137.45	142.39	139.78	140.04	147.07	134.34	133.52	143.68	134.23 145.01
Contenido de humedad	(%)	5.22	5.27	6.11	6.07	7.14	7.17	8.16	8.13	9.02 9.05
Contenido de humedad promedio	(%)	5.25		6.09		7.16		8.15		9.04

Figura 13

Curva de Compactación: Contenido de Humedad VS Densidad Seca para 6% de cemento.



Máxima Densidad Seca (gr/cm3)	2.176
Óptimo Contenido de Humedad (%)	7.10%

Tabla 32

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 0% de cemento – Compactación.

Compactación CBR									
Número de Molde	1			2			3		
Altura Molde cm.	11.6			11.6			11.6		
N° Capas	5			5			5		
N°Golp x Capa	12			25			56		
Cond. Muestra	Antes		Después	Antes		Después	Antes		Después
P. Húm.+ Molde	12124.00		12666.31	12314.00		12826.90	11812.00		12267.95
Peso Molde (gr)	7905.00		7905.00	7898.00		7898.00	7254.00		7254.00
Peso Húmedo (gr)	4219.00		4761.31	4416.00		4928.90	4558.00		5013.95
Vol. Molde (cm³)	2120.30		2120.30	2105.00		2105.00	2116.78		2116.78
Densidad Húmeda (gr/cm³)	1.99		2.25	2.10		2.34	2.15		2.37
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húmedo + Tara	173.23	170.41	183.78	179.41	177.60	172.87	171.19	184.33	168.83
Peso Seco + Tara	163.94	161.21	156.53	170.07	168.40	149.28	162.21	174.58	147.31
Peso Agua (gr)	9.29	9.20	27.25	9.34	9.20	23.59	8.98	9.75	21.52
Peso Tara (gr)	19.83	19.24	21.32	23.92	23.67	23.34	22.63	22.16	21.15
P. Muestra Seca	144.11	141.97	135.21	146.15	144.73	125.94	139.58	152.42	126.16
Cont. Humedad	6.45%	6.48%	20.15%	6.39%	6.36%	18.73%	6.43%	6.40%	17.06%
Cont.Hum.Prom.	6.46%		20.15%	6.37%		18.73%	6.42%		17.06%
Densidad Seca	1.87		1.87	1.97		1.97	2.02		2.02

Tabla 33

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 0% de cemento – Hinchamiento.

Ensayo de Hinchamiento										
Tiempo Acumulado		Número de Molde			Número de Molde			Número de Molde		
(Hs)	(Días)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)
0	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
24	1	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
48	2	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
72	3	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
96	4	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

Tabla 34

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 0% de cemento – Carga Penetración.

Ensayo Carga - Penetración							
Diámetro de pistón		4.953	cm	Área de Pistón		19.27	cm ²
Penetración		Molde N°01		Molde N°02		Molde N°03	
(mm)	(pulg)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	131	6.81	158	8.20	194	10.07
1.27	0.050	248	12.87	299	15.52	355	18.42
1.91	0.075	366	19.00	416	21.59	483	25.07
2.54	0.100	442	22.94	514	26.68	564	29.27
5.08	0.200	536	27.82	626	32.49	686	35.59
7.62	0.300	604	31.35	709	36.77	759	39.39
10.16	0.400	681	35.34	776	40.26	838	43.52
12.70	0.500	732	37.99	859	44.60	906	47.04

Figura 14

Curva Esfuerzo – Penetración para muestra con incorporación de 0% de cemento.

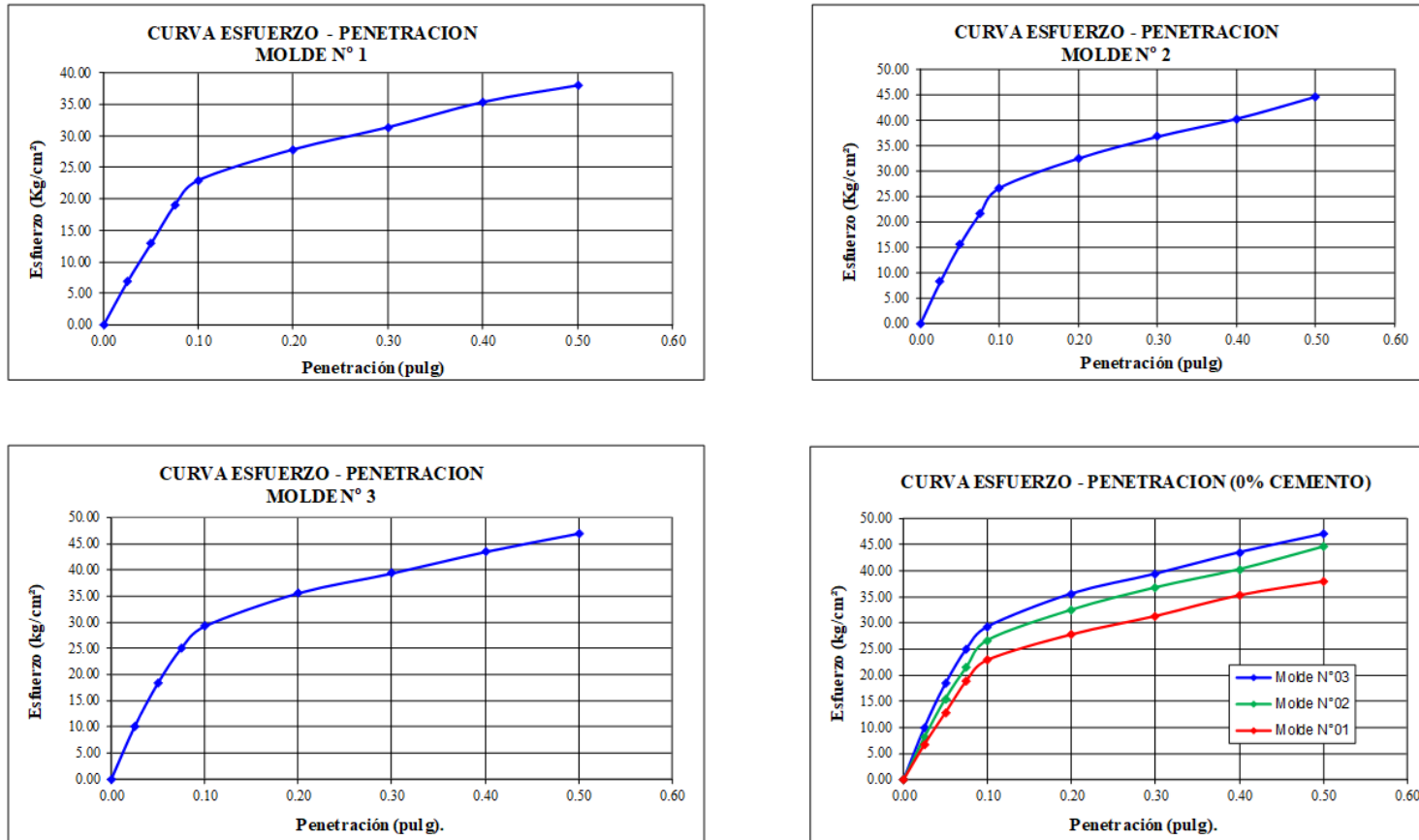


Figura 15

Curva Densidad – CBR para muestra con incorporación de 0% de cemento.

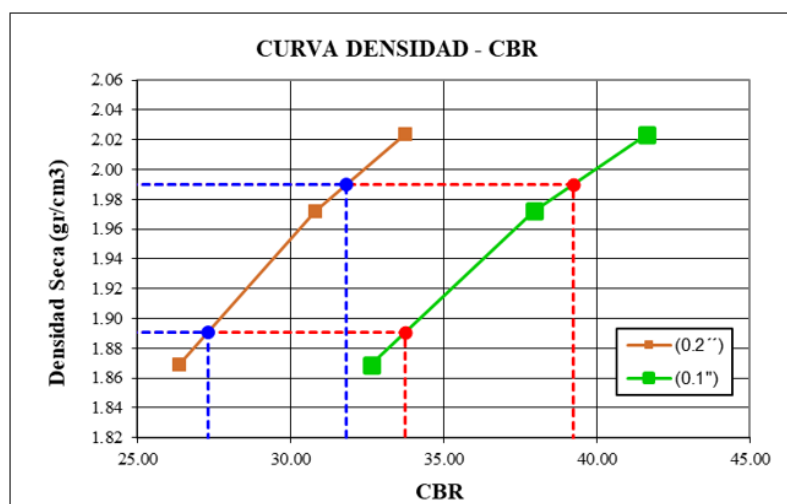


Tabla 35

Penetración para (0.1'') y (0.2'') para muestras con 0% de cemento.

Penetración	0.1 (*)	0.2 (*)
Molde 1	22.94	27.82
Molde 2	26.68	32.49
Molde 3	29.27	35.59

Tabla 36

Resultado de CBR al 95% y 100% de MDS para muestra con 0% de cemento.

	Densidad	0.1''	0.2''	CBR
Molde 1	1.87	32.63	26.38	34.45
Molde 2	1.97	37.94	30.81	38.32
Molde 3	2.02	41.63	33.75	42.81

Tabla 37

Resultado de Proctor Modificado y CBR para muestra con 0% de cemento.

Ensayo de Proctor Modificado	
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1.99
Óptimo Contenido de Humedad (%)	6.90
Valor Relativo de Soporte C.B.R.	
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0.1")	33.74%
C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0.1")	39.23%
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0.2")	27.30%
C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0.2")	31.83%

Tabla 38

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 2% de cemento – Compactación.

Compactación CBR									
Número de Molde	1			2			3		
Altura Molde cm.	11.6			11.6			11.6		
N° Capas	5			5			5		
N°Golg x Capa	12			25			56		
Cond. Muestra	Antes		Después	Antes		Después	Antes		Después
P. Húm.+ Molde	12297.00		12790.78	12482.00		12942.47	11982.00		12424.11
Peso Molde (gr)	7905.00		7905.00	7898.00		7898.00	7254.00		7254.00
Peso Húmedo (gr)	4392.00		4885.78	4584.00		5044.47	4728.00		5170.11
Vol. Molde (cm³)	2120.30		2120.30	2105.00		2105.00	2116.78		2116.78
Densidad Húmeda (gr/cm³)	2.07		2.30	2.18		2.40	2.23		2.44
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húmedo + Tara	172.12	168.05	170.24	172.32	172.42	178.80	170.63	182.17	169.20
Peso Seco + Tara	161.96	158.04	146.66	162.25	162.21	154.59	160.58	171.18	147.05
Peso Agua (gr)	10.16	10.01	23.58	10.07	10.21	24.21	10.05	10.99	22.15
Peso Tara (gr)	21.75	20.77	24.67	23.88	21.40	20.36	22.97	21.24	19.37
P. Muestra Seca	140.21	137.27	121.99	138.37	140.81	134.23	137.61	149.94	127.68
Cont. Humedad	7.25%	7.29%	19.33%	7.28%	7.25%	18.04%	7.30%	7.33%	17.35%
Cont.Hum.Prom.	7.27%		19.33%	7.26%		18.04%	7.32%		17.35%
Densidad Seca	1.93		1.93	2.03		2.03	2.08		2.08

Tabla 39

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 2% de cemento – Hinchamiento.

Ensayo de Hinchamiento										
Tiempo Acumulado		Número de Molde			Número de Molde			Número de Molde		
(Hs)	(Días)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)
0	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
24	1	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
48	2	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
72	3	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
96	4	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

Tabla 40

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 2% de cemento – Carga Penetración.

Ensayo Carga - Penetración							
Diámetro de pistón	4.953	cm		Área de Pistón	19.27	cm ²	
Penetración		Molde N°01		Molde N°02		Molde N°03	
(mm)	(pulg)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	130	6.74	152	7.90	205	10.63
1.27	0.050	294	15.24	325	16.87	425	22.08
1.91	0.075	434	22.54	472	24.50	547	28.40
2.54	0.100	544	28.21	588	30.53	632	32.79
5.08	0.200	662	34.37	701	36.36	764	39.66
7.62	0.300	744	38.62	788	40.90	867	44.98
10.16	0.400	824	42.77	872	45.25	964	50.02
12.70	0.500	915	47.49	946	49.11	1059	54.96

Figura 16

Curva Esfuerzo – Penetración para muestra con incorporación de 2% de cemento.

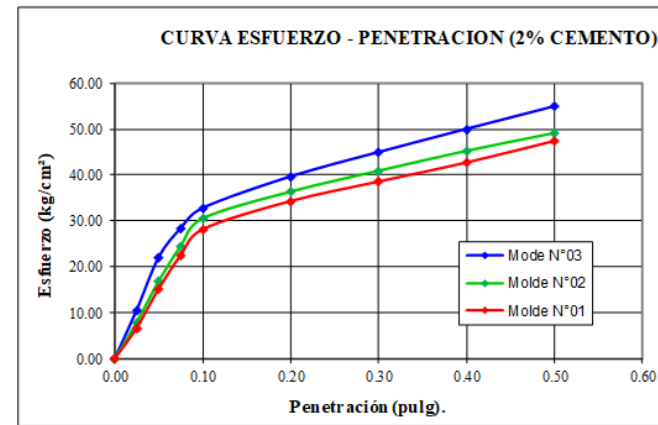
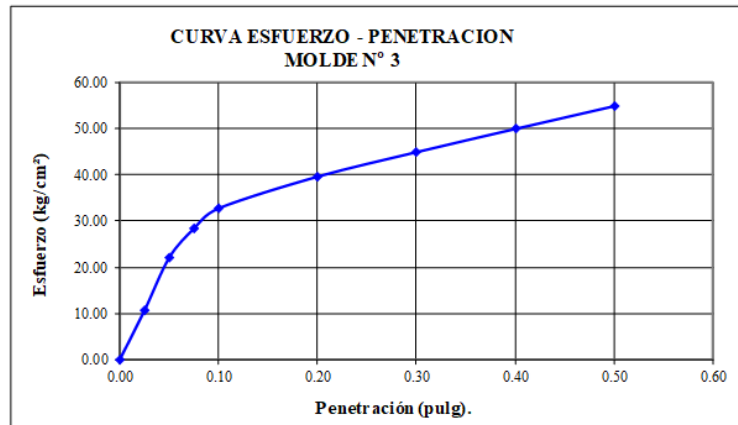
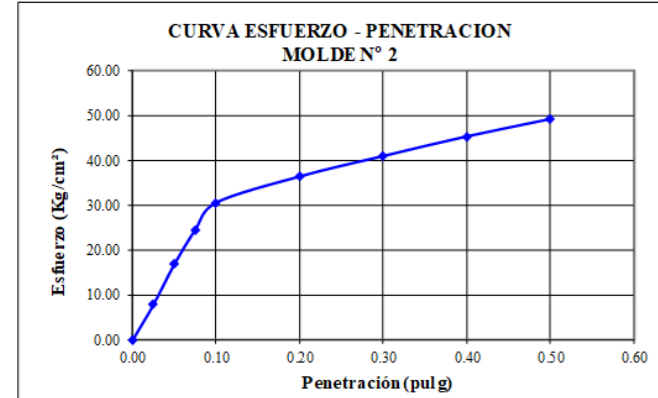
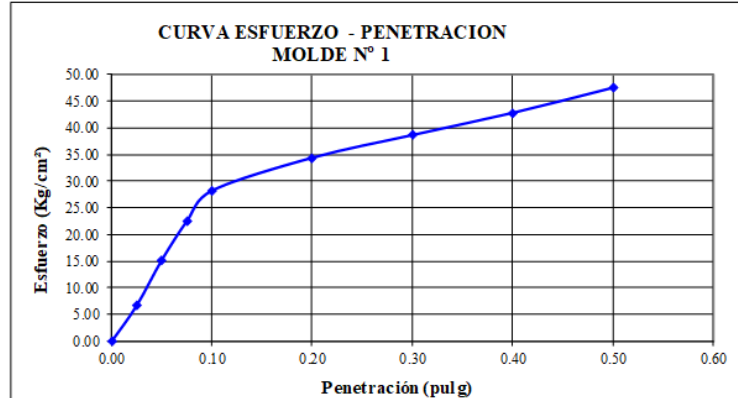


Figura 17

Curva Densidad – CBR para muestra con incorporación de 2% de cemento.

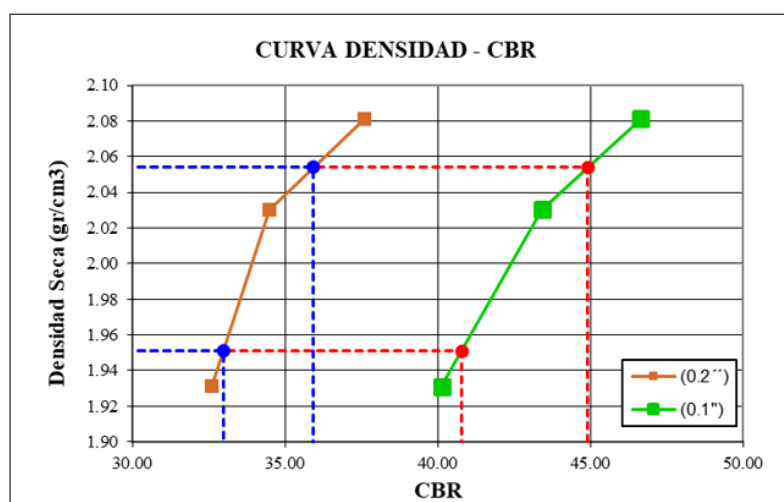


Tabla 41

Penetración para (0.1'') y (0.2'') para muestras con 2% de cemento.

Penetración	0.1 (*)	0.2 (*)
Molde 1	28.21	34.37
Molde 2	30.53	36.36
Molde 3	32.79	39.66

Tabla 42

Resultado de CBR al 95% y 100% de MDS para muestra con 2% de cemento.

	Densidad	0.1''	0.2''	CBR
Molde 1	1.93	40.12	32.59	40.07
Molde 2	2.03	43.42	34.48	43.14
Molde 3	2.08	46.64	37.61	46.58

Tabla 43

Resultado de Proctor Modificado y CBR para muestra con 2% de cemento.

Ensayo de Proctor Modificado	
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.054
Óptimo Contenido de Humedad (%)	7.20
Valor Relativo de Soporte C.B.R.	
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0.1")	40.80%
C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0.1")	44.92%
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0.2")	32.97%
C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0.2")	35.94%

Tabla 44

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 4% de cemento – Compactación.

Compactación CBR									
Número de Molde	1			2			3		
Altura Molde cm.	11.6			11.6			11.6		
N° Capas	5			5			5		
N°Golp x Capa	12			25			56		
Cond. Muestra	Antes		Después	Antes		Después	Antes		Después
P. Húm.+ Molde	12465.00		12965.76	12645.00		13107.82	12135.00		12583.29
Peso Molde (gr)	7905.00		7905.00	7898.00		7898.00	7254.00		7254.00
Peso Húmedo (gr)	4560.00		5060.76	4747.00		5209.82	4881.00		5329.29
Vol. Molde (cm³)	2120.30		2120.30	2105.00		2105.00	2116.78		2116.78
Densidad Húmeda (gr/cm³)	2.15		2.39	2.26		2.47	2.31		2.52
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húmedo + Tara	167.27	168.79	184.31	175.01	168.16	184.03	180.49	184.83	179.40
Peso Seco + Tara	156.68	158.03	157.06	163.83	157.32	158.48	168.80	172.85	155.89
Peso Agua (gr)	10.59	10.76	27.25	11.18	10.84	25.55	11.69	11.98	23.51
Peso Tara (gr)	24.65	24.64	20.22	21.64	20.75	19.77	22.28	23.84	24.79
P. Muestra Seca	132.03	133.39	136.84	142.19	136.57	138.71	146.52	149.01	131.10
Cont. Humedad	8.02%	8.07%	19.91%	7.86%	7.94%	18.42%	7.98%	8.04%	17.93%
Cont.Hum.Prom.	8.04%		19.91%	7.90%		18.42%	8.01%		17.93%
Densidad Seca	1.99		1.99	2.09		2.09	2.13		2.13

Tabla 45

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 4% de cemento – Hinchamiento.

Ensayo de Hinchamiento										
Tiempo Acumulado		Número de Molde			Número de Molde			Número de Molde		
(Hs)	(Días)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)
0	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
24	1	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
48	2	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
72	3	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
96	4	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

Tabla 46

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 4% de cemento – Carga Penetración.

Ensayo Carga - Penetración							
Diámetro de pistón	4.953	cm		Área de Pistón	19.27	cm ²	
Penetración		Molde N°01		Molde N°02		Molde N°03	
(mm)	(pulg)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	194	10.04	233	12.09	290	15.07
1.27	0.050	397	20.60	512	26.57	581	30.13
1.91	0.075	604	31.35	736	38.20	828	42.96
2.54	0.100	817	42.43	876	45.47	1000	51.91
5.08	0.200	951	49.36	1088	56.47	1158	60.12
7.62	0.300	1055	54.76	1235	64.10	1311	68.03
10.16	0.400	1173	60.88	1373	71.26	1457	75.63
12.70	0.500	1287	66.80	1511	78.42	1618	83.99

Figura 18

Curva Esfuerzo – Penetración para muestra con incorporación de 4% de cemento.

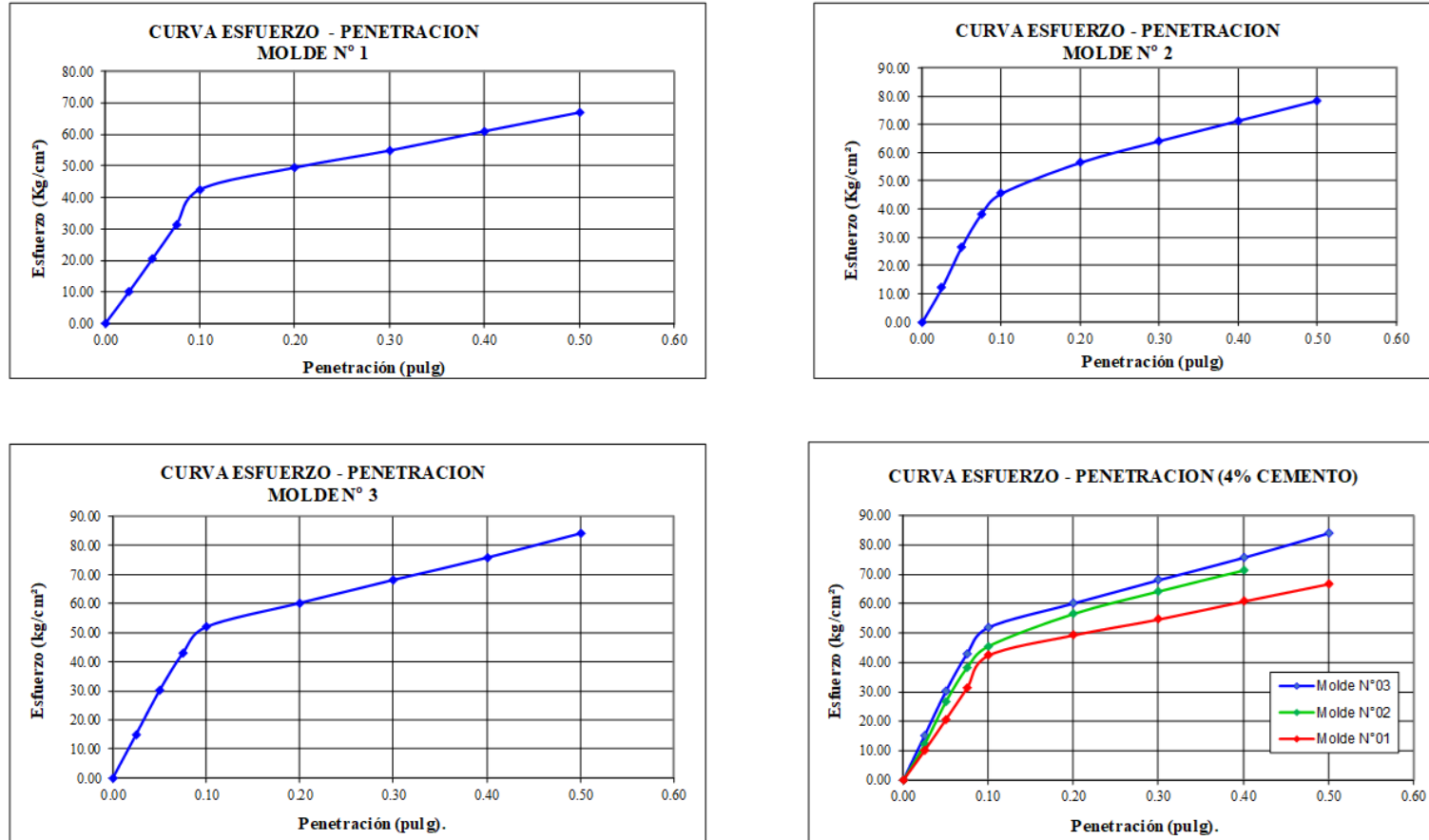


Figura 19

Curva Densidad – CBR para muestra con incorporación de 4% de cemento.

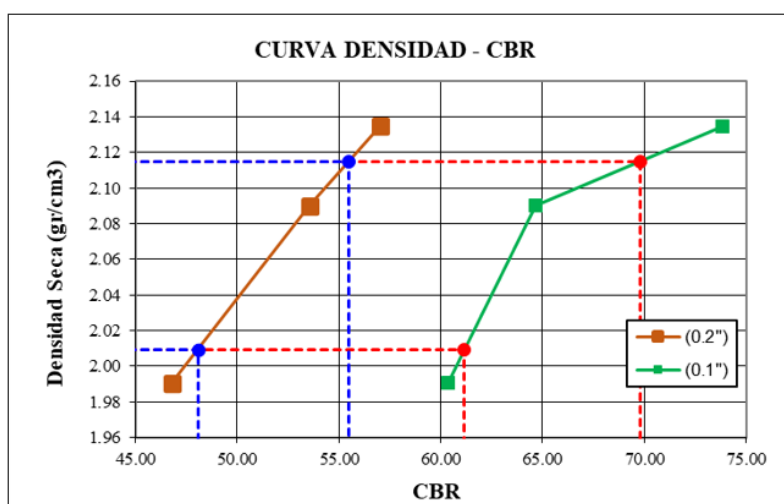


Tabla 47

Penetración para (0.1'') y (0.2'') para muestras con 4% de cemento.

Penetración	0.1 (*)	0.2 (*)
Molde 1	42.43	49.36
Molde 2	45.47	56.47
Molde 3	51.91	60.12

Tabla 48

Resultado de CBR al 95% y 100% de MDS para muestra con 4% de cemento.

	Densidad	0.1''	0.2''	CBR
Molde 1	1.99	60.35	46.80	60.35
Molde 2	2.09	64.67	53.54	67.59
Molde 3	2.13	73.84	57.01	75.94

Tabla 49

Resultado de Proctor Modificado y CBR para muestra con 4% de cemento.

Ensayo de Proctor Modificado	
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.115
Óptimo Contenido de Humedad (%)	7.70
Valor Relativo de Soporte C.B.R.	
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0.1")	61.16%
C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0.1")	69.78%
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0.2")	48.07%
C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0.2")	55.47%

Tabla 50

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 6% de cemento – Compactación.

Compactación CBR									
Número de Molde	1			2			3		
Altura Molde cm.	11.6			11.6			11.6		
Nº Capas	5			5			5		
NºGolp x Capa	12			25			56		
Cond. Muestra	Antes		Después	Antes		Después	Antes		Después
P. Húm.+ Molde	12552.00		12953.23	12743.00		13110.48	12238.00		12574.40
Peso Molde (gr)	7905.00		7905.00	7898.00		7898.00	7254.00		7254.00
Peso Húmedo (gr)	4647.00		5048.23	4845.00		5212.48	4984.00		5320.40
Vol. Molde (cm³)	2120.30		2120.30	2105.00		2105.00	2116.78		2116.78
Densidad Húmeda (gr/cm³)	2.19		2.38	2.30		2.48	2.35		2.51
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húmedo + Tara	176.92	176.11	173.71	179.39	176.24	169.46	184.33	175.02	181.17
Peso Seco + Tara	166.67	166.04	152.03	168.83	165.94	150.23	173.55	165.26	161.11
Peso Agua (gr)	10.25	10.07	21.68	10.56	10.30	19.23	10.78	9.76	20.06
Peso Tara (gr)	20.91	24.62	19.17	21.17	23.45	24.71	19.73	24.46	19.75
P. Muestra Seca	145.76	141.42	132.86	147.66	142.49	125.52	153.82	140.80	141.36
Cont. Humedad	7.03%	7.12%	16.32%	7.15%	7.23%	15.32%	7.01%	6.93%	14.19%
Cont.Hum.Prom.	7.08%		16.32%	7.19%		15.32%	6.97%		14.19%
Densidad Seca	2.05		2.05	2.15		2.15	2.20		2.20

Tabla 51

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 6% de cemento – Hinchamiento.

Ensayo de Hinchamiento										
Tiempo Acumulado		Número de Molde			Número de Molde			Número de Molde		
(Hs)	(Días)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)
0	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
24	1	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
48	2	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
72	3	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
96	4	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

Tabla 52

Resultados de ensayo de CBR con incorporación de 6% de cemento – Carga Penetración.

Ensayo Carga - Penetración							
Diámetro de pistón	4.953	cm		Área de Pistón	19.27	cm ²	
Penetración		Molde N°01		Molde N°02		Molde N°03	
(mm)	(pulg)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	194	10.04	233	12.09	309	16.02
1.27	0.050	397	20.60	582	30.21	617	32.03
1.91	0.075	604	31.35	783	40.64	880	45.67
2.54	0.100	817	42.43	892	46.30	1063	55.18
5.08	0.200	951	49.36	1063	55.17	1231	63.90
7.62	0.300	1055	54.76	1245	64.62	1393	72.31
10.16	0.400	1173	60.88	1432	74.32	1549	80.39
12.70	0.500	1287	66.80	1605	83.30	1720	89.27

Figura 20

Curva Esfuerzo – Penetración para muestra con incorporación de 6% de cemento.

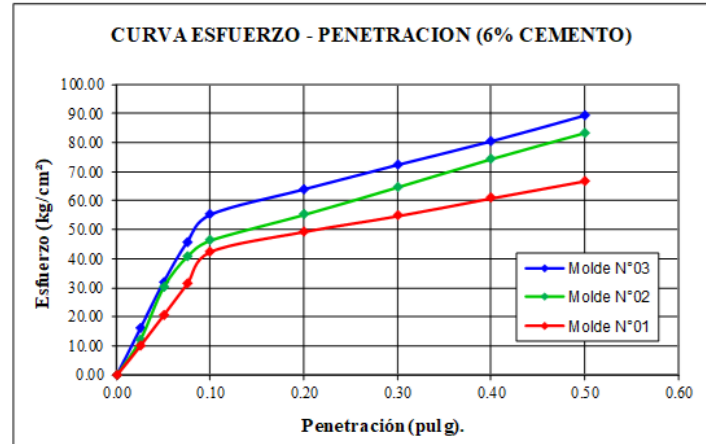
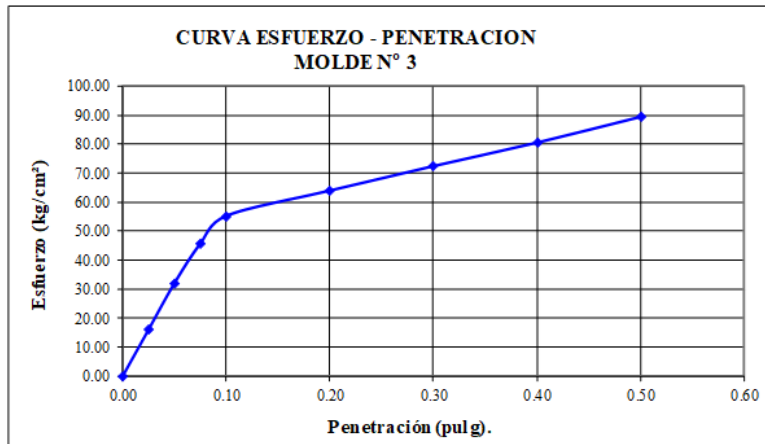
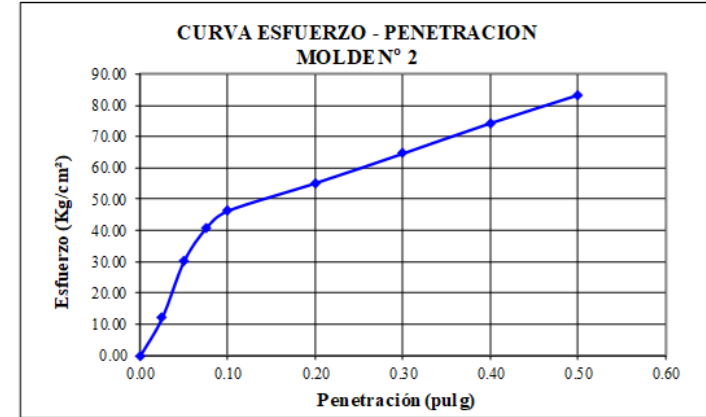
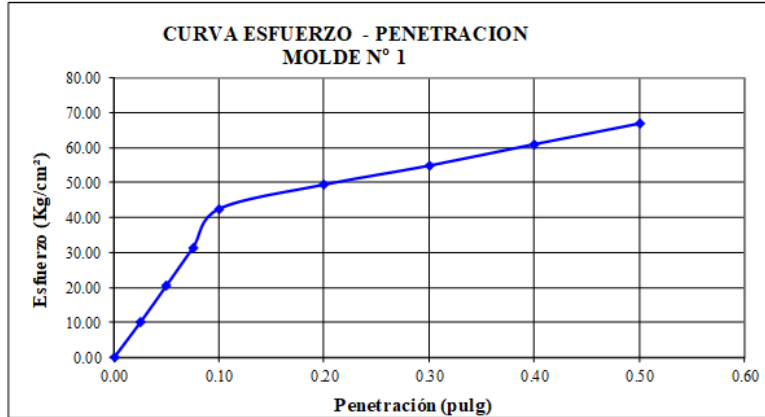


Figura 21

Curva Densidad – CBR para muestra con incorporación de 6% de cemento.

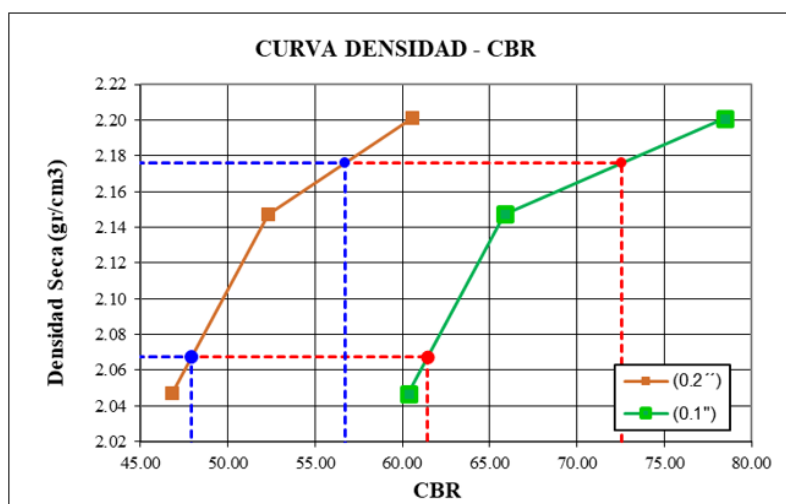


Tabla 53

Penetración para (0.1'') y (0.2'') para muestras con 6% de cemento.

Penetración	0.1 (*)	0.2 (*)
Molde 1	42.43	49.36
Molde 2	46.30	55.17
Molde 3	55.18	63.90

Tabla 54

Resultado de CBR al 95% y 100% de MDS para muestra con 6% de cemento.

	Densidad	0.1''	0.2''	CBR
Molde 1	2.05	60.35	46.80	63.75
Molde 2	2.15	65.85	52.31	70.05
Molde 3	2.20	78.49	60.59	77.23

Tabla 55

Resultado de Proctor Modificado y CBR para muestra con 6% de cemento.

Ensayo de Proctor Modificado	
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.176
Óptimo Contenido de Humedad (%)	7.10
Valor Relativo de Soporte C.B.R.	
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0.1")	61.46%
C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0.1")	72.59%
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0.2")	47.92%
C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0.2")	56.73%

Tabla 56

Resultados de ensayo de Abrasión de los Ángeles.

Muestra		Cantera: El Mirado de Cochamarca
Gradación		A
Malla		
Pasa	Retenido	
2"	1 1/2"	0.00
1 1/2"	1"	0.00
1"	3/4"	1245.60
3/4"	1/2"	1263.70
1/2"	3/8"	1240.60
3/8"	1/4"	0.00
1/4"	N° 4	0.00
Total		3749.90
Retiene N° 12		1827.90
% Desgaste		51.25%

Tabla 57

Resumen del ensayo de Abrasión de los Ángeles.

Total	3749.90 gr
Ref. tamiz N°12	1827.90 gr.
N° de esferas	12.00
N° de revoluciones	1000.00
Tiempo de rotación (minutos)	30.30
% Desgaste	51.25%

Apéndice 02: Panel Fotográfico

Figura 22

Identificación del tramo en estudio.



Figura 23

Reconocimiento de la cantera El Mirador de Cochamarca.



Figura 24

Identificación del material de cantera.



Figura 25

Elaboración de ensayo de granulometrías



Figura 26

Elaboración de ensayo de Límite Líquido.

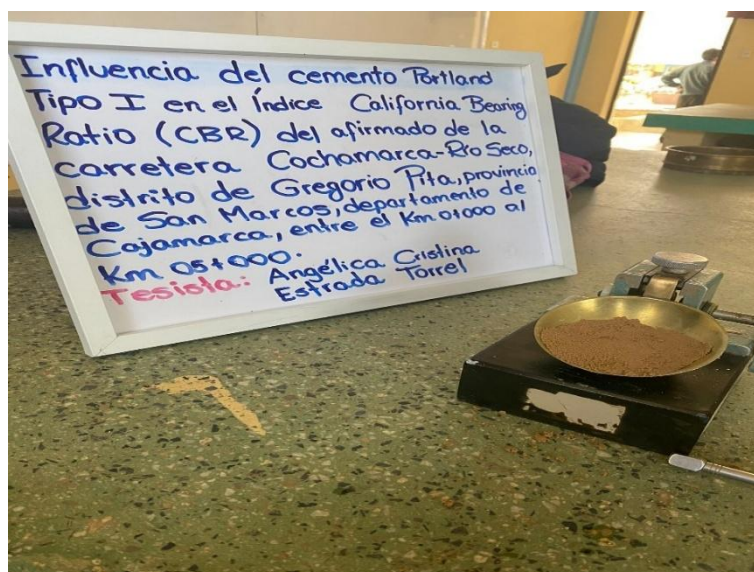


Figura 27

Agregado + Cemento para ensayo de Proctor Modificado.



Figura 28

Ensayo Proctor Modificado – Espécimen enrasado.



Figura 29

Ensayo de Proctor Modificado



Figura 30

Ensayo de CBR.



Figura 31

Ensayo de CBR.



Figura 32

Ensayo de CBR - Inmersión.

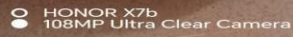


Figura 33

Ensayo de Desgaste de los Ángeles – Equipo



Ensayo de Desgaste de los Ángeles



Apéndice 03: Norma Técnica MTC E 132



7.1.2 Densidad o peso unitario. La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

7.1.3 Agua absorbida. El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta (numerales 4.1.3 y 4.1.4); la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.

7.1.4 Presión de penetración. Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva (véase Figura 3).

7.1.5 Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 6.3. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

Es decir:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L_2 - L_1}{127} \times 100$$

Donde

L_1 = Lectura inicial en mm.

L_2 = Lectura final en mm.

7.1.6 Valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.
- De la curva corregida tómense los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (1000lb/plg²) y 10,3 MPa (1500 lb/plg²) respectivamente, y multiplíquese por 100. **La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.**

Apéndice 04: Ficha Técnica del Cemento Portland Tipo I



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.92	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.10	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3 días	MPa (Kg/cm ²)	26.1 (266)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (Kg/cm ²)	33.9 (346)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (Kg/cm ²)	42.3 (431)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	267	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2017 al 31-08-2017.
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2017.
(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

Apéndice 05: Autorización de uso Externo de Laboratorio de Mecánica de Suelos.



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
Teléfono N° 341518, Anexo 1217-Edificio 1C-106
Cajamarca - Perú



"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

Cajamarca, 05 de setiembre de 2025.

OFICIO N° 802-2025-EPIC-FI-UNC

Señorita:

Angélica Cristina Estrada Torrel

Egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería - UNC

PRESENTE:

De mi consideración:

Es grato dirigirme a Usted, para saludarle cordialmente y, al mismo tiempo, autorizar el uso del Laboratorio externo en la ciudad Cajamarca: "NEO TERRA INGENIEROS E.I.R.L."; para que Usted realice sus respectivos ensayos de su tesis titulado: "INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN EL ÍNDICE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DEL AFIRMADO D LA CARRETERA COCHAMARCA – RIO SECO, DISTRITO DE GREGORIO PITA, PROVINCIA DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, ENTRE EL KM 00+000 AL KM 05+000", asesorada por la Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para testimoniarle las muestras de mi especial deferencia.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur
DIRECTOR

Apéndice 06: Autorización de uso Externo de Laboratorio de Mecánica de Suelos.



Registro INDECOPI N°: 001395-2018/DSD- Reg. INDECOPI

ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS,
ANÁLISIS DE CANTERAS, DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO,
CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS.

El Ing. Norman Alfredo Sifuentes, identificado con DNI N° 26718421, Gerente General de **NEO TERRA INGENIEROS - E.I.R.L.** con RUC N° 20495967078 y con resolución N° 001395 – 2018/DSD – Reg. INDECOPI, deja:

CONSTANCIA:

Que, **ANGÉLICA CRISTINA ESTRADA TORREL**, identificada con DNI N° 73117711, bachiller en Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha ejecutado algunos ensayos de laboratorio que corresponden a su Tesis: **"INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN EL ÍNDICE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DEL AFIRMADO DE LA CARRETERA COCHAMARCA – RÍO SECO, DISTRITO DE GREGORIO PITA, PROVINCIA DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, ENTRE EL KM 00+000 AL KM 05+000"** aprobado mediante Resolución de Consejo de Facultad N° 0652-2024 - FI - UNC, bajo la supervisión del Ingeniero del laboratorio Norman A. Sifuentes, especialista de Mecánica de Suelos y Pavimentos. Los ensayos ejecutados por el Tesista fueron los siguientes:

- Ensayo de CBR
- Ensayo de Abrasión

Los ensayos fueron realizados desde el 06 de septiembre del 2025 hasta el 17 de septiembre del 2025.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada, para los fines que estime por conveniente.

Cajamarca, 19 de septiembre del 2025.

Atentamente,

NEO TERRA INGENIEROS E.I.R.L. DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES	LABORATORIO	Jr. Pablo Gana H-17, Urb. Docentes UNC - Jr. Miguel Gonzales 112 - Urb. Horacio Zeballos - Cajamarca - Cel. 976661847	nalfre_74@hotmail.com / ntingenieros@outlook.com
---	-------------	---	---