



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN
LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN SUELO OBTENIDO
EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON
CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022**

Presentado por:

Luis Enrique Bravo Humpire

**Para Optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil**

Asesor: Mgt. Ing. Eigner Román Villegas

Cusco – Perú

2022



Dedicatoria

Con cariño a mi Familia, en especial a mi madre por el amor y apoyo incondicional brindado día a día en este camino llamado vida.

A mis amigos, por los consejos y momentos que ayudaron a forjar este camino, por la ayuda incondicional dentro y fuera de la universidad.



Agradecimientos

Llegar a este punto de tu vida es a la vez sencillo y complicado a la vez, tienes mucho que agradecer y es difícil materializarlo en palabras. Espero me entiendan.

A Dios, por darme la oportunidad de lograr esta meta, por ponerme personas que sumaron en mi vida profesional y que hoy me acompañan a lado en este camino.

A mi familia, a mi querida madre por el cariño y apoyo que me brindaron todos estos años.

A la Universidad Andina del Cusco, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que fue mi casa de estudios por muchos años, que me impartió conocimientos, ideas que me formaron como profesional siendo testigo de experiencias, de amistades y de logros, que recordare con mucho cariño.

Al ingeniero Mg. Román Villegas, Eigner, por el conocimiento y guía que me brindo en el proceso de esta investigación.



Resumen

La investigación tiene como objetivo principal determinar la influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua en las propiedades físico-mecánicas de un suelo estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante, considerando 5 mezclas: Suelo Natural (1), Suelo + 5% cemento (2), Suelo +7% cemento (3), Suelo + 5% cemento + hidrogel (4) y Suelo + 7% cemento + hidrogel hidratado (5). La poca adopción de nuevas alternativas de estabilización o complementarias a las ya conocidas actualmente a nivel de trocha o sin afirmar, traza un reto en la mejora en condiciones desfavorables principalmente por la baja capacidad de soporte en suelos finos. Dentro de las propiedades que fueron evaluadas se encuentra la compactación, resistencia a compresión, capacidad de soporte CBR y variación de expansión; mediante ensayos de proctor modificado, ensayo de CBR, resistencia a compresión de probetas de suelo cemento y análisis de costo. La metodología seguida en esta investigación cuenta con un enfoque cuantitativo, con nivel explicativo empleando el método de investigación hipotético deductivo, donde el diseño metodológico es cuasiexperimental. Los resultados obtuvieron un suelo A-4 (0), ML (Limo de baja plasticidad) cuya densidad máxima seca fue 1.862gr/cm³ (1), 1.867 gr/cm³ (2), 1.88 gr/cm³ (3), 1.890 gr/cm³ (4) y 1.897gr/cm³ (5). Para la resistencia a compresión da como consecuencia 1.12 kg/cm² (1), 10.31 kg/cm² (2), 12.48kg/cm² (3), 13.41 kg/cm² (4) y 15.25 kg/cm² (5) en promedio. Asu vez en el ensayo de CBR se obtuvo 2.55% (1), 103.84% (2), 154.32% (3), 145.09% (4) y 172.09% (5). Con costo de operación por m² S/ 19.84 (2), S/ 24.83 (3), S/ 27.25 (4) y S/ 31.80 (5). Lo concluyente, de manera general el hidrogel influye positivamente en gran parte de las propiedades mecánicas estudiadas, con excepción a la compactación. Lo resaltante radica en el CBR, incrementando en casi el 40% del CBR para un (4) a comparación de (2) y un crecimiento del 12% del CBR para el (5) en relación con (3). Así mismo para la resistencia a compresión el hidrogel logra un incremento de alrededor del 30% a comparación de un (2), de igual forma sucede con (5) logrando un impacto de aumento en alrededor del 22% en relación con (3). El hidrogel ha elevado los costos de estabilización progresivamente, debido a la relación con el contenido de humedad optimo en rangos de 13% a 14%.

Palabras Clave: hidrogel, poliacrilato de sodio, densidad máxima seca, CBR, suelo cemento, resistencia a compresión.



Abstract

The main objective of the research is to determine the influence of the addition of Hydrogel as a substitute for water on the physical-mechanical properties of a soil stabilized with portland cement type IP at the subgrade level, considering 5 mixtures: Natural Soil (1), Soil + 5% cement (2), Soil + 7% cement (3), Soil + 5% cement + hydrogel (4) and Soil + 7% cement + hydrogel (5). The little adoption of new stabilization alternatives or complementary to those already known at the gauge level or without affirming, poses a challenge in unfavorable conditions mainly due to the low support capacity in fine soils. Among the properties that were evaluated are compaction, compressive strength, CBR support capacity and expansion variation; through modified proctor tests, CBR test, compressive strength of soil-cement specimens and cost analysis. The methodology followed in this research has a quantitative approach, with an explanatory level using the hypothetical-deductive research method, where the methodological design is quasi-experimental. The results obtained a soil A-4 (0), ML (Low Plasticity Silt) whose maximum dry density was 1.862gr/cm³ (1), 1.867 gr/cm³ (2), 1.88 gr/cm³ (3), 1.890 gr/cm³ (4) and 1.897gr/cm³ (5). For the compressive strength, it results in 1.12 kg/cm² (1), 10.31 kg/cm² (2), 12.48kg/cm² (3), 13.41 kg/cm² (4) and 15.25 kg/cm² (5) on average. In turn, in the CBR test, 2.55% (1), 103.84% (2), 154.32% (3), 145.09% (4) and 172.09% (5) were obtained. With operating cost per m² S/ 19.84 (2), S/ 24.83 (3), S/ 27.25 (4) and S/ 31.80 (5). In conclusion, in general, the hydrogel positively influences a large part of the mechanical properties studied, with the exception of compaction. What stands out lies in the CBR, increasing by almost 40% of the CBR for a (4) compared to (2) and a growth of 12% of the CBR for (5) in relation to (3). Likewise, for the compressive strength, the hydrogel achieves an increase of around 30% compared to (2), in the same way it happens with (5) achieving an impact increase of around 22% in relation to (3). The hydrogel has progressively increased stabilization costs, due to the relationship with the optimum moisture content in ranges from 13% to 14%.

Keywords: hydrogel, sodium polyacrylate, maximum dry density, CBR, cement floor, compressive strength.



Introducción

En estos tiempos nuestro país no ha adoptado de manera masiva nuevas alternativas de estabilización o aditivos complementarias a las conocidas actualmente, frente a la gran exigencia y demanda de proyectos viales.

La investigación trata de probar la influencia que tiene un polímero llamado hidrogel, en su incorporación en un suelo cemento, con el fin de otorgar mayores bondades de las que otorga por sí el cemento, incrementando en menor o mayor medida sus propiedades. Con la mira de lograr un tratamiento de suelos con la reducción de cemento traducida en costo, obteniendo similares o los mismos beneficios. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación pretende dar una alternativa complementaria con la adición de hidrogel a un suelo estabilizado con cemento portland tipo IP, con el fin de aportar humedad durante más tiempo y contribuir en el fraguado, esto se traduciría en la mejora de sus propiedades físico-mecánicas.

En la primera parte de la investigación, contempla la identificación y descripción del problema a estudiar, señalando la ubicación, la adquisición del aditivo a usar. Así mismo, la formulación del problema general y específicos como también los objetivos de la investigación.

La segunda parte, describe algunos antecedentes de acuerdo con las variables a investigar, así como las bases teóricas para un mejor entendimiento, así mismo el planteamiento de las hipótesis, identificación de las variables y la operacionalización de estas.

La tercera parte, da a conocer la metodología que fue seguida en todo el proceso de la investigación, así como los procedimientos y análisis de los resultados de la influencia del hidrogel en un suelo estabilizado con cemento al 5% y 7%, para terminar con las conclusiones y recomendaciones.



Índice General

Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Introducción	v
Índice General	vi
Índice De Tablas.....	xi
Índice De Figuras	xvi
Capítulo I: Planteamiento del Problema	1
1.1. Identificación del Problema	1
1.1.1. Descripción del Problema	1
1.1.2. Formulación del Problema General.....	3
1.1.3. Formulación de los Problemas Específicos.....	3
1.2. Justificación de la investigación	3
1.2.1. Justificación Técnica	3
1.2.2. Justificación Social.....	4
1.2.3. Justificación por Viabilidad	4
1.2.4. Justificación por Relevancia.....	4
1.3. Limitaciones de la Investigación	5
1.3.1. Limitaciones Geográficas.....	5
1.3.2. Limitaciones de Diseño.....	5



1.4. Objetivo de la Investigación	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
Capítulo II: Marco Teórico de la Tesis	7
2.1. Antecedentes de la tesis o Investigación Actual	7
2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional	7
2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional.....	10
2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes	11
2.2.1. Suelo.....	11
2.2.2. Suelos Limosos	11
2.2.3. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Suelos	12
2.2.4. Cemento Portland como Estabilizante	15
2.2.5. Suelo Cemento	16
2.2.6. Estabilización de Suelos.....	18
2.2.7. Tipos de Estabilización	18
2.2.8. Hidrogel.....	19
2.2.9. Subrasante	25
2.2.10. Ensayos De Laboratorio	26
2.3. Hipótesis	30
2.3.1. Hipótesis General	30
2.3.2. Sub-Hipótesis	31
2.4. Definición de Variables	31
2.4.1. Variables Independientes	31



2.4.2. Variables Dependientes	32
2.4.3. Cuadro de Operacionalización de Variables	33
Capítulo III: Metodología	34
3.1. Metodología de la Investigación	34
3.1.1. Enfoque de la Investigación	34
3.1.2. Nivel o Alcance de la Investigación	34
3.1.3. Método de Investigación	34
3.2. Diseño de la Investigación	35
3.2.1. Diseño Metodológico	35
3.2.2. Diseño de Ingeniería	36
3.3. Población y Muestra	37
3.3.1. Población	37
3.3.2. Muestra	37
3.3.3. Criterios de Inclusión	39
3.4. Instrumentos	40
3.4.1. Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos	40
3.4.2. Instrumentos de Ingeniería	47
3.5. Procedimientos de Recolección de Datos	52
3.5.1. Muestreo de Suelos	52
3.5.2. Ensayo de Contenido de Humedad	58
3.5.3. Ensayo de Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado	60
3.5.4. Ensayo de Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro	64
3.5.5. Ensayo de Límite Líquido	67



3.5.6. Ensayo de Límite Plástico	71
3.5.7. Ensayo de Proctor Modificado	74
3.5.8. Ensayo de Resistencia a Compresión de Probetas de Suelo Cemento	83
3.5.9. Ensayo de CBR	89
3.6. Procedimientos de Análisis de Datos	106
3.6.1. Determinación de Contenido de Humedad	106
3.6.2. Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado.....	108
3.6.3. Ensayo de Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro.....	112
3.6.4. Ensayo de Límite Líquido	115
3.6.5. Ensayo de Límite Plástico	117
3.6.6. Clasificación de Suelos	119
3.6.7. Ensayo de Proctor Modificado	124
3.6.8. Ensayo de Resistencia a Compresión	132
3.6.9. Ensayo CBR “California Bearing Ratio” (laboratorio).....	134
3.6.10. Análisis Económico.....	154
Capítulo IV: Resultados.....	160
4.1. Compactación de Suelos en Laboratorio (Proctor Modificado)	160
4.2. Resistencia a Compresión	161
4.3. Índice de CBR (laboratorio).....	162
4.4. Variación de Expansión	163
4.5. Costo de Estabilización con Cemento.....	164
Capítulo V: Discusión	165
Glosario	170



Conclusiones	171
Recomendaciones.....	176
Referencias	177
Anexos.....	181



Índice De Tablas

Tabla 1. Cantidades de Cemento.....	16
Tabla 2. Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador.	17
Tabla 3. Categorías de Subrasante.	25
Tabla 4. Métodos usados para el Ensayo Proctor Modificado.....	28
Tabla 5. Cuadro de Operacionalización de Variables	33
Tabla 6. Cantidad de Ensayos por Realizar.....	38
Tabla 7. Guía de observación en laboratorio: Contenido de Humedad.	40
Tabla 8. Guía de observación en laboratorio: Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado.	41
Tabla 9. Guía de observación en laboratorio: Granulometría por Hidrómetro.	42
Tabla 10. Guía de observación en laboratorio: Límites de Atterberg – Límite Líquido y Límite Plástico	43
Tabla 11. Guía de observación en laboratorio: Proctor Modificado.....	44
Tabla 12. Guía de observación en laboratorio: Resistencia a Compresión.....	45
Tabla 13. Guía de observación en laboratorio: CBR en laboratorio.	46
Tabla 14. Estratigrafía Punto de Investigación – C01.....	56
Tabla 15. Estratigrafía Punto de Investigación – C02.....	56
Tabla 16. Estratigrafía Punto de Investigación – C03.....	57
Tabla 17. Determinación del contenido de humedad de un suelo – Toma de datos.	60
Tabla 18. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado – Toma de datos.....	63
Tabla 19. Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro – Toma de datos.	66



Tabla 20. Determinación del Límite Líquido de los suelos– Toma de Datos.....	71
Tabla 21. Determinación del Límite Plástico – Toma de Datos.	73
Tabla 22. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo Natural – Toma de Datos.	79
Tabla 23. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 5% de Cemento – Toma de Datos.....	80
Tabla 24. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 7% de Cemento – Toma de Datos.....	81
Tabla 25. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 5% de Cemento + Hidrogel – Toma de Datos.....	82
Tabla 26. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 7% de Cemento + Hidrogel – Toma de Datos.....	83
Tabla 27. Resistencia a compresión de probetas de suelo cemento – Toma de Datos.....	88
Tabla 28. Ensayo de CBR – Suelo Natural – Toma de Datos.....	97
Tabla 29. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo Natural – Toma de datos.	98
Tabla 30. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo Natural – Toma de datos.....	98
Tabla 31. Ensayo de CBR – Suelo + 5% Cemento – Toma de Datos.....	99
Tabla 32. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 5% Cemento – Toma de datos.	100
Tabla 33. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 5% Cemento – Toma de datos.....	100
Tabla 34. Ensayo de CBR – Suelo + 7% Cemento – Toma de Datos.....	101
Tabla 35. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 7% Cemento – Toma de datos.	102
Tabla 36. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 7% Cemento – Toma de datos.....	102



Tabla 37. Ensayo de CBR – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel – Toma de Datos.	103
Tabla 38. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel – Toma de datos.....	104
Tabla 39. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel – Toma de datos.	104
Tabla 40. Ensayo de CBR – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel – Toma de Datos.	105
Tabla 41. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel – Toma de datos.....	106
Tabla 42. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel – Toma de datos.	106
Tabla 43. Determinación del contenido de humedad de un suelo – Procesamiento de datos.	107
Tabla 44. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado. Suelo Natural – Procesamiento de Datos.....	110
Tabla 45. Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro – Procesamiento de Datos. .	113
Tabla 46. Determinación del Límite Líquido de los suelos– Procesamiento de Datos.....	116
Tabla 47. Determinación del Límite Plástico de los suelos– Procesamiento de Datos.....	118
Tabla 48. Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad.	119
Tabla 49. Datos necesarios para la Clasificación AASHTO.....	121
Tabla 50. Clasificación de suelos según Índice de Grupo.....	121
Tabla 51. Datos necesarios para la Clasificación SUCS.....	122
Tabla 52. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo Natural – Procesamiento de Datos.	125
Tabla 53. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 5% de Cemento – Procesamiento de Datos.....	126



Tabla 54. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 7% de Cemento - Procesamiento de Datos.	128
Tabla 55. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 5% de Cemento + Hidrogel - Procesamiento de Datos.	129
Tabla 56. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 7% de Cemento + Hidrogel - Procesamiento de Datos.	130
Tabla 57. Resistencia a compresión de probetas de suelo cemento – Procesamiento de Datos.	133
Tabla 58. Ensayo de CBR – Suelo Natural – Procesamiento de Datos.	138
Tabla 59. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo Natural – Procesamiento de Datos.	139
Tabla 60. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo Natural – Procesamiento de Datos.....	140
Tabla 61. Ensayo de CBR – Suelo + 5% Cemento – Procesamiento de Datos.	141
Tabla 62. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 5% Cemento – Procesamiento de Datos.....	142
Tabla 63. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 5% Cemento – Procesamiento de Datos.	143
Tabla 64. Ensayo de CBR – Suelo + 7% Cemento – Procesamiento de Datos.	144
Tabla 65. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 7% Cemento – Procesamiento de Datos.....	145
Tabla 66. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 7% Cemento – Procesamiento de Datos.	146
Tabla 67. Ensayo de CBR – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel– Procesamiento de Datos....	147
Tabla 68. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel – Procesamiento de Datos.	148
Tabla 69. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel – Procesamiento de Datos.....	149



Tabla 70. Ensayo de CBR – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel– Procesamiento de Datos....	150
Tabla 71. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel – Procesamiento de Datos.	151
Tabla 72. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel – Procesamiento de Datos.....	152
Tabla 73. Categorías de Subrasante según el MTC.	153
Tabla 74. Resumen de Resultados de los Ensayos de Proctor Modificado.....	160
Tabla 75. Resumen de Resultados del Ensayo a Compresión.....	161
Tabla 76. Resultados del Ensayo de CBR a 0.1” de penetración y 95% MDS.....	162
Tabla 77. Resultados de Expansión.....	163
Tabla 78. Resumen de Costos con Respecto al Tipo de Muestra.	164
Tabla 79. Resumen de Precios Unitarios para Cada Tipo de Muestra.	164



Índice De Figuras

Figura 1. Mejora de suelos finos a nivel de subrasante mediante la adición de cemento Portland.	1
Figura 2. Estado de Vía Expresa.	2
Figura 3: Perfil del Suelo.	11
Figura 4. Esquema del proceso de compactación.	13
Figura 5. Curva de Compactación.	14
Figura 6. Diagrama de fases del material desde su retirada de su posición natural hasta su puesta en obra como relleno compactado.	15
Figura 7. Estructura química Poliacrilato de Sodio.	20
Figura 8. Estructura química de Poliacrilato de Potasio.	21
Figura 9. Ficha Técnica de Hidrogel.	22
Figura 10. Presentación del Hidrogel.	23
Figura 11. Reacción de Hidrogel con Agua.	23
Figura 12. Rangos de agua con 1gr. de hidrogel.	24
Figura 13. Molde cilíndrico de 4 pulg.	26
Figura 14. Molde cilíndrico de 6 pulg.	27
Figura 15. Equipo y Materiales del ensayo de CBR.	29
Figura 16. Diseño de Ingeniería.	36
Figura 17. Molde de 6” para Proctor Modificado 49	49
Figura 18. Molde de CBR 50	50
Figura 19. Disco espaciador y sobrecargas de CBR. 51	51



Figura 20. Aparato medidor de expansión.	51
Figura 21. Delimitación de la Zona de Estudio.....	53
Figura 22. Puntos de Investigación.	54
Figura 23. Excavación de calicata APV Sacsaccta.	54
Figura 24. Identificación de Estratos.....	55
Figura 25. Puntos de Investigación – Calicatas.....	55
Figura 26. Toma de muestras alteradas.	58
Figura 27. Muestras en el horno.....	59
Figura 28. Lavado de material fino pasante de la malla #200.....	61
Figura 29. Tamizado de la muestra.	62
Figura 30. Muestras retenidas en tamices.	62
Figura 31. Lavado de Material Pasante de la Malla #200.....	64
Figura 32. Preparación de Suelo y Solución con Hexametáfosfato de Sodio.	65
Figura 33. Agitación de Muestra previo a las Mediciones.....	65
Figura 34. Muestra pasante por la malla #40.	67
Figura 35. Amasado de la muestra previamente tamizada.....	68
Figura 36. División de la masa con el acanalador.....	69
Figura 37. Manipuleo de cuchara de casa grande.	69
Figura 38. Sección de la muestra a recoger después de operar la cuchara de Casagrande.	70
Figura 39. Muestras recogidas para determinar el contenido de humedad - Límite Líquido. .	70
Figura 40. Proceso de obtención de cilindros para Límite Plástico.	72



Figura 41. Muestras resultantes del ensayo de Límite Plástico previo al secado.....	73
Figura 42. Muestra previamente secada para la elaboración del ensayo.	74
Figura 43. Preparación de Hidrogel previo al mezclado.....	75
Figura 44. Preparación de la muestra con cemento.....	75
Figura 45. Preparación de la muestra con hidrogel.....	76
Figura 46. Proceso de Compactación a 5 capas cada una de 56 golpes.....	77
Figura 47. Toma de muestra representativa para determinar el contenido de humedad.....	78
Figura 48. Mezclado de material para probetas de suelo cemento.....	84
Figura 49. Compactación de muestra.....	85
Figura 50. Extracción de Probetas de Suelo Cemento.....	85
Figura 51. Probetas extraídas.....	86
Figura 52. Curado de Probetas de Suelo Cemento.....	86
Figura 53. Ruptura de Probetas de Suelo Cemento.....	87
Figura 54. Preparación de la muestra con adición de hidrogel.....	90
Figura 55. Compactación de la muestra de CBR.....	91
Figura 56. Enrasado del molde de CBR.....	91
Figura 57. Colocación de Papel filtro.....	92
Figura 58. Colocación de pesas previo a sumersión.....	92
Figura 59. Lectura de dial para expansión.....	93
Figura 60. Moldes de CBR sumergidos.....	94
Figura 61. Ecurrimiento de Moldes CBR.....	94



Figura 62. Lecturas de esfuerzo – deformación.	95
Figura 63. Moldes después de ser sometidos a esfuerzo.	96
Figura 64. Gráfico de los Porcentajes de Contenido de Humedad – Suelo Natural.	108
Figura 65. Curva Granulométrica. Suelo Natural	111
Figura 66. Gradación del Suelo Natural.	111
Figura 67. Gráfica de Límite Líquido Suelo Natural.	116
Figura 68. Clasificación de materiales de carreteras subrasantes.	122
Figura 69. Sistema Unificado de Clasificación de Suelo.	123
Figura 70. Clasificación de Suelos SUCS.	123
<i>Figura 71. Curva de Compactación. Suelo Natural</i>	<i>126</i>
Figura 72. Curva de Compactación. Suelo + 5% de cemento.	127
Figura 73. Curva de Compactación. Suelo + 7% de cemento.	128
Figura 74. Curva de Compactación. Suelo + 5% de cemento + Hidrogel.	129
Figura 75. Curva de Compactación. Suelo + 7% de cemento + Hidrogel.	130
Figura 76. Gráfica de Densidad Máxima Seca con respecto al tipo de Muestra.	131
Figura 77. Gráfica de Contenido de Humedad Óptimo con respecto al tipo de Muestra.	132
Figura 78. Curva para cálculo de índice de CBR.	136
Figura 79. Gráfica Esfuerzo vs Penetración – Suelo Natural.	139
Figura 80. Gráfica Densidad Seca vs CBR – Suelo Natural.	140
Figura 81. Gráfica Esfuerzo vs Penetración – Suelo + 5% Cemento.	142
Figura 82. Gráfica Densidad Seca vs CBR – Suelo + 5% Cemento.	143



Figura 83. Gráfica Esfuerzo vs Penetración – Suelo + 7% Cemento.....	145
Figura 84. Gráfica Densidad Seca vs CBR – Suelo + 7% Cemento.....	146
Figura 85. Gráfica Esfuerzo vs Penetración – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel.....	148
Figura 86. Gráfica Densidad Seca vs CBR – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel.....	149
Figura 87. Gráfica Esfuerzo vs Penetración – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel.....	151
Figura 88. Gráfica Densidad Seca vs CBR – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel.....	152
Figura 89. Análisis de Precios Unitarios para un Suelo Estabilizado al 5% de cemento - Procesamiento de Datos.....	155
Figura 90. Análisis de Precios Unitarios para un Suelo Estabilizado al 7% de cemento - Procesamiento de Datos.....	156
Figura 91. Análisis de Precios Unitarios para un Suelo Estabilizado al 5% de cemento + Hidrogel - Procesamiento de Datos.....	157
Figura 92. Análisis de Precios Unitarios para un Suelo Estabilizado al 7% de cemento + Hidrogel - Procesamiento de Datos.....	158
Figura 93. Presupuestos de cada tipo de muestra.....	159
Figura 94. Gráfica de Resultados de Ensayo Proctor Modificado.....	160
Figura 95. Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión.....	161
Figura 96. Gráfica comparativa del CBR a 0.1” de penetración en las distintas muestras....	162
Figura 97. Gráfica comparativa de la expansión en las distintas muestras.....	163
Figura 98. Gráfica comparativa de Precios Unitarios.....	164

Capítulo I: Planteamiento del Problema

1.1. Identificación del Problema

1.1.1. Descripción del Problema

En nuestro país el sistema nacional de carretera contempla 175 589 km, donde solo el 17% se encuentra pavimentada, el 83% restante contempla afirmado, sin afirmar y trocha (MTC - Oficina de Estadística - OGPP, 2021). Esto aborda la gran cantidad carreteras que están a nivel de trocha o sin afirmar, ya que forman parte del primer contacto entre poblaciones, en beneficio a los puntos de interés; por otro lado el suelo ha sido una condicionante para la ejecución de proyectos, más aún los suelos finos que presentan comportamientos inestables en condiciones de humedad y temperatura desfavorables. Así mismo, en nuestro país y en el mundo se plantearon alternativas que reduzcan o mitiguen los efectos de un suelo deficiente, adicionando materiales como la cal, cemento, productos derivados del petróleo, polímeros entre otros. Un ejemplo el cual se realizó en Oxapampa, Pasco aplicando la estabilización con cemento. (Castro Gonzales & Navarro Pereyra, 2021)

Figura 1. Mejora de suelos finos a nivel de subrasante mediante la adición de cemento Portland.



Fuente: (Castro Gonzales & Navarro Pereyra, 2021).



Las principales causas se deben a las características del suelo como son la gran cantidad de partículas finas, expansión y la baja capacidad de soporte; cuyo principal detonante radica principalmente por las condiciones climáticas de humedad y temperatura.

Como consecuencia la vida útil de la estructura de un pavimento se vería mermada, esto originaría agrietamientos y asentamientos produciendo un deterioro en la vía y como resultado reduciría la vida útil y los costos de mantenimiento se incrementarían o serían prematuros a lo previsto en el diseño. Esto significa un gran reto que tienen las vías en condiciones desfavorables, principalmente por la baja capacidad de soporte.

Figura 2. Estado de Vía Expresa.



Fuente: (Puma Quispe & Molina Villena, 2020)

Por consiguiente, una alternativa que da solución a la baja capacidad de soporte es la estabilización con cemento, que aporta directamente a sus propiedades mecánicas como también en sus propiedades físicas en la reducción de cambios volumétricos. Así mismo, con la adición de hidrogel supondría una alternativa complementaria en la mejora de las propiedades físico-mecánicas con respecto a un suelo cemento portland tipo IP, debido al estrecha relación que existe entre el cemento y el agua, es por ello que el hidrogel adicionado encapsularía la humedad y la transmitiría de manera progresiva en periodos de tiempos más largos, y con ello podría resultar en la reducción en la cantidad de cemento aplicada en la estabilización, traducida en un descenso a nivel de costos.



1.1.2. Formulación del Problema General.

PG: ¿En qué medida influye la adición de Hidrogel como sustituto del agua en las propiedades físico-mecánicas de un suelo obtenido de la APV Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante?

1.1.3. Formulación de los Problemas Específicos.

PE 1: ¿En qué medida influye la adición de Hidrogel como sustituto del agua en la compactación de un suelo obtenido de la APV Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante?

PE 2: ¿En qué medida influye la adición de Hidrogel como sustituto del agua en la resistencia a la compresión de un suelo obtenido de la APV Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante?

PE 3: ¿En qué medida influye la adición de Hidrogel como sustituto del agua en la capacidad de soporte CBR del suelo obtenido de la APV Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante?

PE 4: ¿En qué medida influye la adición de Hidrogel como sustituto del agua en la variación de expansión del suelo obtenido de la APV Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante?

PE 5: ¿En qué medida influye la adición de Hidrogel como sustituto del agua en el costo del suelo obtenido de la APV Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante?

1.2. Justificación de la investigación

1.2.1. Justificación Técnica

Se plantea dar una alternativa complementaria a la estabilización de suelos con cemento, que permite que los suelos carentes de propiedades geotécnicas óptimas sean usados y no reemplazados. Así mismo, la investigación pretende incrementar las propiedades mecánicas de las que ya aporta el cemento con ayuda del hidrogel, con el fin de contribuir en la humedad necesaria en el fraguado y prolongar el curado interno, por consecuencia adquirir resistencias mayores a comparación con un suelo cemento portland tipo IP. Si la investigación corrobora



las hipótesis planteadas podríamos suponer que no solo habría una mejora a nivel de propiedades, sino también a nivel económico ya que podríamos mejorar un suelo con menos cantidad de cemento logrando un resultado similar o superior al planteado inicialmente.

1.2.2. Justificación Social

La contribución beneficia en primera instancia a los pobladores del sector de Sacsaccata, ya que se analiza las características del suelo de parte de la zona dando como asistencia detalles técnicos para futuros proyectos.

En segundo lugar, la investigación dará un aporte a la comunidad universitaria en la medida de brindar una alternativa de solución frente a suelos limosos de baja plasticidad mediante la estabilización con cemento y con ello realizar posteriores investigaciones.

A personal técnico involucrado en obras viales o edificaciones con el fin de plantear una alternativa complementaria de suelo cemento con el fin de mejorar las propiedades del suelo con una menor cantidad de cemento a lo planificado o proyectado inicialmente.

1.2.3. Justificación por Viabilidad

La presente investigación es viable, ya que hay completa disposición con respecto a la ubicación y accesibilidad del suelo a investigar en la APV Sacsaccata – San Sebastián. Los ensayos requeridos en la investigación están normados y basados en normas y/o manuales, que serán realizados en un laboratorio particular cuyo empleo otorga resultados confiables.

Se tiene total disponibilidad y variedad de tipos de hidrogel en el mercado, accesibles para su compra. Se cuenta con los recursos económicos, materiales y técnicos para abordar la investigación planteada en el proyecto de tesis.

1.2.4. Justificación por Relevancia

Las principales vías de comunicación con mayor demanda en nuestro país debido al crecimiento registrado de la población, el comercio y transitabilidad son las carreteras, lo cual proporciona una base esencial para la dinámica de la economía nacional, lo cual podría contribuir a la generación de nuevo ejes económicos con un bajo costo de implementación sin descuidar las exigencias normativas, por ello, la particularidad de esta investigación recae en la relación que existe entre el cemento y el agua, cuya interacción radica en la generación de cristales o enlaces



iónicos propias de las partículas de cemento haciendo que el hidrogel hidratado prolongue la hidratación del cemento en las primeras etapas.

1.3. Limitaciones de la Investigación

1.3.1. Limitaciones Geográficas

Los resultados de la investigación serán válidos primordialmente para un suelo limoso de baja plasticidad de la APV Sacsaccata de la Calle Independencia del distrito de San Sebastián, esto debido a que cada sector cuenta con parámetros y características únicas en cuanto al suelo.

Así mismo, este puede ser aplicado a otros tipos de suelos o regiones del país, previo análisis y estudio de los suelos presentes en la zona para evaluar su comportamiento con cemento e hidrogel.

1.3.2. Limitaciones de Diseño

Los ensayos serán realizados con un suelo limoso de baja plasticidad debido a sus características, este suelo no es óptimo para carreteras, por este fin, la intención de la investigación es tratar este suelo deficiente y mejorarlo con el propósito de que sea servible y no reemplazado para una subrasante.

El estabilizante base con el que se someterá el suelo será cemento portland tipo IP en un porcentaje de 5% y 7% con respecto a la masa total del suelo, así mismo con la adición de hidrogel hidratado en función al contenido de humedad requerido para cada muestra.

El uso del hidrogel (Poliacrilato de Sodio) se limita a presentación en polvo, para luego ser hidratado. Dicha hidratación radica en la mezcla de 1 gr de hidrogel con 300 ml de agua potable. (Ver ítem 2.2.8.5)

Los resultados preliminares para el estudio base del suelo natural de la APV Sacsaccata limitan a ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico. Posterior a estos se ejecutarán ensayos de Proctor Modificado, Resistencia a compresión de probetas de suelo-cemento y finalmente CBR con la adición de cemento en 5% y 7% e hidrogel hidratado. (Ver ítem 2.2.5.1)



1.4. Objetivo de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

OG: Determinar la influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua en las propiedades físico-mecánicas de un suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.

1.4.2. Objetivos Específicos

OE 1: Determinar la influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua en la Compactación de un suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.

OE 2: Determinar la influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua en la resistencia a la compresión de un suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.

OE 3: Determinar la influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua en la capacidad de soporte CBR del suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.

OE 4: Determinar la influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua en la variación de expansión del suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.

OE 5: Determinar la influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua en el costo del suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.



Capítulo II: Marco Teórico de la Tesis

2.1. Antecedentes de la tesis o Investigación Actual

2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional

En la tesis de posgrado denominada “**Análisis comparativo de los diferentes polímeros para mejorar las propiedades del suelo nativo mediante la estabilización de suelos en la localidad de Mocupe**”, realizada por (Castillo Gonzales, 2021), de la Universidad Católica Santo Toribio de Magrovejo, plantea como Objetivo principal: Analizar comparativamente los polímeros: Almidón de papa y Terrasil, para la estabilización de suelos en la avenida Víctor Raúl, 28 Julio y Porvenir en la localidad de Mocupe. Objetivos específicos: Clasificar el suelo natural de la zona utilizando los sistemas SUCS y AASHTO, Determinar la dosificación óptima de los polímeros a emplear: Terrasil y almidón de papa. Analizar el índice de CBR obtenido con un contenido óptimo empleado con polímero Terrasil y almidón de papa. Se realizó ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico por tamizado, clasificación de suelos, Proctor modificado y relación de soporte califormia (CBR). La metodología tuvo un enfoque cuantitativo con un nivel descriptivo y diseño de investigación experimental. Los resultados obtenidos para los 9 puntos de investigación, para el ensayo de compactación del suelo natural la densidad varía de 1.615 gr/cm³ a 1.674 gr/cm³, con la adición del almidón en dosificaciones de 4%, 6%, 8%, 10% y 12% la densidad máxima varía desde 1.66 gr/cm³ a 1.897 kg/cm³ y con la adición de terrasil en 0.5 kg/m³, 1 kg/m³, 1.5 kg/m³ y 2 kg/m³ las densidades máximas secas estuvieron en un rango de 1.85 gr/cm³ a 1.90 gr/cm³. Con respecto al CBR para un suelo natural tuvo en promedio un CBR de 3.28%, con la adición de almidón en 4%, 6%, 8%, 10% y 12% se obtuvo una tendencia creciente con las dosificaciones de 4% a 8% con un CBR de 6.3% a 7.7% desde ese punto el CBR fue disminuyendo hasta llegar a 5%. Para la adición de terrasil en proporciones de 0.5 kg/m³, 1.0 kg/m³, 1.5 kg/m³ y 2.0 kg/m³ se obtuvieron capacidades de soporte (CBR): 28.10%, 32.30%, 33.70% y 31.30% respectivamente. Como conclusiones se obtuvieron con un suelo en su mayoría suelos limosos plásticos con arenas (ML) según SUCS y según AASTHO suelo A-4(5) en su mayoría. Las proporciones óptimas de los polímeros empleados se obtuvieron mediante la comparativa de resultados de CBR y las proporciones para el polímero natural almidón de papa fueron: 4%, 6%, 8%, 10% y 12%, lo cual el óptimo resultó de 8.80% obteniendo una capacidad de soporte (CBR) promedio de 8.07%, para el polímero industrial Terrasil con dosificaciones de: 0.5 kg/m³, 1.0 kg/m³, 1.5 kg/m³ y 2.0 kg/m³ obtuvo como resultado una cantidad óptima de 1.4 kg/m³ obteniendo un (CBR) de 25.63%.



Con ello, se pudo determinar que el polímero industrial Terrasil proporciona mayores resultados en la capacidad de soporte (CBR), siendo esta 3.18 veces más de lo obtenido con almidón de papa (polímero natural).

En la tesis de pregrado denominada **“Propuesta de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante la adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico provocado por las condiciones climáticas en la Av. Padre salas, Villa Rica, Oxapampa, Pasco”**, realizada por (Castro Gonzales & Navarro Pereyra, 2021), de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas de Lima, plantea como objetivo principal: Reducir el cambio volumétrico del suelo arcilloso de alta plasticidad que conforma la subrasante mediante la estabilización con cemento Portland en la Av. Padre Salas. Objetivos específicos: Caracterizar el suelo; Evaluar los cambios volumétricos del suelo natural y estabilizado; Comparar de valores con los recomendados en el manual del MTC. Para la clasificación del suelo se realizaron ensayos de Granulometría, Límite líquido y Límite plástico, así mismo, en ensayo de compactación Proctor Modificado y ensayo de CBR con cemento al 10%, 15% y 20%. Los resultados obtenidos fueron un suelo A-7-6 (45), para el Proctor Modificado 14.3% de humedad y densidad máxima seca de 1.827 gr/cm³, un CBR al 95% con una penetración de 2.54 mm (0.1”) de 2.60% y una penetración de 5.08 mm (0.2”) de 2.30% y un hinchamiento promedio de 8.12%. Con la adición de cemento al 10% la humedad óptima de 14.60% y densidad máxima seca 1.833 gr/cm³, con 15% de cemento la humedad óptima de 15% y densidad máxima seca 1.832 gr/cm³ y con 20% de cemento la humedad óptima de 14.60% y densidad máxima seca 1.833 gr/cm³. Para el CBR al 95% con 10% de cemento adicionado se obtuvo 105.40%, para 15% de cemento 108% y con la adición de 20% de cemento 129.30% de CBR. Para la expansión con 10% de cemento en promedio se obtuvo un 2.98%, para un 15% de cemento adicionado un 4.24% en promedio de expansión y con 20% de cemento adicionado resultó con una expansión en promedio de 3.54%. En relación con el contenido de humedad resultó que para mayor cantidad de cemento se necesita mayor requerimiento de agua. El CBR mejora a mayor porcentaje de cemento adicionado, describiendo así una curva ascendente con el CBR y % de cemento. La expansión se mantuvo en un rango de 2.96% hasta 4.72%, sin mantener una relación con el cemento adicionado. Como conclusión la expansión de la arcilla de alta plasticidad de la Av. Padre Salas disminuyó al ser mejorada con cemento Portland, el suelo presento una reducción de hasta 7.18% respecto al suelo-cemento. El suelo estudiado está conformado por arcilla de alta plasticidad o suelo A-7-6 (45) con un CBR de 2.3%, es decir, es una subrasante inadecuada. Se determinó una actividad correspondiente a 0.5



el cual indica que es una arcilla caolinita, esto quiere decir que su expansividad es baja y, por lo tanto, su cambio volumétrico no es representativo. El suelo-cemento mejoró el CBR a un valor de 91.9%, con 10% de cemento Portland, por lo que, de acuerdo con el MTC, se obtiene una subrasante extraordinaria.

En la tesis de pregrado denominada “**Suelos arcillosos mejorados con cemento y aditivo con-AID, para la estabilización de la subrasante, camino vecinal ruta pa-701, Pasco, 2018**”, realizada por (Ventura Martel & Alarcón Mestanza, 2018) de la Universidad César Vallejo de Lima, plantea como objetivo principal: Mejorar la capacidad portante de los suelos arcillosos aplicando cemento y aditivo Con-AID. Objetivos específicos: Mejorar la resistencia y compresibilidad de los suelos arcillosos aplicando cemento y aditivo Con-AID, para la estabilización de la subrasante del camino vecinal Ruta N° PA-70. Se pretende utilizar los materiales propios de la zona y evaluar sus propiedades físicas y mecánicas adicionando cemento y aditivo Con-AID para mejorarlos a nivel de subrasante. Se realizaron ensayos de límite líquido, límite plástico, Proctor modificado, CBR y resistencia a la compresión simple. El ensayo de CBR se realizó en base a la NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883 con cemento al 10%, 12% y 14% para un suelo tipo A-7, sin embargo, al adicionar el aditivo CON-AID, esta se disminuyó en un 40% (recomendado por la Empresa CONAID Argentina S.A.C.) siendo estas el % de cemento considerada 6%, 7.2%, 8.4% más 0.007lts. de CON-AID para cada proporción. El ensayo de resistencia a la compresión simple según la norma ASTM C39 así mismo la preparación se hizo en base al manual MTC E1101 del (MTC, 2016). Los resultados obtenidos fueron: para el ensayo de Proctor modificado la máxima densidad seca para un suelo natural se obtuvo 1.636 gr/cm³, para 6% de cemento y 0.007lts de Con-Aid se obtuvo 1.626, para 7.2% de cemento y 0.007lts de Con-Aid se obtuvo 1.629, para 8.4% de cemento y 0.007lts de Con-Aid se obtuvo 1.644. Para el ensayo de CBR de un suelo natural se obtuvo un CBR al 100% de 7.8%, para un suelo natural + 6% de cemento + 0.007lts de Con-Aid, se obtuvo un CBR, de 9.1%. Para un suelo natural + 7.2% de cemento + 0.007lts de Con-Aid, se obtuvo un CBR, de 10.6. Para un suelo natural + 8.4% de cemento + 0.007lts de Con-Aid, se obtuvo un CBR, de 12.7%. Para en ensayo de compresión simple con 10% de cemento obtuvo una resistencia de 6 kg/cm² en promedio, para 12% de cemento 8 kg/cm² en promedio y para 14% de cemento una resistencia de 7.5 kg/cm² en promedio para los primeros 7 días. Entre las conclusiones el valor del CBR del suelo tipo A7-5(11) se ve incrementada en 9.1%, 10.6%, 12.7%, al adicionarse Cemento y CON-AID, lo que tiene influencia directa en el desempeño de la vía con mayor capacidad de soporte. La aplicación de CON-AID en la mezcla de cemento, no solo se lograría una mejora en la capacidad de soporte CBR de la subrasante del camino vecinal Ruta PA-701; sino también se reduciría los costos de mantenimiento posterior a



construcción inicial y por consiguiente una menor cantidad de cemento (40% menos) en adquisición y transporte.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

En la tesis de pregrado denominada “**Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de subrasante**”, realizada por (Hidalgo Benavides, 2016), de la Universidad Técnica de Ambato, tiene como objetivo principal: Definir los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de subrasante. Objetivos específicos: Analizar el comportamiento de las enzimas y cemento con el suelo arcilloso. Comparar los procesos de estabilización con enzimas y suelo cemento. Se realizaron ensayos de granulometría y límites de Atterberg para la identificación del suelo mediante las tablas SUCS. Además de identificar las relaciones fundamentales del suelo mediante el ensayo de cono y arena de Ottawa. Para determinar la capacidad portante del suelo CBR (Relación de Soporte California) se efectuó mediante la ejecución del ensayo Proctor Modificado Tipo B, el cual describa la densidad máxima y la humedad óptima del suelo. Así también se colocaron muestras en agua para la obtención del esponjamiento que puede generarse en arcillas plásticas. Los resultados obtenidos como muestra (1) Barrio de La Merced y (2) Barrio el Chofer ensayo de Proctor modificado para la densidad máxima seca para el suelo natural 1.145 gr/cm³ (1) y 1.148 gr/cm³ (2), con la enzima adicional fue de 1.164 gr/cm³(1) y 1.172 gr/cm³(2), con 5% de cemento 1.145 gr/cm³(1) y 1.197 gr/cm³(2), y con 10% de cemento 1.14 gr/cm³(1) y 1.18 gr/cm³(2). Con respecto al CBR se obtuvo para el suelo natural 3.81% (1) y 2.05% (2). Con la adición de la enzima fue de 9.2% (1) y 4.82% (2), con la adición del cemento al 5% fue de 6.86% (1), 5.37% (2) y para la adición de 10% de cemento fue de 6.94% (1) y 7.65% (2). Como conclusiones la aplicación del cemento a las muestras de suelo, modifican directamente el contenido de humedad, debido a la absorción de agua, por esta razón los CHO en el ensayo Proctor Modificado aumentan de en función al porcentaje de cemento adicionado. De acuerdo con los resultados obtenidos de CBR 3,81% para la muestra #1 obtenida del Barrio La Merced y CBR 2,05% para la muestra #2 obtenida del Barrio El Chofer, estos tipos de suelo demuestran ser adecuados para ser estabilizados. La aplicación del agente enzimático como estabilizador de suelos, se ve enmarcado en el resultado obtenido con la muestra #1 con un valor de 9,2% de CBR con respecto al valor de CBR natural de 3,81%.


2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1. Suelo

Según (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005) define al suelo como el agregado de partículas orgánicas e inorgánicas con organización definida y propiedades que varían “vectorialmente”. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en el horizontal.

El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas. (M. Das, 2013)

Figura 3: Perfil del Suelo.

MECÁNICA DE SUELOS		VI Suelo con humus	Fábrica textural heredada. Zona de lixiviación susceptible a la erosión.
MECÁNICA DE GRANOS GRUESOS		V Suelo sin humus	
MECÁNICA DE ROCAS		IV Completamente descompuesto	Fábrica textural y estructural. Zona de acumulación. Inicia el control estructural.
		III Altamente descompuesto	
		II Parcialmente descompuesto	Fábrica estructural heredada.
		I Roca sana	Falla planar, en cuña o por caída.

Fuente: (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002)

Gran parte de los suelos está formado por material, la cual proviene de la descomposición de las rocas. La corteza terrestre está cubierta de materiales sueltos no consolidados los cuales constituyen el llamado “manto rocoso”. (Suarez de Castro, 1979)

2.2.2. Suelos Limosos

Son fracciones microscópicas del suelo que están compuesto de cuarzos muy finos y algunas partículas de característica laminar que forman parte de minerales micáceos. (M. Das, 2013). Los limos están comprendidos entre 0,060 y 0,002 mm para el tamaño de sus partículas, retiene agua mejor que los tamaños superiores. Sin embargo al formarse una pasta agua-limo, al golpear con la mano se ve cómo el agua se exuda con facilidad. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)



2.2.3. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Suelos

2.2.3.1 Color del Suelo

Es una de las características más distinguibles a simple vista. El color rojo o pardo rojizo depende en gran parte del contenido de óxido de hierro no hidratado, el color amarillo depende de óxido de hierro hidratado, algunos tonos grises y blancuzcos indican condiciones de mal drenaje. (Suarez de Castro, 1979)

2.2.3.2 Textura del Suelo

Se refiere a las cantidades relativas de partículas de diversos tamaños que contiene el suelo. Es una característica más permanente y depende del material parental y de los procesos de formación que actúan sobre este. (Suarez de Castro, 1979)

2.2.3.3 Estructura del Suelo

Se refiere a la forma como se unen y ordenan las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla), determina la facilidad para trabajar el terreno, la permeabilidad de estos al agua y su resistencia a la erosión. (Suarez de Castro, 1979)

2.2.3.4 Porosidad del Suelo

Proporción de espacios o cavidades ocupadas por aire y agua. Cuya importancia radica en el flujo de gases y soluciones a través del perfil de suelo. (Suarez de Castro, 1979)

2.2.3.5 Expansividad de Suelos

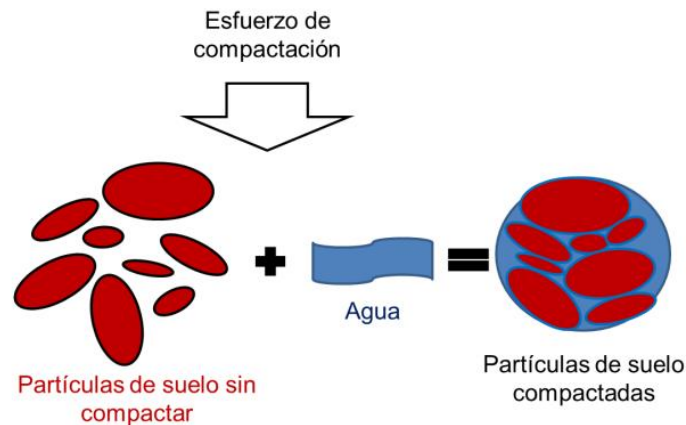
Consiste en el hinchamiento del suelo cuando aumenta su cantidad de agua y se retraen cuando la disminuye. Las diferentes composiciones químicas y estructuras cristalinas de estos minerales dan a cada uno una susceptibilidad diferente a la expansión. (Alva Hurtado, 2021)

Cabe recalcar que en la presente investigación solo se aborda una propiedad física, la cual es la expansibilidad de los suelos.

2.2.3.6 Compactación

Proceso mecánico que reordena las partículas del suelo para disminuir el volumen de poros para aumentar la densidad. También se podría definir a la aplicación de energía a suelo suelto con el fin de eliminar vacíos, aumentando así su densidad y estabilidad. (Marquez, 2006)

Figura 4. Esquema del proceso de compactación.



Fuente: (Gómez de Santos, 2019)

La consolidación del suelo por la eliminación de aire, que demanda energía para lograrlo. Cuya medición se da en términos de su peso unitario seco. Cuando se añade agua a la tierra durante la compactación, ésta actúa como agente lubricante sobre las partículas del suelo. Éstas se deslizan una sobre la otra y se mueven en una posición densamente empaquetadas. (M. Das, 2013)

Básicamente la finalidad de la compactación de un suelo es la obtención de un nuevo material con condiciones preestablecidas, para su aplicación específica.

2.2.3.6.1 Efectos de la Compactación

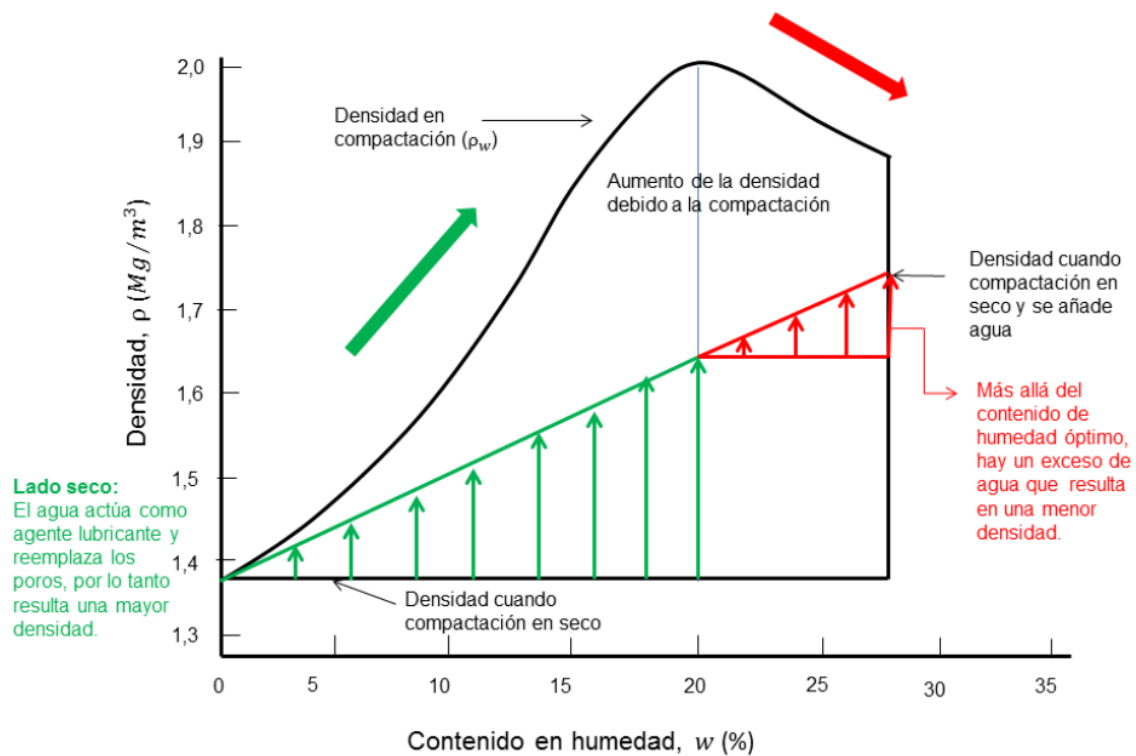
Según (Gómez de Santos, 2019) la modificación de las propiedades físicas de un suelo compactado radica en.

- Reducción de la relación de vacíos.
- Aumento de la densidad o peso específico.
- Aumento del contacto entre granos, por lo tanto, de la resistencia friccional del suelo.

A su vez, gracias a la compactación las propiedades del terreno donde se aplican producen efectos mecánicos.

- Aumento de las propiedades de resistencia de los suelos; cohesión (c) y ángulo de rozamiento interno (ϕ).
- Disminución de la deformabilidad del suelo.
- Disminución de la conductividad hidráulica o permeabilidad (k)

Figura 5. Curva de Compactación.

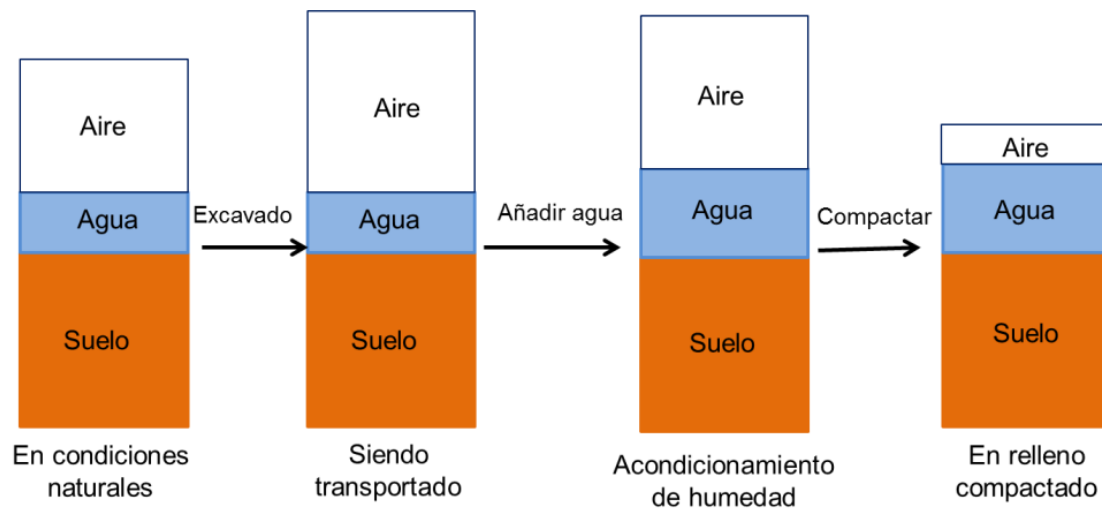


Fuente: (Johnson & Sallberg, 1960)

2.2.3.6.2 Factores que Afectan la Compactación

Además del contenido de humedad, se tienen otros factores importantes que afectan la compactación son el tipo de suelo y esfuerzo de compactación. Con respecto al tipo de suelo esto radica principalmente en la forma y tamaño del grano. El esfuerzo de compactación se relaciona con la energía de compactación por unidad de volumen. (M. Das, 2013)

Figura 6. Diagrama de fases del material desde su retirada de su posición natural hasta su puesta en obra como relleno compactado.



Fuente: (Gómez de Santos, 2019)

Según (Ingles & Metcalf, 1972) las propiedades ingenieriles de los suelos consideradas más importantes son resistencia, compresibilidad, cambio de volumen, permeabilidad y durabilidad. Así mismo, las propiedades que se abordaron en esta investigación son la resistencia, compresibilidad y el cambio volumétrico.

2.2.4. Cemento Portland como Estabilizante

Mezclado íntimamente con el suelo, produce una resistencia mecánica exigida y mejora así también la durabilidad con respecto a agentes físicos y químicos agresivos, como la estabilidad dimensional. (Asociación Nacional Técnica de Estabilizados de Suelos y Reciclado de Firmes, 2008)

El empleo de los cementos en demasía no tiene gran influencia en la resistencia mecánica ya que esta última está más vinculada a la compactación. Esto permite recomendar el empleo del tipo I, por no requerir altos valores de resistencia mecánica a edades tempranas. (Toirac Corral, 2008)



2.2.5. Suelo Cemento

Se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuado, el material suelto se convierte en otro endurecido, más resistente. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

La mezcla de suelo cemento a nivel de estructura con suelos finos en gran parte aumenta la resistencia debido a factores como: La acelerada floculación y acercamiento de partículas, el establecimiento de vínculos entre partículas debido a la hidratación del cemento y la cristalización del carbonato de calcio con partículas de cemento y suelos finos. (De la Fuente Lavalle, 2004)

2.2.5.1 Cantidad de Cemento

La cantidad de cemento puede variar entre el 2% y 25%, en promedio puede ser de 10% y procurar no pasar de 15% por razones económicas. Por otro lado, uno de los factores para tener en cuenta en la cantidad de cemento requerida es la eficiencia de mezclado en obra, con ello se puede reducir considerablemente el contenido de cemento a utilizar. (De la Fuente Lavalle, 2004).

Tabla 1. Cantidades de Cemento

TABLA No. 5.1 Cantidades de cemento requeridas, PCA.		
GRUPO DE SUELOS SEGUN AASHO	PORCIENTO POR VOLUMEN	PORCIENTO POR PESO*
A-1-a	5 - 7	3 - 5
A-1-b	7 - 9	5 - 8
A-2-4	7 - 10	5 - 9
A-2-5	7 - 10	5 - 9
A-2-6	7 - 10	5 - 9
A-2-7	7 - 10	5 - 9
A-3	8 - 12	7 - 11
A-4	8 - 12	7 - 12
A-5	8 - 12	8 - 13
A-6	10 - 14	9 - 15
A-7	10 - 14	10 - 16

Fuente: (De la Fuente Lavalle, 2004).



Para obtener una estabilización de tipo flexible, el cemento varía entre el 1% a 4%, lo cual permite que reducir la plasticidad e incrementa levemente la resistencia. Para un tipo rígida los % de cemento varían entre el 6% y 14%, como consecuencia aumenta su módulo de elasticidad y el comportamiento de las bases. (Ministerio de Vivienda y Saneamiento, 2018)

Tabla 2. Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador.

Tipo de Estabilizador Recomendado	Normas Técnicas	Suelo ⁽¹⁾	Dosificación ⁽³⁾	Curado (Apertura Al Tránsito) ⁽⁵⁾	Observaciones
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6 y A-7 LL > 40% IP ≥ 18% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Teniendo como recomendación los contenidos de cementos descritos por distintas fuentes, se optó por un rango medio tomando más realce en la guía que da el Ministerio de Transportes de acuerdo con el tipo de estabilizador, siendo estos de 5% y 7% para la investigación. El motivo de estos porcentajes radica en dos aspectos que contempla la investigación, el primero es la influencia y el segundo el costo.

La influencia, este punto está relacionado a un porcentaje bajo de cemento, ya que no tomaría una atribución mayor con el hidrogel al ser mezclado, por este motivo no se optó por un contenido mínimo de cemento según los rangos recomendados por el MTC.

El costo, esta razón está relacionada con la máxima adición dentro del rango recomendado por el MTC, si bien supondría una gran influencia con el hidrogel el costo sería mucho mayor y dejaría de ser viable para una subrasante.



2.2.6. Estabilización de Suelos

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose una firmeza estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas. En otras palabras, sería la corrección de una deficiencia con el fin de otorgar una mayor resistencia al terreno. (Equiservicios Industriales, 2016)

“La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

2.2.7. Tipos de Estabilización

2.2.7.1 Estabilización Mecánica

Según el (Instituto de la Construcción y Gerencia, 2016) la estabilización mecánica como la mejora de las propiedades del suelo según dos métodos, la densificación y la granulometría. Así mismo, en el Perú es muy difundido por el proceso constructivo de capas estructurales de un pavimento (base y subbase), con la intervención de equipos mecánicos convencionales.

2.2.7.2 Estabilización de Suelos con Geosintéticos

Los materiales geosintéticos otorgan resistencia a la tracción con una mejora en el rendimiento y construcción de pavimentos, también una gran resistencia frente a los agentes agresivos. En condiciones específicas puede funcionar como un separador con el fin de limitar la contaminación de la mezcla de agregados entre la subbase o base con la subrasante. (Ministerio de Vivienda y Saneamiento, 2018)

2.2.7.3 Estabilización Química

Utilizada en todos los tipos de suelos para el mejoramiento de sus propiedades geotécnicas, cambiando las propiedades fisicoquímicas iniciales del suelo nativo con el objetivo de mitigar algunos problemas tales como la inestabilidad volumétrica o incrementar algunas de sus propiedades como la resistencia y durabilidad de los suelos tratados. (F. Rivera, Aguirre Guerrero, Mejía de Gutiérrez, & Orobio, 2020)



Este tipo de estabilización incluye la utilización de una amplia gama de materiales, entre los cuales el cemento y la cal han sido los más convencionales; sin embargo, otros productos como sales (cloruro de sodio, cloruro de calcio) y residuos o subproductos industriales (escoria de alto horno, cenizas volantes) también han sido considerados en la estabilización de suelos para construcción de carreteras. (Syed Zuber, Kamarudin, & Ai Bakri Abdullah, 2013)

Adicionalmente, la combinación de varias materias primas adecuadamente seleccionadas puede permitir la sinergia de sus propiedades brindando un mejor comportamiento frente a la estabilización de un suelo. (F. Rivera, Aguirre Guerrero, Mejía de Gutiérrez, & Orobio, 2020)

2.2.7.4 Estabilización de Suelos con Polímeros

Es un procedimiento químico cuyo fin permite dotar de un aumento en sus propiedades mecánicas, los polímeros actúan en el suelo como una agente catilico a través de un enlace iónico debido a una de sus propiedades que es la cohesión, que va a permitir la unión de partículas pequeñas para formar una partícula más grande, a su vez la reducción de la capacidad de absorber agua. (López Lara, Hernández Zaragoza, Horta Rangel, Coronado Márquez, & Castaño Meneses, 2010)

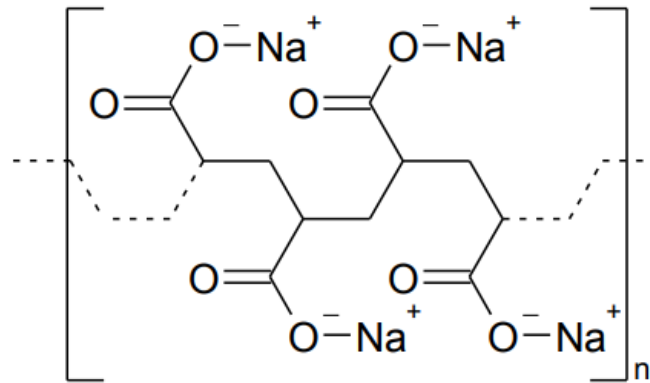
Como indican los distintos autores la estabilización de suelos tiene una amplia gama de alternativas, para el caso de esta investigación se toma en consideración dos tipos de estabilización, la primera estabilización química y la segunda estabilización con polímeros. La primera relacionada con la adición del cemento, como estabilizante principal, la segunda está en función al aporte como complemento del hidrogel en el suelo cemento.

2.2.8. Hidrogel

2.2.8.1 Poliacrilato de Sodio

Es un polímero formado por monómeros $\text{—CH}_2\text{CH}(\text{CO}_2\text{Na})\text{—}$, donde su principal característica es absorber grandes cantidades de agua se debe a que en su estructura molecular existen grupos de carboxilatos de sodio que cuelgan de la cadena (Fig. 10), Se utiliza mayormente como un absorbente de fluido corporal en los productos de desecho higiénico, en particular en pañales. (Pariguana Begazo & Gonzales Gutierrez, 2019)

Figura 7. Estructura química Poliácrlato de Sodio.



Fuente: (Pariguana Begazo & Gonzales Gutierrez, 2019)

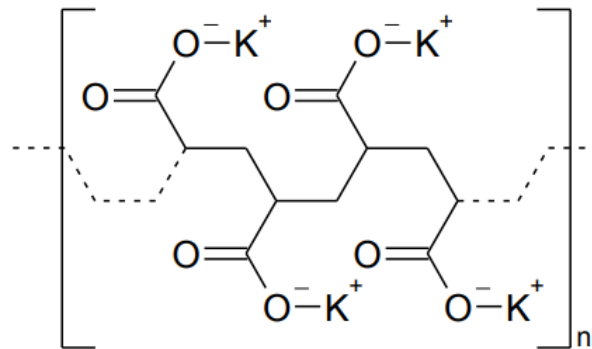
Debido a la naturaleza del material, los cuales son producidos mediante dos métodos gel-polímero o en polimerización por suspensión inversa. El primero es asociado a partículas de forma irregular mientras que el último describe partículas esféricas. Los polímeros superabsorbentes comercializados más importantes son poliácrlatos covalentemente reticulados y copolimerizados. Estos materiales, debido a su estructura interconectada, pueden absorber grandes cantidades de agua sin disolverse. En el polímero superabsorbente se presentan dos estados, los cuales se asocian a un proceso de absorción-desorción que se presenta en las partículas. (Campos Silva, 2017)

2.2.8.2 Poliácrlato de Potasio

El gel de poliácrlato de potasio (PAK), contiene unidades tanto ácido y como monómeros salinos (Fig.9), que tienden a disociarse en agua, el gel de PAK tiene un uso hortícola, como aditivo de suelos como "reserva de agua" en las regiones áridas y desérticas, al regarse el suelo el agua no absorbida por las raíces se almacena en el hidrogel para luego liberarlo paulatinamente, permite un elevado ahorro de los recursos hídricos.



Figura 8. Estructura química de Poliacrilato de Potasio.



Fuente: (Pariguana Begazo & Gonzales Gutierrez, 2019)

Tomando en consideración lo antes descrito, la investigación aborda al poliacrilato de Sodio como sustituto del agua debido a la facilidad de adquisición y la amplia gama de aplicaciones en la industria.

2.2.8.3 Aplicaciones de los Polímeros Super absorbentes

Según (Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación, Universidad Francisco Gavidia, 2019) describe algunas aplicaciones de los polímeros.

- Agente quelante: es utilizado como agente secuestrante en detergentes, es decir, neutralizan la presencia de metales pesados en el agua lo cual hace a un detergente ser más puro y eficaz.
- Agentes espesantes: es utilizado en procesos industriales para mejorar la viscosidad del compuesto a base de agua y aumentar la estabilidad.
- Agricultura: se utiliza para mantener las flores frescas ya que ayuda a mantener la humedad en las macetas de las plantas
- En los pañales ya que absorbe las moléculas de agua que se encuentran en la orina.



2.2.8.4 Ficha Técnica

Figura 9. Ficha Técnica de Hidrogel.



POLIACRILATO DE SODIO FICHA TECNICA

producto para formacion de geles de conservacion de frio

Características físicas y químicas

Item	
Composición	Polímero de alto peso molecular
Forma	Sólido cristalino
Color	Bianco
Olor	Ninguno
Ph	<7.0
Temperatura de ignición	No aplicable
Punto de fusión	No aplicable
Punto de inflamación	No aplicable
Presión de vapor	No aplicable
Densidad	0.56 – 0.7 gr./c.c.
Capacidad de absorbancia (gr./gr.)	250 -400 (agua deionizada).
Porcentaje soluble	Menor del 5%

Campos de Aplicaciones

En la fabricación de Geles o pilas de frio destinadas al transporte de alimentos en los cuales el mantener una baja temperatura es condición esencial para su preservación. Como por ejemplo: transporte de carnes frías, pescados y mariscos, flores, frutas, vegetales, medicinas, etc.

Es de especial aplicación en el transporte de productos en países del trópico, donde la cadena de frio no es la más adecuada. Su campo de acción por lo tanto se amplía tanto en el mercado nacional como a nivel de exportación.

Fuente: Empresa Oregon Chem Group S.A.C.



2.2.8.5 Hidrogel

En primer lugar, la adquisición del hidrogel fue de la empresa Oregon Chem Group S.A.C. con RUC: 20604539383 que tiene como sede la ciudad de Lima. Dicha empresa proporciona distintos compuestos químicos para industrias, en nuestro caso, el hidrogel (Poliacrilato de Sodio) con presentaciones de 1kg a 5kg.

Figura 10. Presentación del Hidrogel.



Fuente: Propia.

Teniendo en consideración la ficha técnica (Figura 09) que fue proporcionada por la empresa Oregon Chem Group S.A.C. con RUC: 20604539383. Con el fin de determinar la consistencia del hidrogel, se hizo una primera prueba de la reacción del hidrogel con el agua.

Figura 11. Reacción de Hidrogel con Agua.



Fuente: Propia.



2.2.8.6 Proporción y Consistencia de Hidrogel

Consistencia

- El hidrogel hidratado no debería tener una consistencia muy seca, ya que, si esta fuera mezclada con el suelo y sometida a un ensayo en este caso CBR la muestra mezclada con hidrogel sería propensa a absorber más agua y por lo tanto se haría más porosa, con ello aumentaría su volumen y su estructura ya no sería estable traduciéndose en una menor resistencia.
- El hidrogel hidratado no debería tener dentro de su estructura “agua suelta”, ya que perdería el enfoque que tiene la investigación, puesto que la investigación está dirigida a la sustitución total del agua y no de forma parcial.

Para lograr los puntos descritos anteriormente, se tomó en consideración el rango de absorción de agua descrita en la ficha técnica (Pág. 22) el cual nos da un rango de 250ml a 400ml de agua absorbida por cada gramo de hidrogel. Para determinar cuanta agua es necesaria para cumplir con la consistencia del hidrogel, se realizó pruebas cada 50ml (250ml, 300ml, 350ml y 400ml) el cual da como resultado 300ml cumpliendo con la consistencia descrita anteriormente.

Figura 12. Rangos de agua con 1gr. de hidrogel



Fuente: Propia



Con esta proporción (300ml de agua – 1gr hidrogel), se puede determinar cuánto hidrogel se debe incorporar a las mezclas. Por ejemplo, si la muestra demanda 500ml de agua para su mezclado, se debe incorporar lo resultante de la división de 500ml entre 300ml dando como consecuencia 1.67 gr de hidrogel a incorporar.

Es importante aclarar que se controló el tiempo en el que el hidrogel reacciona en su totalidad con el agua. Teniendo como tiempo final de la reacción 30 minutos, posterior a este ya se podría realizar el mezclado con suelo cemento.

2.2.9. Subrasante

Según la (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) la subrasante viene a ser la base o cimiento de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que está limitada entre el terreno natural y la estructura del pavimento.

Tabla 3. Categorías de Subrasante.

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Para el (Instituto de la Construcción y Gerencia, 2016) el suelo de fundación o subrasante proporciona una parte sustancial de la capacidad general del sistema estructural del pavimento, especialmente para los pavimentos flexibles.

Por otro lado, la calidad del suelo influye directamente en el trazo y en las dimensiones de la estructura del pavimento, y esto se ve reflejado en los trabajos de mantenimiento requerido a lo largo de la vida útil del pavimento.

2.2.10. Ensayos De Laboratorio

2.2.10.1 Proctor Modificado (MTC E 116-ASTM D698)

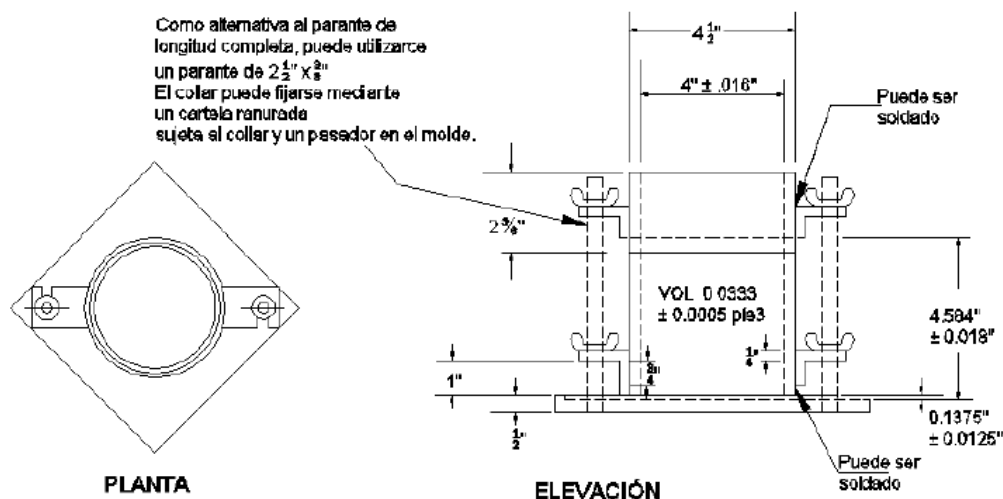
Proctor, en 1933 desarrolló un ensayo demostrando que la humedad óptima está comprendida entre el 90% y 95 % de la humedad de saturación del suelo. Todas las curvas humedad/densidad tienen como envolvente la curva de saturación del suelo. El ensayo de Proctor tiene dos variantes, el Proctor Normal (PN) y el Proctor Modificado (PM). (Marquez, 2006)

El proctor modificado es una prueba con la que se puede encontrar la humedad requerida óptima y ver la compactación perfecta del suelo a través del volumen de peso contenido en un molde. Esto se denomina densidad relativa en volumen bajo una humedad requerida, y para ellos se realiza un proceso que consiste en una variedad de golpes que varían en 5 capas y están relacionadas con las herramientas utilizadas para encontrar la densidad. (Castro Cuadra, 2017)

Procedimiento

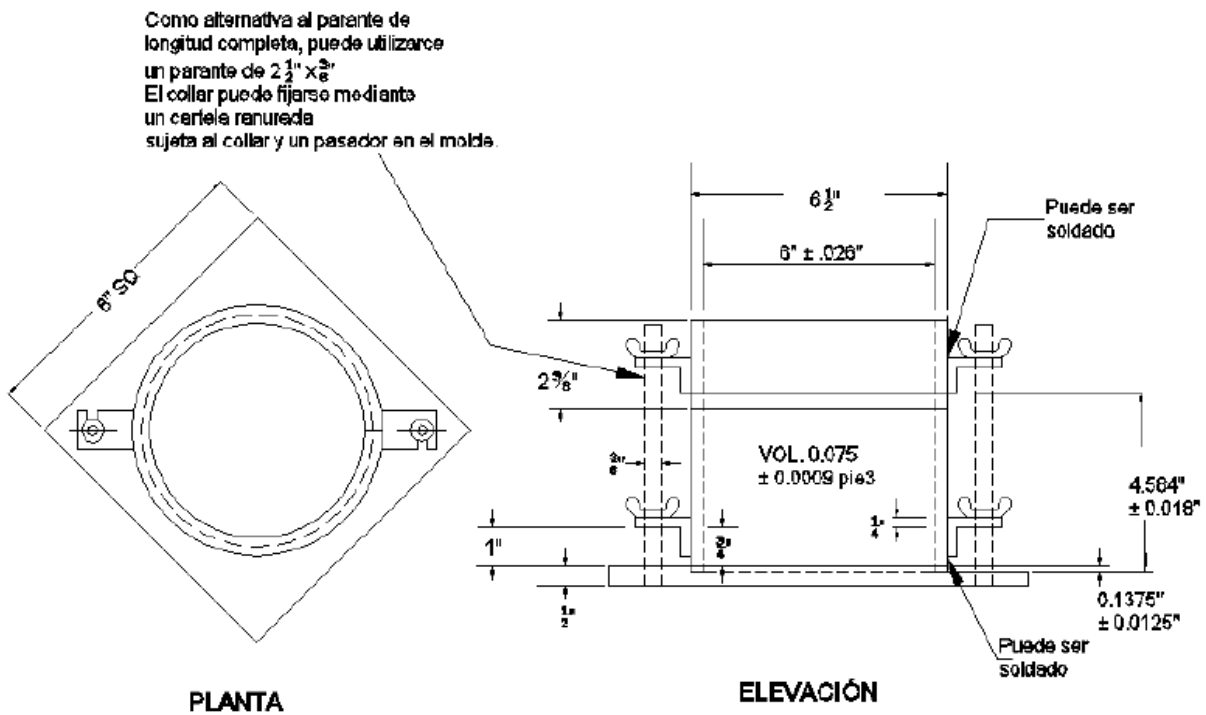
El fin del ensayo de proctor modificado es determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco, esto se logra mediante un molde de 101,6 mm o 152,4 mm (4 o 6 pulgadas) de diámetro y con un pistón 44,5 N que cae de una altura de 457 mm (18 pulg) que produce una Energía de Compactación. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Figura 13. Molde cilíndrico de 4 pulg.



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Figura 14. Molde cilíndrico de 6 pulg.



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Una limitante para este ensayo es que se aplica sólo para suelos que tienen 30% o menos en peso retenido en el tamiz de 19,0 mm ($\frac{3}{4}''$ pulg). A su vez este cuenta con diferentes métodos. “Se proporciona 3 métodos electivos. Esta técnica debe ser conveniente en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está explícito, la elección tendrá fundamento en la gradación del material”. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



Tabla 4. Métodos usados para el Ensayo Proctor Modificado

MÉTODO A	
Molde	101.6 mm (4pulgadas) de diámetro
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz N°4 (4,75mm)
Numero de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4)
Otros Usos	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen este requerimiento de gradación pueden ser ensayados usando el método B o C.
MÉTODO B	
Molde	101.6 mm (4pulgadas) de diámetro
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz 3/8" (9,5mm)
Numero de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4:75 mm (N°4) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 9.5 mm (3/8" pulg.).
Otros Usos	Si el método no es especificado y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando el método C.
MÉTODO C	
Molde	152:4 mm (6 pulgadas) de diámetro
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz 3/4" pulg. (19 mm.)
Numero de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 9.5 mm (3/8" pulg.) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm (3/4" pulg.).
Otros Usos	Este método de prueba generalmente un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no se drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método se Prueba ASTM D 4253 (NTP 339.137).

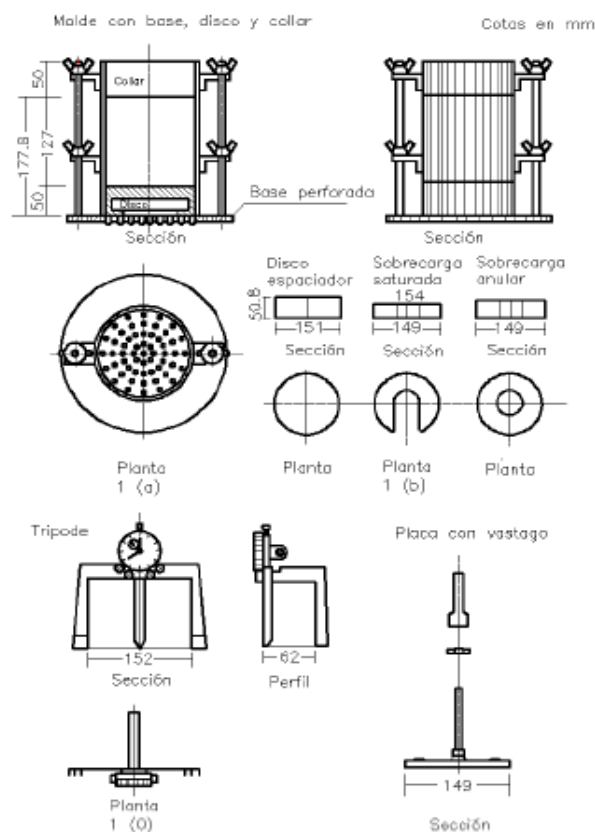
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

2.2.10.2 Ensayo California Bearing Ratio (CBR) - (MTC 249-ASTM D1883)

Es un índice de su resistencia al corte en ciertas condiciones de compactación y humedad, y se expresa como el porcentaje de carga requerido para insertar un pistón de una sección circular en un suelo de muestra con el triturado exacto de piedra. (Crespo Villalaz, 2004)

Básicamente la finalidad del ensayo es evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material base, que se espera encontrar en el terreno en función al peso unitario y contenido de humedad. Para esta finalidad se evalúa en una condición de humedad crítica, después de estar sumergidos por cuatro días con una sobrecarga igual al peso del pavimento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Figura 15. Equipo y Materiales del ensayo de CBR.



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



2.2.10.3 Resistencia A La Compresión De Probetas De Suelo-Cemento

La resistencia a la compresión hace referencia al máximo esfuerzo que puede soportar una probeta, producida por una carga sobre el área en contacto directo con la probeta a una cierta edad, generalmente se expresa en términos de esfuerzo kg/cm². (Rivva, 2000)

Procedimiento del ensayo

Método A. Emplea un cilindro de ensayo de 101,6 mm (4,0") de diámetro y de 116,4 mm (4,584") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1,15.

Método B. Emplea un cilindro de ensayo de 71,1 mm (2,8") de diámetro y de 142,2 mm (5,6") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 2,0. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

En caso de que no se cuente con los moldes correspondientes que detalla en el manual de ensayo de materiales MTC E-1101, esta puede emplearse métodos alternativos especificados en el MTC E-1103, estos serán elaborados según el método del Proctor estándar que contempla 3 capas compactadas a 25 golpes cada una. Una vez elaborado los especímenes estos se someten a carga continuamente y sin choques en una máquina manual o máquina hidráulica para registrar la carga total a la hora de la falla del espécimen. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

(Vásquez Concha, 2010) Afirma que, la dosificación de mezcla para la estabilización de suelos con cemento es preferible desarrollarla por resistencia, con ensayos de compresión simple y no con el ensayo de capacidad de soporte, ya que adecúa mejor a la estabilización con cal y asfaltos.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

HP: La influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua mejorará las propiedades físico-mecánicas de un suelo obtenido de la APV Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.



2.3.2. Sub-Hipótesis

HS 1: La incidencia del Hidrogel como sustituto del agua aumentará la Compactación de un suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.

HS 2: La influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua aumentará la resistencia a la compresión de un suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.

HS 3: La incidencia del Hidrogel como sustituto del agua mejorará la capacidad de soporte CBR del suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.

HS 4: La influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua disminuirá la variación de expansión del suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.

HS 5: La influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua como sustituto del agua reducirá el costo del suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante.

2.4. Definición de Variables

2.4.1. Variables Independientes

Hidrogel: Poliacrilato de Sodio, polímero cuya principal característica es absorber grandes cantidades de agua.

Porcentaje de agua sustituida por hidrogel hidratado



2.4.2. Variables Dependientes

Compactación: Es la consolidación del suelo por la eliminación de aire.

Indicador

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

Resistencia a Compresión: La capacidad para soportar una carga por unidad de área.

Indicador

- Carga (kg)
- Área (cm²)

Capacidad de Soporte CBR: Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

Indicador

- Deformación (mm)
- Esfuerzo (kg/cm²)

Expansión de Suelo: Hinchamiento del suelo cuando aumenta la cantidad de agua y se contrae cuando disminuye.

Indicador

- Deformación (mm)



2.4.3. Cuadro de Operacionalización de Variables

Tabla 5. Cuadro de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLES INDEPENDIENTES					
Hidrogel (Poliacrilato de Sodio)	Polímero cuya principal característica es absorber grandes cantidades de agua (Pariguana Begazo & Gonzales Gutierrez, 2019)	Se determinara la cantidad de agua que es necesaria para que el hidrogel este hidratado para su mezcla.	Influencia de Hidrogel	% de masa de agua por sustitución de hidrogel hidratado	Fichas de Recolección de Datos
VARIABLES DEPENDIENTES					
Propiedades físico-mecánicas del suelo con 5% y 7% de cemento	Propiedades físico-mecánicas: Según (Ingles & Metcalf, 1972) las propiedades ingenieriles de los suelos consideradas más importantes son resistencia, compresibilidad, cambio de volumen, permeabilidad y durabilidad. Así mismo, las propiedades que se abordaron en esta investigación son la resistencia, compresibilidad y el cambio volumétrico.	Se realizara el ensayo de compactación proctor modificado con suelo natural y con la adición de cemento e hidrogel con el fin de conseguir la densidad maxima y contenido de humedad optimo	Compactación	Densidad Máxima Seca (gr/cm3)	Fichas de Recolección - Hojas de cálculo - MTC E 115
				Contenido de Humedad Optimo (%)	
		Se realizara muestras de suelo remoldeadas con suelo natural y adicionadas con cemento e hidrogel con el fin de obtener la carga y el area del testigo.	Resistencia a Compresión	Carga (kg)	Fichas de Recolección - Hojas de cálculo - MTC E 1105
				Area (cm2)	
		Se realizara el ensayo de capacidad de soporte california con la finalidad de obtener el indice CBR con suelo natural y adicionado con cemento e	Capacidad de soporte (CBR)	Densidad Seca (gr/cm3)	Fichas de Recolección - Hojas de cálculo - MTC E 132
				Esfuerzo (kg/cm2)	
Se realizara el ensayo de capacidad de soporte california con el fin de medir el indice de expansion del suelo.	Variación de Expansión	Deformación (mm)	Fichas de Recolección - Hojas de cálculo - MTC E 132		
Se realizara una comparación general del costo por m2 de suelo estabilizado con cemento y la adición de hidrogel.	Variación de Costo	Costo por m2 de suelo Estabilizado	Fichas de Recolección		

Fuente: Propia.



Capítulo III: Metodología

3.1. Metodología de la Investigación

3.1.1. Enfoque de la Investigación

Enfoque cuantitativo está orientada a la medición por procesos que utiliza la recolección de datos, para probar hipótesis en base a una medición numérica y análisis estadístico cuyo fin es marcar precedentes de comportamientos y contrastar teorías. (Fernández Collado, Baptista Lucio, & Hernández Sampieri, 2014)

La presente investigación tiene un enfoque CUANTITATIVO, ya que se basa en la medición de las variables (compactación, resistencia a compresión e índice de CBR) para la demostración de hipótesis, mediante la recolección de datos y así establecer patrones de comportamiento.

3.1.2. Nivel o Alcance de la Investigación

Los estudios explicativos están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Básicamente se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. (Fernández Collado, Baptista Lucio, & Hernández Sampieri, 2014)

El presente estudio tiene como nivel de investigación EXPLICATIVO, debido a que se busca establecer las causas probables y la influencia que produce el hidrogel en las distintas propiedades del suelo estabilizado con cemento.

3.1.3. Método de Investigación

El método hipotético-deductivo consiste en pasos que parte de unas aseveraciones o afirmaciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos o resultados obtenidos. (A. Bernal, 2010)

La presente investigación sigue el MÉTODO HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO por la afirmación general planteada de que el hidrogel tendrá una mayor influencia en la estabilización del suelo con cemento a nivel de subrasante.



3.2. Diseño de la Investigación

3.2.1. Diseño Metodológico

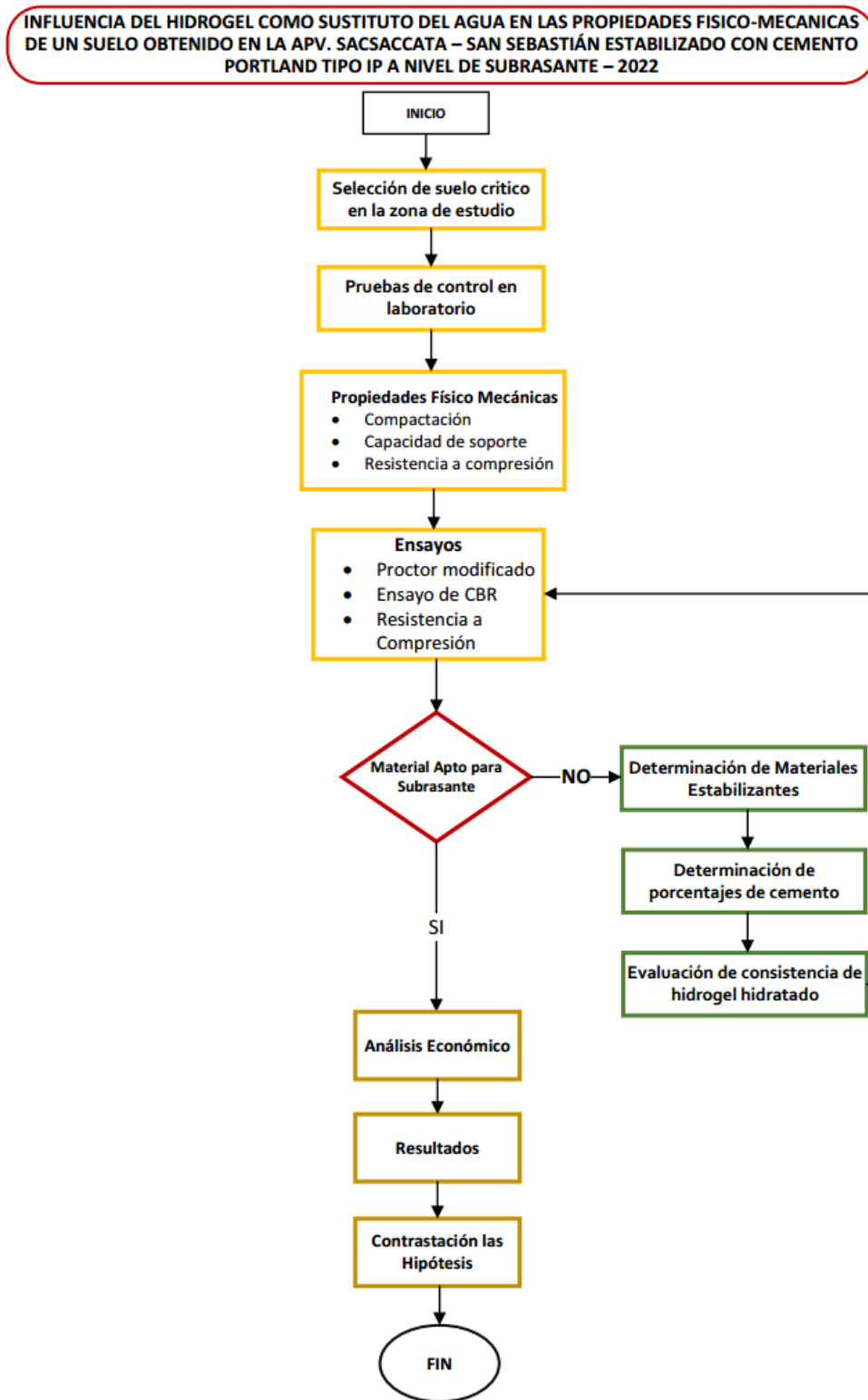
En los diseños cuasiexperimentales, los elementos con la cual se componen no son elegidos al azar, al contrario ya están conformados previo a la experimentación, así mismo, dichos elementos se encuentran íntegros o intactos. (Hernández Sampieri, 2014)

La investigación realizada es CUASIEXPERIMENTAL, por la manipulación intencional de la variable independiente (hidrogel) con la finalidad de ver los efectos que surgen en la variable dependiente (propiedades físico – mecánicas) así mismo, los grupos no fueron constituidos por azar si no previamente a la experimentación en función a la necesidad de la investigación.



3.2.2. Diseño de Ingeniería

Figura 16. Diseño de Ingeniería.



Fuente: Propia.



3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1 Descripción de la población

Desde un punto de vista estadístico, se denomina población o Universo al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio. (Borja S., 2012)

Es el conjunto de objetos, sujetos o unidades que comparten la característica que se estudia y a la que se puede generalizar para ser sometidos a la observación. (Monje Álvarez, 2011)

La población está delimitada por todas aquellas mezclas constituidas suelo de la APV. Sacsaccata – San Sebastián de la estratigrafía más crítica del punto de control, adicionado con cemento portland tipo IP al 5% y 7% adicionadas con hidrogel.

3.3.1.2 Cuantificación de la población

La población está compuesta por 5 pruebas de índice de CBR y cada una está compuesta por 3 moldes (Suelo natural, Suelo natural con 5% de cemento, Suelo natural con 7% de cemento, Suelo natural con 5% de cemento adicionado con hidrogel hidratado y Suelo natural con 7% de cemento adicionado con hidrogel hidratado), de igual manera para las 5 pruebas de laboratorio Proctor Modificado constituido por 4 moldes y por último 15 muestras remoldeadas (Suelo natural, Suelo natural con 5% de cemento, Suelo natural con 7% de cemento, Suelo natural con 5% de cemento adicionado con hidrogel hidratado y Suelo natural con 7% de cemento adicionado con hidrogel hidratado) para el ensayo de resistencia a la compresión.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1 Descripción de la Muestra

Definido como una parte, un subgrupo de la población a investigar, sobre el cual se recolectan datos que es especificado y delimitado de antemano con precisión cuyo propósito es simbólico de la población. (Hernández Sampieri, 2014)

Se define como un conjunto de objetos y sujetos procedentes de una población definida como un conjunto de elementos que cumplen con unas determinadas especificaciones. (A. Bernal, 2010)



La muestra en la presente investigación, es idéntica a la población ya que la totalidad de los elementos representan la población, la cual es la estratigrafía más crítica como suelo A-4(0) ML (Limo de baja plasticidad) del punto de investigación de la zona APV. Sacsaccata – San Sebastián mezclada con cemento portland tipo IP al 5% y 7% adicionadas con hidrogel.

3.3.2.2 Cuantificación de la Muestra

La cantidad de elementos que constituye la muestra es de 57.

Tabla 6. Cantidad de Ensayos por Realizar

Ensayos	Suelo Natural	Suelo Cemento		Suelo Cemento		Total de Ensayos
		5%	7%	5%	7%	
		Agua		Hidrogel Hidratado		
Análisis Granulométrico	1					1
Limite Liquido	3					3
Limite Plástico	3					3
Proctor Modificado	4	4	4	4	4	20
Resistencia a Compresión	3	3	3	3	3	15
Índice de CBR	3	3	3	3	3	15
TOTAL						57

Fuente: Propia.

3.3.2.3 Método de Muestreo

No probabilística, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con el propósito de la investigación o del investigador, los pasos no son mecánicos ni pasan por fórmulas probabilísticas. (Fernández Collado, Baptista Lucio, & Hernández Sampieri, 2014)

El método de muestreo que se emplea es NO PROBABILÍSTICO ya que la muestra fue escogida intencionalmente y no está regido en probabilidades o elección al azar sino con intención en función a la necesidad de la investigación.



3.3.2.4 Criterios de Evaluación de Muestra

De manera general para la elaboración de cada ensayo se realizó bajo las pautas que establece el Manual de Ensayo de Materiales. Independiente para cada ensayo se realizó previamente un cuarteo con el fin de homogeneizar la muestra a ensayar. Para los ensayos que involucran el hidrogel, se hidrato previamente para su posterior mezcla.

Compactación: Tomando como referencia el MTC E 115; la cantidad de muestra para ensayar para cada tipo fue alrededor de 30kg aproximadamente para 4 moldes, 5 capas cada una y empleando 56 golpes por capa. La evaluación se realizó con 4 variantes de contenido de humedad.

Índice de CBR: La base teórica para realizar fue la del MTC E 132; la cantidad de muestra para ensayar fue de 25kg aproximadamente para 3 moldes por la diferente cantidad de golpes a emplear. La evaluación se realizó teniendo como dato previo el contenido de humedad óptima para cada tipo de muestra.

Resistencia a Compresión: Se tomó referencia del MTC E 1101 y MTC E 1103 para obtener las muestras remoldeadas las cuales fueron 3 probetas para cada tipo de muestra. Para la elaboración se requería como dato previo el contenido de humedad óptimo. El tiempo de curado fue de 7 días para luego ser sometidas a ruptura.

3.3.3. Criterios de Inclusión

- Se evaluaron los ensayos con un suelo ML - limo de baja plasticidad según SUCS y A-4 (0) según AASHTO procedente del estrato crítico del punto de control de la APV. Sacsaccata distrito de San Sebastián, provincia del Cusco y departamento del Cusco.
- Puesto que el material es muy similar en los puntos de control, se toma el estrato más crítico, en este caso el limo para el presente estudio.
- El suelo cemento ensayado tiene una adición homogénea de 5% y 7% de cemento en función a la masa del suelo seco.
- El ensayo de Resistencia a compresión fue realizado con muestras remoldeadas de suelo cemento c/s la adición de hidrogel hidratado.
- El aditivo usado es el hidrogel (Poliacrilato de Sodio) que fue obtenido de la empresa Oregon Chem Group SAC Ruc: 20604539383 cuya presentación viene en polvo.
- El hidrogel fue adicionado en estado hidratado reemplazando al agua.
- Los ensayos realizados fueron evaluados bajo la guía de ensayos de materiales del MTC.
- El agua para la dosificación y mezclado fue potable.



3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos

Tabla 7. Guía de observación en laboratorio: Contenido de Humedad.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Contenido de humedad
Referencia:	MTC E 108 Determinación del contenido de humedad de un suelo
Fecha:	15/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Capsula N°	ID	1	2	3	4
Peso de capsula + Suelo humedo	gr				
Peso de capsula + Suelo seco	gr				
Peso del agua	gr				
Peso de la capsula	gr				
Peso del suelo seco	gr				
Contenido de humedad	%				
Promedio					



Tabla 8. Guía de observación en laboratorio: Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Granulometria de suelos finos
Referencia:	MTC E 107 Analisis Granulometrico de Suelos por Tamizado
Fecha:	
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

Descripción de la Muestra			
Peso de Muestra		Datos Generales	
Peso Total Seco	gr.	% Grava	
Peso Despues de Lavar	gr.	% Arena	
Perdida por Lavado	gr.	% Finos	

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Corregido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acumulado(%)	Pasante (%)
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.000					
3/8"	9.500					
1/4"	6.300					
N° 4	4.760					
N° 8	2.000					
N° 16	0.840					
N° 30	0.425					
N° 50	0.260					
N° 100	0.150					
N° 200	0.075					
Fondo						
Lavado						
Total						

Tamaño Máximo Absoluto =	D10 (mm)	-	Cu	-
Tamaño Máximo Nominal =	D30 (mm)	-	Cc	-
	D60 (mm)	-		



Tabla 9. Guía de observación en laboratorio: Granulometría por Hidrómetro.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022
--

Ensayo :	Granulométrico por Medio del Hidrómetro
Referencia:	MTC E 109 Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro
Fecha:	23/06/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

Masa del Suelo Seco (gr)		Corrección por Agente Defloculante y punto cero (g/L)	
Tipo de Hidrometro		Gravedad Especifica	α

Tiempo	Lectura Hidrometro	Temperatura a °C	Rcp	Profundidad Efectiva (mm)	Diametro (mm)	Corrección Temperatura	R Corregida	% Pasante	Constante K
1									
2									
10									
15									
30									
60									
250									
384									
470									
1326									



Tabla 10. Guía de observación en laboratorio: Límites de Atterberg – Límite Líquido y Límite Plástico



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Límites de consistencia
Referencia:	MTC E 110 Determinación del límite líquido de los suelos, MTC E 111 Determinación del límite plástico (L.P.) suelos e índice de plasticidad (I.P.)
Fecha:	17/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

LÍMITE LÍQUIDO					
Descripción		N - 1	N - 2	N - 3	N - 4
Peso de capsula + Suelo húmedo	gr				
Peso de capsula + Suelo seco	gr				
Peso del agua	gr				
Peso de la capsula	gr				
Peso del suelo seco	gr				
Número de golpes	n*				
Contenido de Humedad	%				

LÍMITE PLÁSTICO			
Descripción		N - 1	N - 2
Peso de capsula + Suelo húmedo	gr		
Peso de capsula + Suelo seco	gr		
Peso del agua	gr		
Peso de la capsula	gr		
Peso del suelo seco	gr		
Contenido de Humedad	%		

ÍNDICE PLÁSTICO		
Descripción		
Contenido de Humedad (LL)	%	
Contenido de Humedad (LP)	%	
Índice plástico	%	



Tabla 11. Guía de observación en laboratorio: Proctor Modificado.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	

INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Proctor Modificado
Referencia:	MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada
Fecha:	
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES									
Datos del Molde				Metodo de Compactación		Tipo C			
Diámetro	cm			Nº de Capas		5			
Altura	cm			Molde		6"			
Volumen	cm ³								
Peso del Molde	gr								
DENSIDAD HUMEDA									
Número de puntos	Nº	1	2	3	4				
Peso suelo humedo compactado	gr								
Peso molde	gr								
Peso suelo humedo	gr								
Volumen del molde	cm ³								
Densidad Suelo Humedo	gr/cm ³								
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso suelo humedo + Tara	gr								
Peso suelo seco + Tara	gr								
Peso de la tara	gr								
Peso de agua	gr								
Peso de suelo seco	gr								
Humedad	%								
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³								
		Densidad Maxima Seca (gr/cm ³)							
		Humedad Optima (%)							



Tabla 12. Guía de observación en laboratorio: Resistencia a Compresión.

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
--	---	--

<p>INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022</p>

Ensayo :	Resistencia a Compresion
Referencia:	MTC E 1103 Resistencia a Compresión de Probetas de Suelo - Cemento
Fecha:	
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

Resistencia a Compresión									
MUESTRA	Nº	Altura 1 (cm)	Altura 2 (cm)	Diametro 1 (cm)	Diametro 2 (cm)	Area (cm2)	Carga (kn)	Resistencia (kg/cm2)	Promedio
Suelo Natural									
Suelo Natural + 5% Cemento									
Suelo Natural + 7% Cemento									
Suelo Natural + 5% Cemento + Hidrogel Hidratado									
Suelo Natural + 7% Cemento + Hidrogel Hidratado									



Tabla 13. Guía de observación en laboratorio: CBR en laboratorio.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES				
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación		Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima		Masa de la Pesa	Nº Capas	
Contenido de Humedad Optimo		Altura de Caída		
Nº de Capas				

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN) A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	Diametro del piston 49.63 mm

COMPACTACIÓN							
Nº de Golpes por Capa	#	10		25		56	
Altura del Molde	cm						
Diametro del Molde	cm						
Volmen de molde	cm ³						
Peso de molde	gr						
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado		No Saturado		No Saturado	
Peso molde + Suelo humedo	gr						
Peso de suelo humedo	gr						
Densidad Humeda	gr/cm ³						
Tara Nº	Nº	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr						
Tara + Suelo seco	gr						
Peso de agua	gr						
Peso de tara	gr						
Peso de suelo seco	gr						
% de humedad	%						
% de humedad Promedio	%						
Densidad Seca	gr/cm ³						



3.4.2. Instrumentos de Ingeniería

3.4.2.1 Ensayo de Determinación de Contenido de Humedad

- Horno de secado. - Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Balanzas. Con precisión de 0.01 g para muestras de menos de 200 g de 0. 1 g para muestras de más de 200 g.
- Recipientes. - Recipientes apropiados fabricados de material resistente.
- Utensilios para manipulación de recipientes. - Se requiere el uso de guantes, tenazas o un sujetador apropiado.
- Otros utensilios. - Se requiere el empleo de cuchillos, espátulas. cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

3.4.2.2 Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado.

- Balanzas. Con precisión de 0.01 g para muestras de menos de 200 g de 0. 1 g para muestras de más de 200 g.
- Serie de tamices gruesos 25,4 mm (1"), 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ "), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ ").
- Serie de tamices finos 4,76 mm (N° 4), 2,00 mm (N° 8), 0,840 mm (N° 16), 0,425 mm (N° 30), 0,250 mm (N° 50), 0,15 mm (N° 100), y 0,075 mm (N° 200).
- Horno de secado. - Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Envases, adecuados para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha, para limpiar las mallas de los tamices.

3.4.2.3 Ensayo de Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro

- Probetas con capacidad de 1000 ml.
- Termómetro de inmersión, con apreciación de 0,5 °C.
- Tamices, de 2.0 mm (No.10) y de 75 μ m (No.200).
- Cronómetro o reloj.
- Hidrómetro calibrado con escala de 0 a 60, Referencia 152H. Para medir la concentración de la muestra.
- Hexametáfolfato de sodio ($(\text{NaPO}_3)_6$) material de floculante.
- Agitador manual.



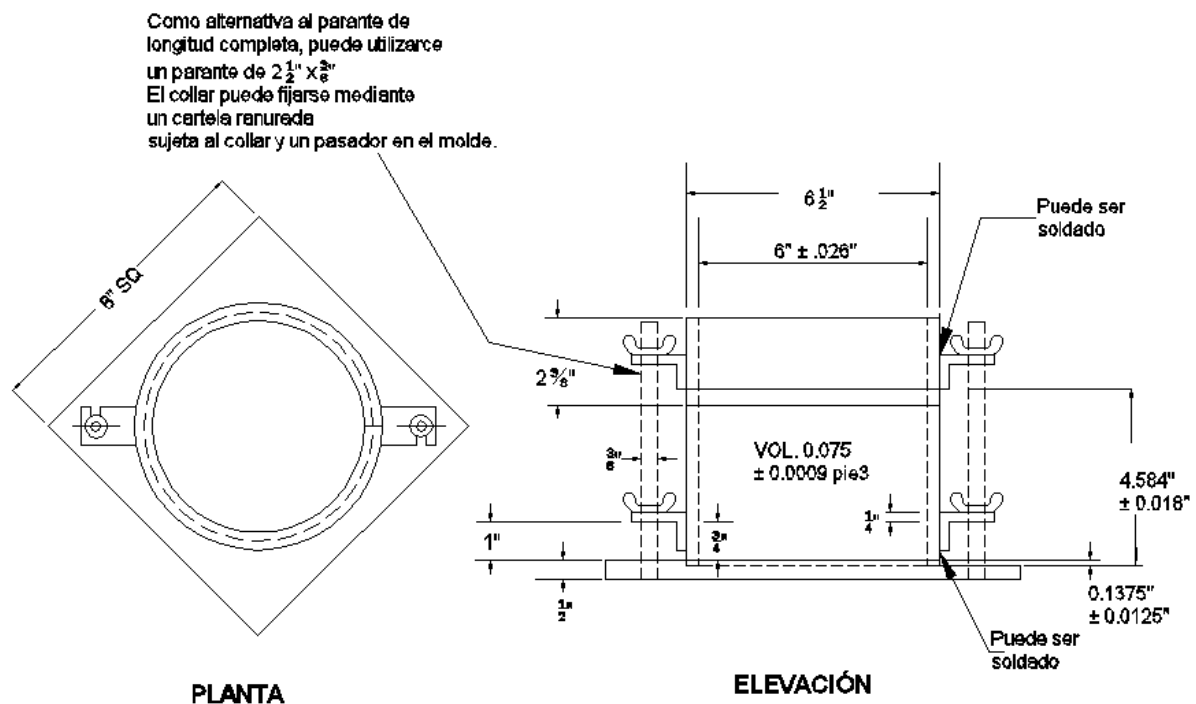
3.4.2.4 Ensayo de Determinación de Límite Líquido y Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos.

- Recipiente para Almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm (4 ½") de diámetro aproximadamente.
- Espátula. De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud y 20 mm (¾") de ancho aproximadamente.
- Cuchara de Casagrande
- Acanalador.
- Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado.
- Recipientes. Recipientes apropiados fabricados de material resistente.
- Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno de secado. - Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

3.4.2.5 Ensayo de Proctor Modificado

- Molde de 6 pulgadas. Con 6" de diámetro interior, una altura de 4,584 pulg.
- Pisón o Martillo. El pisón debe caer libremente a una distancia de 18 pulg. de la superficie del espécimen.

Figura 17. Molde de 6" para Proctor Modificado



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

- Horno de secado. - Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Regla. - Una regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 10 pulgadas.
- Tamices o Mallas. - De $\frac{3}{4}$ pulg (19,0 mm), $\frac{3}{8}$ pulg (9,5 mm) y N° 4 (4,75mm).
- Herramientas de Mezcla. - Diversas herramientas tales como cucharas, mezclador, paleta, espátula etc.

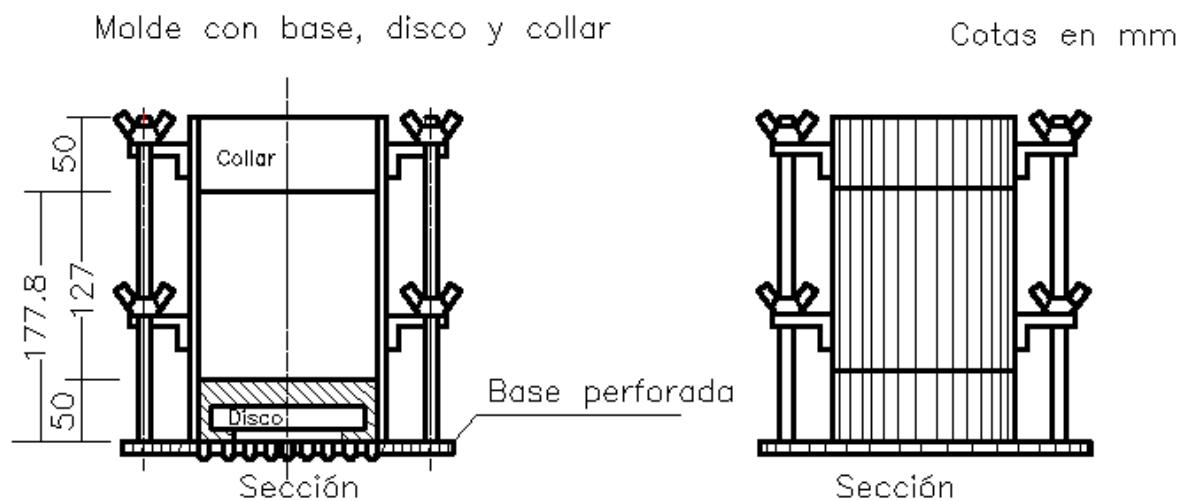
3.4.2.6 Ensayo de Resistencia a la Compresión de Probetas de Suelo - Cemento

- Máquina para ensayo de compresión. Con capacidad suficiente y adecuada.
- Molde. Método A. Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 101,6 mm (4,0") de diámetro y de 116,4 mm (4,584") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1,15.
- Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0.1 gr
- Elementos varios. Espátula, recipiente de mezcla o mezcladora, recipiente graduado para medir el agua, latas para medición del contenido de humedad, etc.
- Extractor de la probeta compactada.

3.4.2.7 Ensayo de CBR en laboratorio.

- Prensa utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen.
- Molde, de metal, cilíndrico, de 6" de diámetro interior y de 7" de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50.8 mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor.

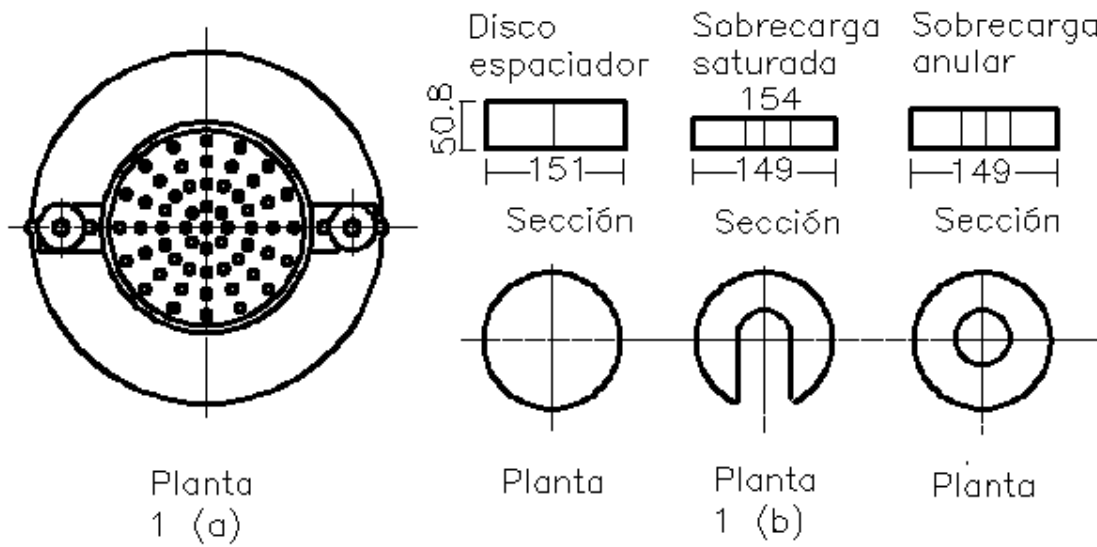
Figura 18. Molde de CBR



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

- Disco espaciador, de metal, de forma circular, de 150.8 mm (5 15/16") de diámetro exterior y de 2.416" de espesor.

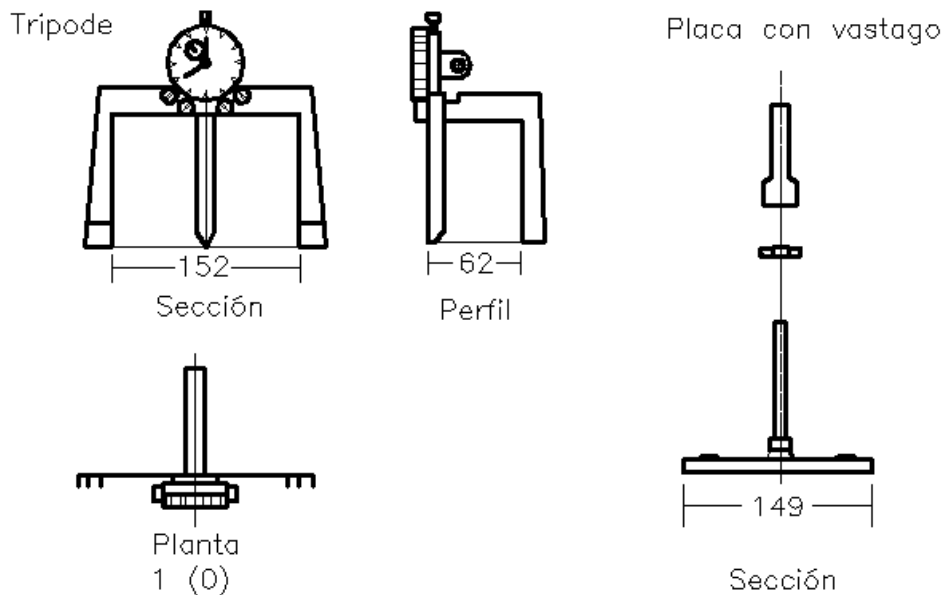
Figura 19. Disco espaciador y sobrecargas de CBR.



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

- Pisón de compactación del ensayo Proctor Modificado.
- Aparato medidor de expansión compuesto por: Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura.

Figura 20. Aparato medidor de expansión.



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)



- Pesas. Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de 4.54 kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de 2.27 kg.
- Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de 1.954" de diámetro,
- Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0.025 mm (0.001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Horno de secado. - Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0.1g, respectivamente.
- Tamices, de 4.76 mm (No. 4), 19.05 mm (3/4") y 50,80 mm (2").

3.5. Procedimientos de Recolección de Datos

3.5.1. Muestreo de Suelos

a) Equipos Utilizados en la Prueba

- Flexómetro
- Palas y picos
- Sacos

b) Procedimiento

La zona de estudio contempla el sector de Asociación Provienda Sacsaccata, distrito de San Sebastián, Provincia del Cusco, Departamento del Cusco.

El tramo que consigna la investigación es la calle Independencia, la cual presenta un suelo limoso, el cual fue identificado en un reconocimiento preliminar. Dicho suelo es predominante en la zona.



Figura 21. Delimitación de la Zona de Estudio.



Fuente: Adaptado de Google Earth Pro.

De lo observado previamente, el suelo presenta contextura dura y seca de color marrón oscuro a lo largo del tramo. La zona identificada para el estudio tenía acceso para facilitar la extracción de muestras.

La excavación en los puntos de control se hizo mediante una calicata de dimensiones de 1.10x0.90 metros y con una profundidad de 1.65 aproximadamente. Se identificó y midió los estratos presentes en cada punto de control.



Figura 22. Puntos de Investigación.

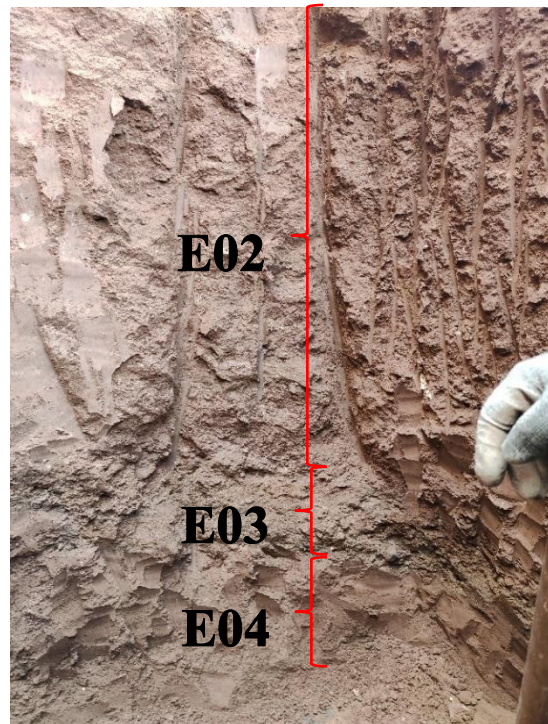


Fuente: Adaptado de Google Earth Pro.

Figura 23. Excavación de calicata APV Sacsaccta.



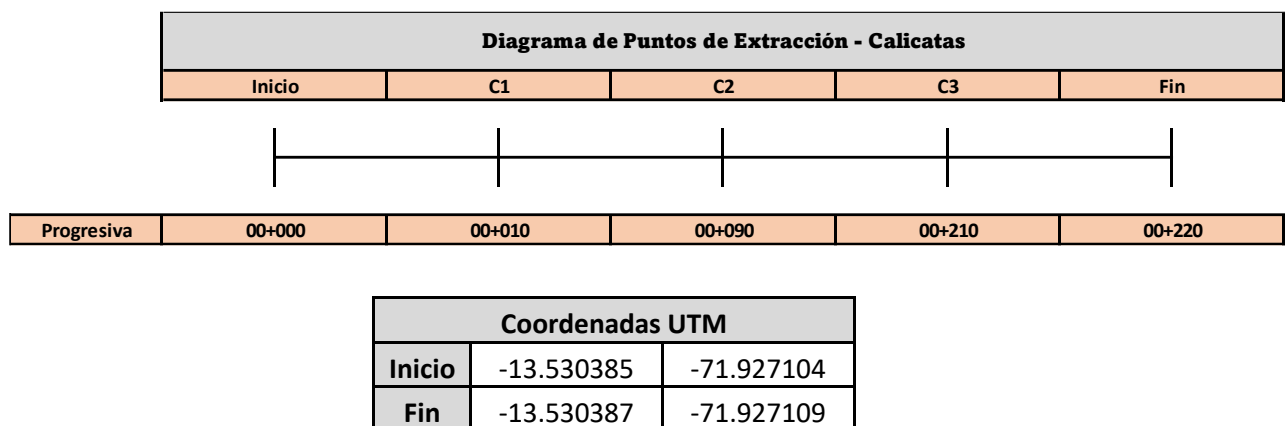
Figura 24. Identificación de Estratos.



Fuente: Propia

Así mismo, se realizó un esquema en planta sobre los puntos de investigación a lo largo de la zona de estudio. Para luego identificar los estratos presentes en cada punto de control.

Figura 25. Puntos de Investigación – Calicatas



Fuente: Propia



Tabla 14. Estratigrafía Punto de Investigación – C01



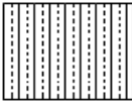
Prof. (m)	Punto de Extracción	Estrato	Símbolo	IN SITU	Clasificación SUCS
0.00	Calicata N° 01	E01 (0.00 - 0.12)		Relleno organico y desechos inorganicos	
0.20		E02 (0.12 - 1.25)		Material fino homogéneo color marron	Limo Inorganico de Baja Plasticidad - ML
0.40		E03 (1.25 - 1.48)		Material fino color amarillo verdoso	Arena Limosa con Grava - SM
0.60		E04 (1.48 - 1.60)		Material fino homogéneo color marrón	Limo Inorganico de Baja Plasticidad - ML
0.80					
1.00					
1.20					
1.40					
1.60					

Tabla 15. Estratigrafía Punto de Investigación – C02

Prof. (m)	Punto de Extracción	Estrato	Símbolo	IN SITU	Clasificación SUCS
0.00	Calicata N° 02	E01 (0.00 - 0.10)		Relleno organico	
0.20		E02 (0.10 - 1.30)		Material fino homogéneo color marron	Limo Inorganico de Baja Plasticidad - ML
0.40		E03 (1.30 - 1.55)		Material fino color verdoso	Arena Limosa con Grava - SM
0.60					
0.80					
1.00					
1.20					
1.40					
1.60					



Tabla 16. Estratigrafía Punto de Investigación – C03

Prof. (m)	Punto de Extracción	Estrato	Símbolo	IN SITU	Clasificación SUCS
0.00	Calicata N° 03	E01 (0.00 - 0.10)		Residuos Organicos	
0.20		E02 (0.10 - 1.15)		Material fino homogeneo color marron	Limo Inorganico de Baja Plasticidad - ML
0.40					
0.60	E03 (1.15 - 1.55)		Material fino	Arcilla Orgánica de Baja Plasticidad - OL	
0.80					
1.00					
1.20					
1.40					
1.60					

Una vez identificado los estratos en los puntos de control, se extrajo la muestra alterada según el manual de MTC E 101 de Muestreo de Suelo y Rocas, que señala que se debe obtener muestras representativas y necesaria para la investigación, según lo demande el ensayo a elaborar.

Como resultado de la estratigrafía, la mayoría presentan suelos finos – Limosos en los primeros estratos, siendo este el suelo común en todos los puntos de investigación. Es por lo que se optó a elegir el punto de control N° 02, la cual a comparación con los otros puntos, este presenta mayor franja de limos en sus estratos, el cual consideramos el más crítico para la investigación. Para la presente investigación se extrajo alrededor de 850 kg del punto de control identificado.



Figura 26. Toma de muestras alteradas.



Fuente: Propia

3.5.2. Ensayo de Contenido de Humedad

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza de precisión.
- Taras.
- Horno de secado a temperatura de 110 ± 5 °C.
- Cucharones

b) Procedimiento

- Se registran los pesos de las taras limpias en la balanza
- Selección de la muestra representativa.
- Se colocan las muestras representativas en las taras para luego pesarse y anotarse.
- Se colocan las muestras en el horno por 12h a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Teniendo ya secadas las muestras se procede a pesar las dos muestras, registrando el peso.



Figura 27. Muestras en el horno.



Fuente: Propia.



c) Toma de datos

Tabla 17. Determinación del contenido de humedad de un suelo – Toma de datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Contenido de humedad
Referencia:	MTC E 108 Determinación del contenido de humedad de un suelo
Fecha:	15/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Capsula N°	ID	1	2	3	4
Peso de capsula + Suelo humedo	gr	71.72	73.86	69.76	68.82
Peso de capsula + Suelo seco	gr	66.46	68.43	64.32	63.76
Peso del agua	gr				
Peso de la capsula	gr	14.92	16.1	15.00	15.56
Peso del suelo seco	gr				
Contenido de humedad	%				
Promedio					

3.5.3. Ensayo de Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado

a) Equipos utilizados en la prueba

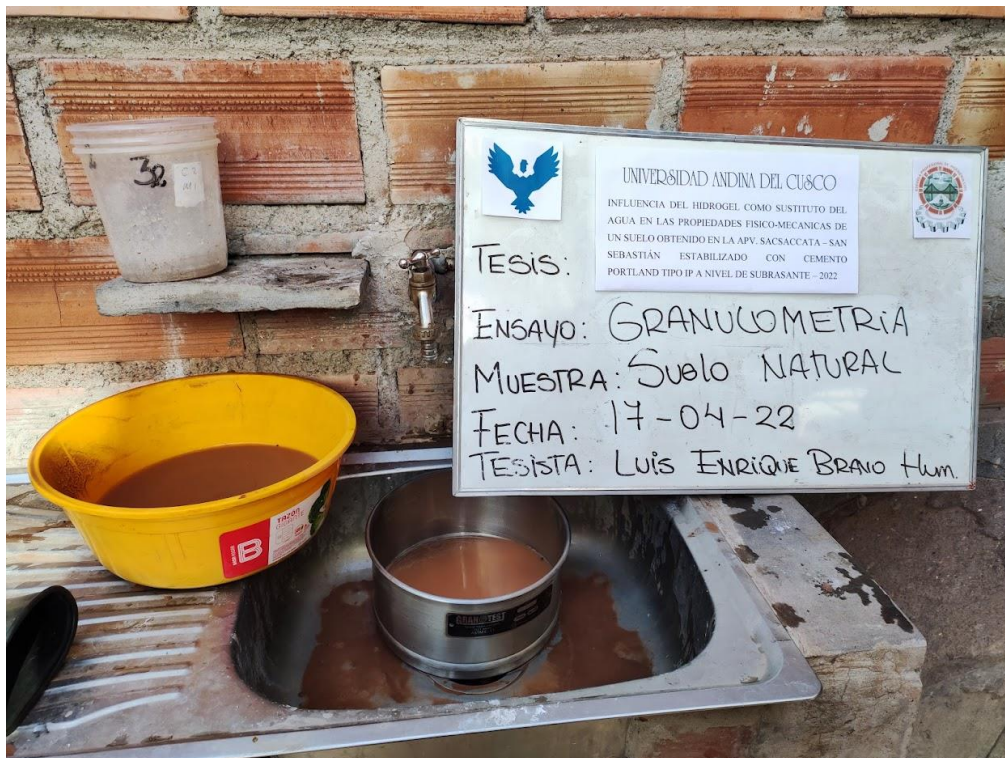
- Balanza de precisión.
- Serie de tamices gruesos 25,4 mm (1"), 19,0 mm (¾"), 9,5 mm (3/8").
- Serie de tamices finos 4,76 mm (N° 4), 2,00 mm (N° 10), 0,840 mm (N° 20), 0,425 mm (N° 40), 0,250 mm (N° 60), 0,106 mm (N° 140), y 0,075 mm (N° 200).
- Bandejas para almacenar muestras.
- Cepillo y brochas.



b) Procedimiento

- Se cuartea la muestra de suelo natural según MTC E201 para luego colocarlo al horno por 24 horas a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Posterior de que la muestra este a temperatura ambiente, se determina la cantidad de muestra necesaria para ensayar aproximadamente 2200 gr.
- Luego con ayuda del tamiz #200 se hizo un lavado hasta eliminar partículas finas, con precaución de no perder muestra en el proceso.

Figura 28. Lavado de material fino pasante de la malla #200

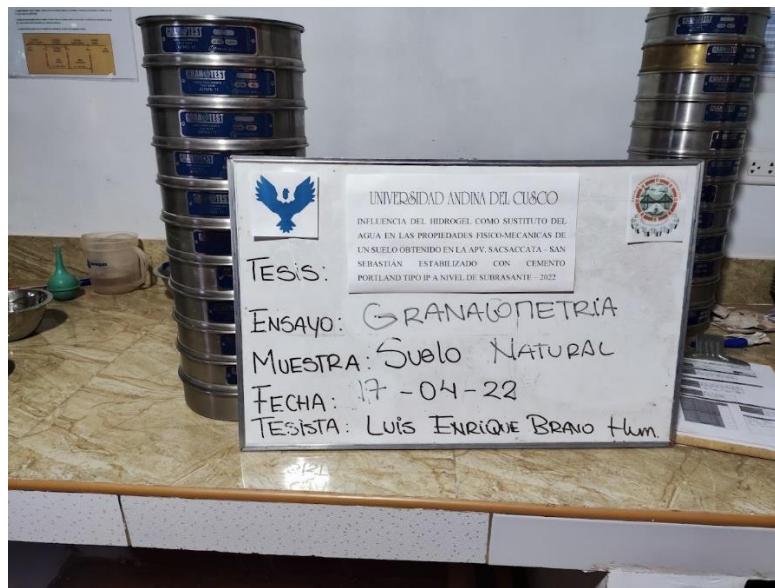


Fuente: Propia.

- Se coloca la muestra en el horno por 24 horas a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ de la muestra ya lavada. Se procede a tamizar, teniendo en cuenta el orden de los tamices de forma decreciente.



Figura 29. Tamizado de la muestra.



Fuente: Propia.

- Se tomó el peso de la muestra retenida en cada tamiz

Figura 30. Muestras retenidas en tamices.



Fuente: Propia.



c) Toma de datos

Tabla 18. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado – Toma de datos



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Granulometría de suelos finos
Referencia:	MTC E 107 Analisis Granulometrico de Suelos por Tamizado
Fecha:	17/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

Descripción de la Muestra			
Peso de Muestra		Datos Generales	
Peso Total Seco	gr. 1221.52	% Grava	
Peso Despues de Lavar	gr. 612.05	% Arena	
Perdida por Lavado	gr. 609.47	% Finos	

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Corregido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acumulado(%)	Pasante (%)
3"	75.000	-				
2"	50.000	-				
1 1/2"	37.500	-				
1"	25.000	-				
3/4"	19.000	30.64				
3/8"	9.500	22.44				
N° 4	4.750	24.39				
N° 10	2.000	25.7				
N° 20	0.850	29.3				
N° 40	0.425	41.73				
N° 60	0.250	84.9				
N° 140	0.106	243.77				
N° 200	0.075	77.15				
Fondo + Lavado		642.78				
Total		1222.80				

Tamaño Máximo Absoluto =	D10 (mm)	-	Cu	-
Tamaño Máximo Nominal =	D30 (mm)	-	Cc	-
	D60 (mm)			



3.5.4. Ensayo de Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro

a) Equipos utilizados en la prueba

- Probetas con capacidad de 1000 ml.
- Termómetro de inmersión, con apreciación de 0,5 °C.
- Tamices, de 2.0 mm (No.10) y de 75 µm (No.200).
- Cronómetro o reloj.
- Hidrómetro calibrado con escala de 0 a 60, Referencia 152H. Para medir la concentración de la muestra.
- Hexametáfosfato de sodio ($(\text{NaPO}_3)_6$) material de floculante.
- Agitador manual.

b) Procedimiento

Análisis granulométrico con hidrómetro:

- Del material pasante del tamiz #200 separamos unos 50 gr del material aproximadamente para la elaboración del ensayo. Se prepara agua destilada con hexametáfosfato de sodio al 4%.

Figura 31. Lavado de Material Pasante de la Malla #200.



- En un envase se deja reposar un día antes de realizar el ensayo, la muestra de 50g de suelo con la solución de agua destilada con de hexametáfosfato de sodio al 4%, para que las partículas que contienen los 50 gr estén sueltas al realizar el ensayo.

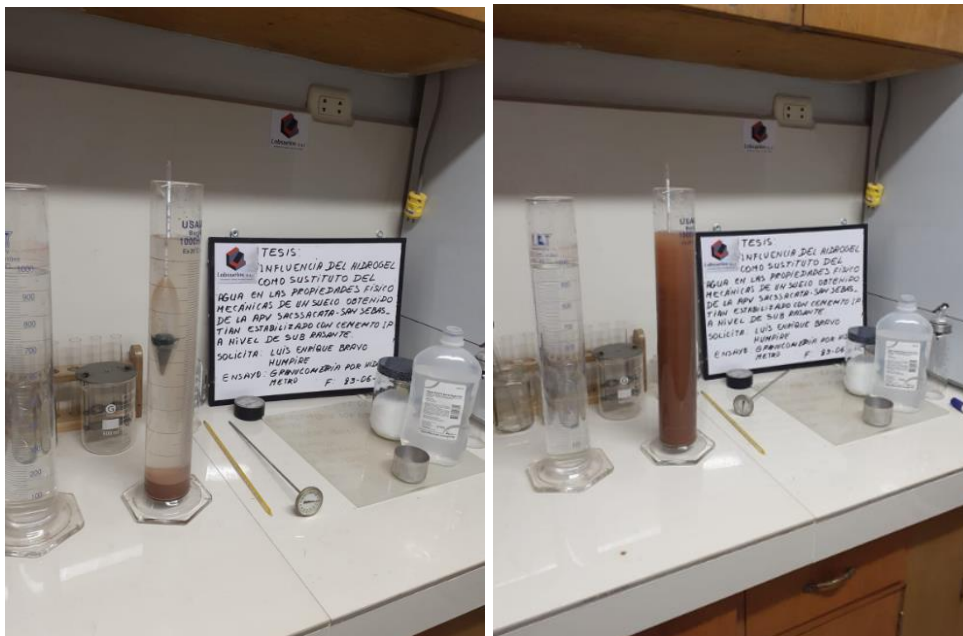


Figura 32. Preparación de Suelo y Solución con Hexametáfosfato de Sodio.



- Toda la muestra que estuvo en reposo la batimos en la máquina de dispersión (Agitador) por un minuto. Luego transferimos a la probeta de 1000 ml y hasta completar los 1000 ml. de agua con hexametáfosfato de sodio.

Figura 33. Agitación de Muestra previo a las Mediciones.



- El hidrómetro se sumerge en la probeta, donde se procede a realizar las mediciones. De acuerdo con el tiempo establecido en la ficha de datos, se tomarán mediciones tanto del hidrómetro como de la temperatura.



c) Toma de datos

Tabla 19. Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro – Toma de datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Granulométrico por Medio del Hidrómetro
Referencia:	MTC E 109 Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro
Fecha:	23/06/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

Masa del Suelo Seco (gr)	50	Corrección por Agente Defloculante y punto cero (g/L)	3.5
Tipo de Hidrometro	152 H	Gravedad Especifica	2.67
			α
			0.9955

Tiempo	Lectura Hidrometro	Temperatura °C	Rcp	Profundidad Efectiva (mm)	Diametro (mm)	Corrección Temperatura	R Corregida	% Pasante	Constante K
1	38	19							
2	31	19							
10	24	19							
15	22	19							
30	18	19							
60	15	20							
250	12	20							
384	11	20							
470	10	16							
1326	9	16							



3.5.5. Ensayo de Límite Líquido

a) Equipos utilizados en la prueba

- Cuchara de Casagrande
- Ranurador
- Balanza de precisión
- Taras
- Espátula
- Plato con pilón de porcelana y paño húmedo
- Pipeta con agua destilada
- Tamiz N°40
- Vidrio esmerilado para rodadura
- Varilla metálica de 1/8"

b) Procedimiento

- Teniendo como material previamente seco, se toma una muestra de aproximadamente de 150 gr, que fue tamizado previamente por el tamiz de 0.425 (N° 40).

Figura 34. Muestra pasante por la malla #40.



Fuente: Propia.

- Se coloca la muestra de suelo en la vasija de porcelana adicionada con agua, para luego amasarlo y tajarlo con espátula de forma alternativa y repetitiva hasta tener una pasta homogénea.



Figura 35. Amasado de la muestra previamente tamizada.



Fuente: Propia.

- Se procede a colocar toda la proporción que se puede contener la espátula y se coloca en la cuchara de Casagrande, extendiendo con la espátula (solo una pasada), teniendo cuidado de incluir burbujas en la masa. Se procedió a nivelar el suelo con la espátula emparejando, hasta conseguir una superficie pareja con una profundidad máxima de 1 cm.
- Seguidamente se procedió a dividir la masa de suelo de la cazuela, con una pasada firme del acanalador a lo largo del diámetro de la cuchara, hasta que se logró separar totalmente las dos partes.



Figura 36. División de la masa con el acanalador.



Fuente: Propia.

- Se manipula la cuchara de Casagrande girando la manija a una velocidad constante, hasta lograr que las dos mitades se junten en una longitud de 0.5" a lo largo de la ranura, anotando los golpes que fueron necesarios para lograr este objetivo.

Figura 37. Manipuleo de cuchara de casa grande.

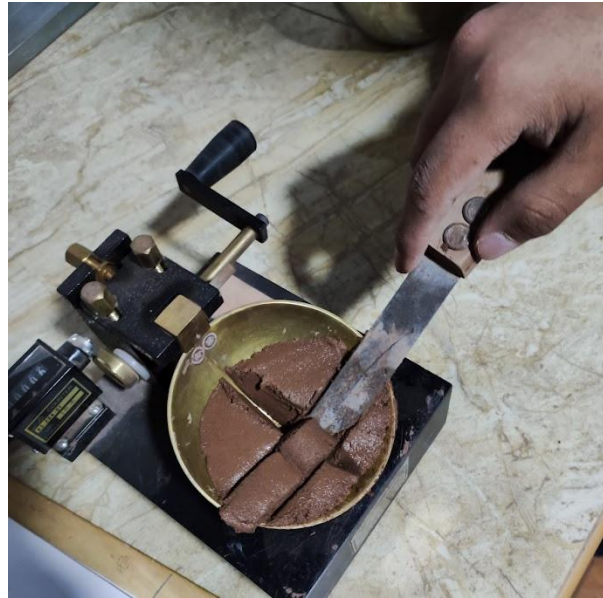


Fuente: Propia.



- Por último, se secciona la muestra en tales partes, de manera que recojamos gran parte del suelo que se juntó las dos mitades que contiene la cuchara de Casagrande, posteriormente se depositan en envases para luego dirigirlos al horno y pesarlos.

Figura 38. Sección de la muestra a recoger después de operar la cuchara de Casagrande.



Fuente: Propia.

Figura 39. Muestras recogidas para determinar el contenido de humedad - Límite Líquido.



Fuente: Propia.



c) Toma de datos

Tabla 20. Determinación del Límite Líquido de los suelos– Toma de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Limites de consistencia
Referencia:	MTC E 110 Determinación del limite liquido de los suelos, MTC E 111 Determinación del limite plastico (L.P.) suelos e indice de plasticidad (I.P.)
Fecha:	17/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

LIMITE LIQUIDO					
Descripción		N - 1	N - 2	N - 3	N - 4
Peso de capsula + Suelo humedo	gr	44.68	40.93	41.74	
Peso de capsula + Suelo seco	gr	39.14	36.56	37.54	
Peso del agua	gr				
Peso de la capsula	gr	16.6	16.86	16.44	
Peso del suelo seco	gr				
Número de golpes	n*				
Contenido de Humedad	%				

3.5.6. Ensayo de Límite Plástico

a) Equipos utilizados en la prueba

- Espátula, de hoja flexible de 3” o 4” de longitud por ¾” de ancho.
- Recipiente de porcelana de 115 mm de diámetro aproximado.
- Balanza de precisión.
- Horno de secado, capaz de mantener una temperatura de 110°C ± 5°C.
- Tamiz N°40.
- Agua destilada.
- Recipientes o taras para almacenar y secar material.
- Superficie de rodadura de vidrio.



b) Procedimiento

Se prepara 20 gr. de muestra que pasa el tamiz N°40, luego se amasa la muestra con agua destilada, hasta que forme una pasta homogénea en color y textura, sin que la muestra esté demasiado pastosa.

Se moldea cilindros con la masa preparada previamente sobre una superficie totalmente horizontal como puede ser una superficie de vidrio, hasta lograr que el cilindro se agriete al llegar al diámetro aproximado de 3.2mm (teniendo como referencia una varilla metálica).

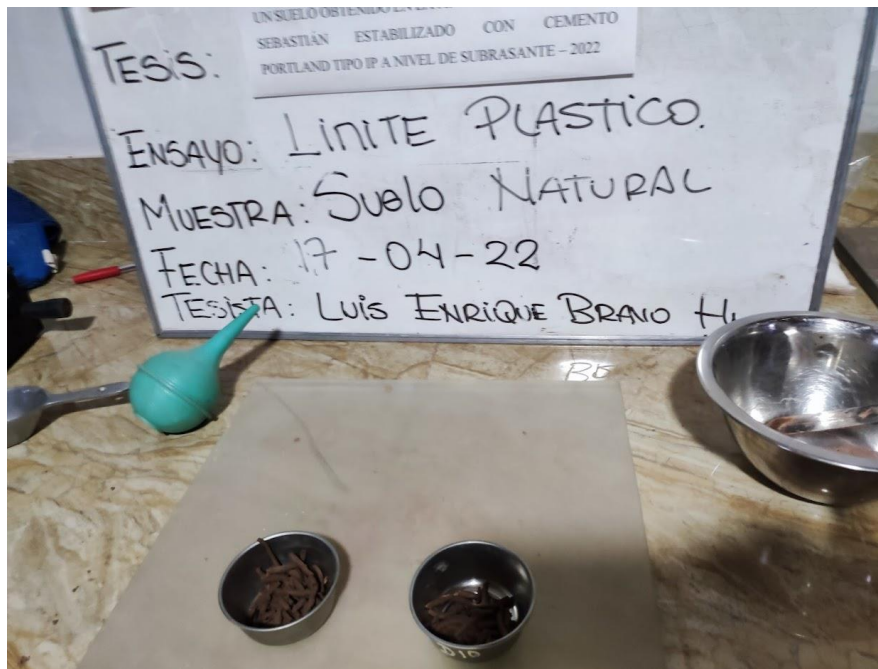
Figura 40. Proceso de obtención de cilindros para Límite Plástico.



Fuente: Propia.

Los trozos obtenidos descritos con anterioridad se colocarán en las taras que son debidamente pesadas y posteriormente colocadas al horno a una temperatura constante durante 24h.



Figura 41. Muestras resultantes del ensayo de Límite Plástico previo al secado.



Fuente: Propia.

c) Toma de datos

Tabla 21. Determinación del Límite Plástico – Toma de Datos.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022			
Ensayo :	Límites de consistencia		
Referencia:	MTC E 110 Determinación del límite líquido de los suelos, MTC E 111 Determinación del límite plástico (L.P.) suelos e índice de plasticidad (I.P.)		
Fecha:	17/04/2022		
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire		
LIMITE PLASTICO			
Descripción		N - 1	N - 2
Peso de capsula + Suelo humedo	gr	30.67	26.92
Peso de capsula + Suelo seco	gr	28.23	25.12
Peso del agua	gr		
Peso de la capsula	gr	15.81	15.94
Peso del suelo seco	gr		
Contenido de Humedad	%		



3.5.7. Ensayo de Proctor Modificado

a) Equipos utilizados en la prueba

- Un molde que tenga en promedio 6 pulg de diámetro interior, una altura de 4,58 pulg y un volumen de 2 124 cm³.
- Pisón o martillo con una masa de 4,54 kg y una altura de caída de 457.2mm.
- Balanza de precisión.
- Horno de secado, capaz de mantener temperatura de 110°C ± 5°C.
- Regla metálica.
- Mallas de ¾", 3/8" y N°04.
- Bandejas para almacenar material.
- Taras o envases para almacenar y secar material.
- Herramientas de mezcla, badilejos, espátulas.

b) Procedimiento

Se preparó la muestra de suelo previamente secada, en una cantidad aproximada de 12.5 kg para los 4 puntos que se desea determinar. Posterior a este paso se tamiza a través de las mallas N°4, 3/8" y 3/4", de esta manera se observó que menos del 20% del material es retenido en el tamiz N° 4.

Figura 42. Muestra previamente secada para la elaboración del ensayo.



Fuente: Propia.



Previo al mezclado, se determinó los % de humedad a aplicarse con diferencia que al aplicar el hidrogel este presenta una proporción de 300 ml. de agua cada 1 gr de hidrogel, para que este reaccione en tu totalidad fue necesario esperar 30min aproximadamente. (Ver ítem 2.2.8.5)

Figura 43. Preparación de Hidrogel previo al mezclado.



Figura 44. Preparación de la muestra con cemento.



Fuente: Propia.



Figura 45. Preparación de la muestra con hidrogel.



Fuente: Propia.

Posteriormente se preparó 04 especímenes (4 puntos) de 6kg aproximadamente donde cada uno fue adicionado con contenidos de humedad distintos, con ello, se quiere encontrar el contenido de humedad óptimo más cercano. Por lo que se tuvo distintos contenidos de humedad.



Cada espécimen fue compactado en 5 capas, cada una compactada a 56 golpes.

Figura 46. Proceso de Compactación a 5 capas cada una de 56 golpes.

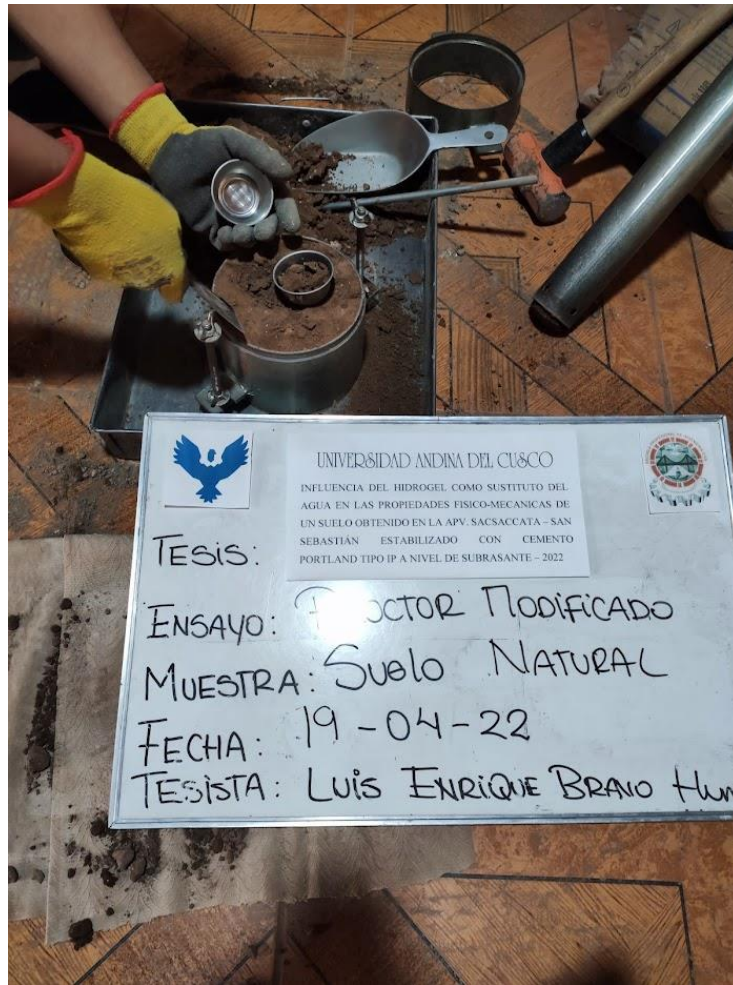


Fuente: Propia.

Luego de haber acabado con la compactación de 5 capas, se procede a retirar el collarín y se nivela la superficie con ayuda de una regla metálica para luego registrar el peso del molde + suelo húmedo. Finalmente se toma el contenido de humedad de cada muestra, para que sea representativa, se extrae de la parte media en mayor proporción y la parte superior e inferior en menor proporción.



Figura 47. Toma de muestra representativa para determinar el contenido de humedad.



Fuente: Propia.



c) Toma de datos

Tabla 22. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo Natural – Toma de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Proctor Modificado
Referencia:	MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada
Fecha:	19/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES									
Datos del Molde				Metodo de Compactación		Tipo C			
Diametro	cm	15.35		Nº de Capas		5			
Altura	cm	11.65		Molde		6"			
Volumen	cm3	2155.92							
Peso del Molde	gr	5796							
DENSIDAD HUMEDA									
Número de puntos	Nº	1	2	3	4				
Peso suelo humedo compactado	gr	10106	10263	10314	10197				
Peso molde	gr	5796	5796	5796	5796				
Peso suelo humedo	gr	4310	4467	4518	4401				
Volumen del molde	cm3	2155.92	2155.92	2155.92	2155.92				
Densidad Suelo Humedo	gr/cm3								
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso suelo humedo + Tara	gr	54.18	57.46	57.32	55.45	67.28	68.44	57.00	65.49
Peso suelo seco + Tara	gr	51.11	54.24	52.98	51.45	60.97	62.10	51.24	58.94
Peso de la tara	gr	15.80	16.74	14.61	16.30	15.95	16.69	16.46	15.79
Peso de agua	gr								
Peso de suelo seco	gr								
Humedad	%								
Densidad Suelo Seco	gr/cm3								
		Densidad Maxima Seca (gr/cm3)							
		Humedad Optima (%)							



Tabla 23. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 5% de Cemento – Toma de Datos.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Proctor Modificado
Referencia:	MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada
Fecha:	19/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES									
Datos del Molde				Metodo de Compactación		Tipo C			
Diametro	cm	15.35		Nº de Capas		5			
Altura	cm	11.65		Moide		6"			
Volumen	cm ³	2155.92							
Peso del Molde	gr	5992							
DENSIDAD HUMEDA									
Número de puntos	Nº	1	2	3	4				
Peso suelo humedo compactado	gr	10140	10493	10543	10391				
Peso molde	gr	5992	5992	5992	5992				
Peso suelo humedo	gr	4148	4501	4551	4399				
Volumen del molde	cm ³	2155.92	2155.92	2155.92	2155.92				
Densidad Suelo Humedo	gr/cm ³								
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso suelo humedo + Tara	gr	64.38	62.86	65.14	63.06	67.33	59.27	65.96	71.17
Peso suelo seco + Tara	gr								
Peso de la tara	gr	16.88	15.92	16.54	15.59	16.79	15.18	16.81	15.9
Peso de agua	gr								
Peso de suelo seco	gr								
Humedad	%								
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³								
		Densidad Maxima Seca (gr/cm ³)							
		Humedad Optima (%)							



Tabla 24. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 7% de Cemento – Toma de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Proctor Modificado
Referencia:	MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada
Fecha:	26/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES									
Datos del Molde				Metodo de Compactación		Tipo C			
Diametro	cm	15.35		Nº de Capas		5			
Altura	cm	11.65		Moide		6"			
Volumen	cm3	2155.92							
Peso del Molde	gr	5992							
DENSIDAD HUMEDA									
Número de puntos	Nº	1	2	3	4				
Peso suelo humedo compactado	gr	10119	10419	10306	10078				
Peso molde	gr	5797	5797	5797	5797				
Peso suelo humedo	gr	4322	4622	4509	4281				
Volumen del molde	cm3								
Densidad Suelo Humedo	gr/cm3								
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso suelo humedo + Tara	gr	44.55	51.98	53.91	54.34	57.16	58.53	50.27	52.06
Peso suelo seco + Tara	gr								
Peso de la tara	gr	15.33	16.32	16.70	15.24	16.09	16.36	14.93	16.11
Peso de agua	gr								
Peso de suelo seco	gr								
Humedad	%								
Densidad Suelo Seco	gr/cm3								
				Densidad Maxima Seca (gr/cm3)					
				Humedad Optima (%)					



Tabla 25. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 5% de Cemento + Hidrogel – Toma de Datos.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Proctor Modificado
Referencia:	MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada
Fecha:	26/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES									
Datos del Molde				Metodo de Compactación		Tipo C			
Diametro	cm	15.35		Nº de Capas	5				
Altura	cm	11.65		Molde	6"				
Volumen	cm ³	2155.92							
Peso del Molde	gr	5992							
DENSIDAD HUMEDA									
Número de puntos	Nº	1	2	3	4				
Peso suelo humedo compactado	gr	10059	10382	10575	10383				
Peso molde	gr	5994	5994	5994	5994				
Peso suelo humedo	gr	4065	4388	4581	4389				
Volumen del molde	cm ³	2155.92	2155.92	2155.92	2155.92				
Densidad Suelo Humedo	gr/cm ³								
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso suelo humedo + Tara	gr	50.79	50.39	58.69	56.11	54.09	56.76	62.73	61.08
Peso suelo seco + Tara	gr	48.52	48.23	54.27	52.1	49.24	51.6	56.11	54.52
Peso de la tara	gr	15.73	16.75	15	15.55	16.37	16.65	16.62	15.46
Peso de hidrogel hidratado	gr								
Peso de suelo seco	gr								
Humedad	%								
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³								
					Densidad Maxima Seca (gr/cm ³)				
					Humedad Optima (%)				



Tabla 26. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 7% de Cemento + Hidrogel – Toma de Datos.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022									
Ensayo :	Proctor Modificado								
Referencia:	MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada								
Fecha:	26/04/2022								
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire								
DATOS PRELIMINARES									
Datos del Molde									
Diametro	cm	15.35							
Altura	cm	11.65							
Volumen	cm ³	2155.92							
Peso del Molde	gr	5992							
Metodo de Compactación		Tipo C							
Nº de Capas		5							
Molde		6"							
DENSIDAD HUMEDA									
Número de puntos	Nº	1	2	3	4				
Peso suelo humedo compactado	gr	10144	10375	10353	10227				
Peso molde	gr	5797	5793	5797	5797				
Peso suelo humedo	gr	4347	4582	4556	4430				
Volumen del molde	cm ³	2155.92	2155.92	2155.92	2155.92				
Densidad Suelo Humedo	gr/cm ³								
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso suelo humedo + Tara	gr	51.67	52.99	63.5	59.68	63.21	58.74	58.11	61.07
Peso suelo seco + Tara	gr	48.66	49.69	58.08	54.61	57.15	53.2	51.73	54.52
Peso de la tara	gr	16.74	14.61	16.3	15.96	16.7	16.46	15.8	16.88
Peso de hidrogel hidratado	gr								
Peso de suelo seco	gr								
Humedad	%								
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³								
Densidad Maxima Seca (gr/cm³)									
Humedad Optima (%)									

3.5.8. Ensayo de Resistencia a Compresión de Probetas de Suelo Cemento

a) Equipos utilizados en la prueba

- Cilindro de ensayo de 101,6 mm (4,0") de diámetro y de 116,4 mm (4,584") de altura cuya relación de la altura al diámetro sea de 1,15.
- Máquina para ensayo de compresión.
- Pisón de 2,50 kg (5,5 lbs)
- Extractor de muestras.
- Balanzas.
- Regla metálica.
- Recipientes.
-



b) Procedimiento

Teniendo como datos previos la densidad máxima seca (gr/cm^3) del ensayo de Proctor Modificado y el contenido de humedad óptimo (%). Se selecciona material, alrededor de 2.5kg para cada molde.

Para el caso de cemento portland tipo IP se adiciona 5% y 7% en función al peso seco de la muestra. De igual manera para el caso del Hidrogel en función al contenido de humedad óptimo.

Una vez mezclado el material homogéneamente, se divide en 3 capas. Cada capa es compactada a 25 golpes.

Figura 48. Mezclado de material para probetas de suelo cemento



Fuente: Propia

Figura 49. Compactación de muestra.



Fuente: Propia

Una vez terminada la compactación se procede a extraer la muestra del extractor.

Figura 50. Extracción de Probetas de Suelo Cemento.



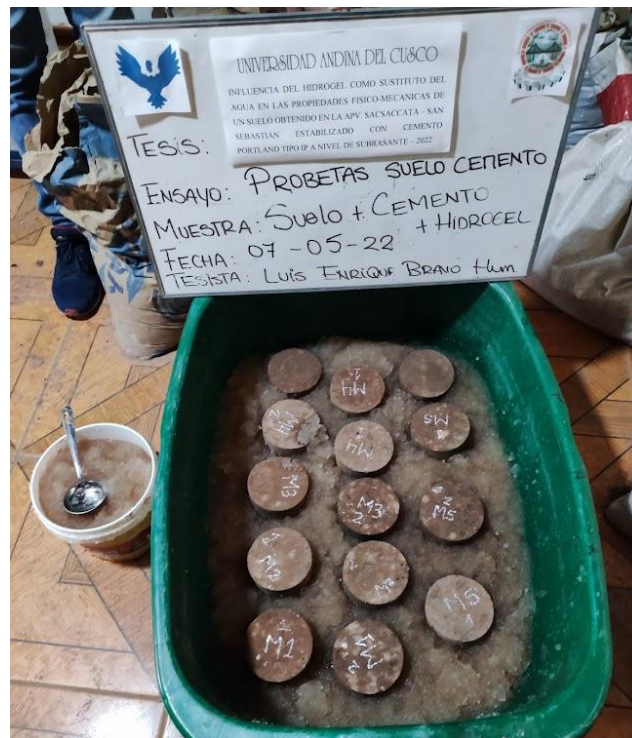
Figura 51. Probetas extraídas.



Fuente: Propia.

Para luego ser colocados en una cámara de humedad. Tomando en cuenta que la cámara húmeda está hecha de hidrogel hidratado, con el fin que las probetas de suelo cemento absorban la humedad de manera progresiva y necesaria a lo largo de los 7 días de curado.

Figura 52. Curado de Probetas de Suelo Cemento.





Una vez cumplido los 7 días de curado son sometidas a compresión. Previo al ensayo se debe tomar medidas de las probetas como altura y diámetro.

Una vez ensayadas se tomará como dato la carga que soporta, hasta llegar a la ruptura o fallo para posteriormente hacer el cálculo de esfuerzo.

Figura 53. Ruptura de Probetas de Suelo Cemento.



Fuente: Propia.



c) Toma de datos

Tabla 27. Resistencia a compresión de probetas de suelo cemento – Toma de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Resistencia a Compresion
Referencia:	MTC E 1103 Resistencia a Compresión de Probetas de Suelo - Cemento
Fecha:	14/05/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

Resistencia a Compresión											
MUESTRA	Nº	Altura 1 (cm)	Altura 2 (cm)	Diametro 1 (cm)	Diametro 2 (cm)	Area (cm2)	Relación altura/día	Carga (kn)	Factor	Resistencia (kg/cm2)	Promedio
Suelo Natural	M1	14.10	14.20	10.20	10.20			0.90			
	M2	14.20	14.30	10.20	10.20			0.92			
	M3	14.20	14.20	10.20	10.20			0.88			
Suelo Natural + 5% Cemento	M4	14.20	14.30	10.20	10.20			9.02			
	M5	14.20	14.20	10.20	10.20			7.67			
	M6	14.20	14.20	10.20	10.20			8.10			
Suelo Natural + 7% Cemento	M7	14.20	14.40	10.20	10.20			11.30			
	M8	14.20	14.20	10.15	10.15			8.88			
	M9	14.20	14.20	10.15	10.15			9.65			
Suelo Natural + 5% Cemento + Hidrogel Hidratado	M10	14.20	14.20	10.15	10.15			11.13			
	M11	14.20	14.20	10.15	10.15			10.57			
	M12	14.20	14.20	10.15	10.15			10.23			
Suelo Natural + 7% Cemento + Hidrogel Hidratado	M13	14.20	14.20	10.15	10.15			12.52			
	M14	14.20	14.20	10.15	10.15			11.74			
	M15	14.20	14.20	10.15	10.15			12.05			



3.5.9. Ensayo de CBR

a) Equipos utilizados en la prueba

- Prensa para realizar la penetración de un pistón en el espécimen, con su respectivo anillo de carga.
- Molde metálico de 6" de diámetro interior, con una altura de 7".
- Un disco espaciador metálico de 5 15/16" de diámetro exterior y 2.41" de espesor.
- Pistón con una masa de 4,54 kg con altura de caída de 457.2 mm.
- Pesas ranuradas con una masa de 4.54 kg, con un agujero central de 2 1/8" de diámetro.
- Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular de 49.63 mm de diámetro.
- Diales de recorrido mínimo de 25mm y divisiones lecturas de 0.025mm.
- Tanque para inmersión de moldes.
- Balanza de precisión.
- Horno de secado, capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Mallas de 3/4", 3/8" y N°04.
- Bandejas para almacenamiento de material.
- Herramientas de mezcla.

b) Procedimiento

Se prepara la muestra en una cantidad aproximada de 18 Kg, debido que el material es totalmente fino este no necesita ser tamizado para ingresar al molde previamente. Todo el material retenido por la malla 3/4" será reemplazado por el pasante de la malla 3/4" y retenido por la malla #4.

Se toma el peso del molde, así como las dimensiones de este como altura, diámetro para determinar su volumen.

Previo a la compactación de cada molde se debe tener como requisito el contenido de humedad óptimo para alcanzar la máxima densidad seca, es por ello por lo que el material es secado previamente para así determinar la cantidad de agua necesaria con mayor precisión.



Se prepararon tres moldes de CBR los cuales se componen por el número de golpes 12, 25, 56 golpes. Luego se introduce el disco espaciador sobre la base y sobre éste un papel filtro, de esta manera asegurando que el suelo no se adhiera con el disco durante la compactación.

Figura 54. Preparación de la muestra con adición de hidrogel.



Fuente: Propia

Teniendo todos los pasos anteriores, llevamos a la etapa de compactación de cada molde con su número determinado de golpes 12, 25, 56 cuya distribución es de 5 capas para cada molde.



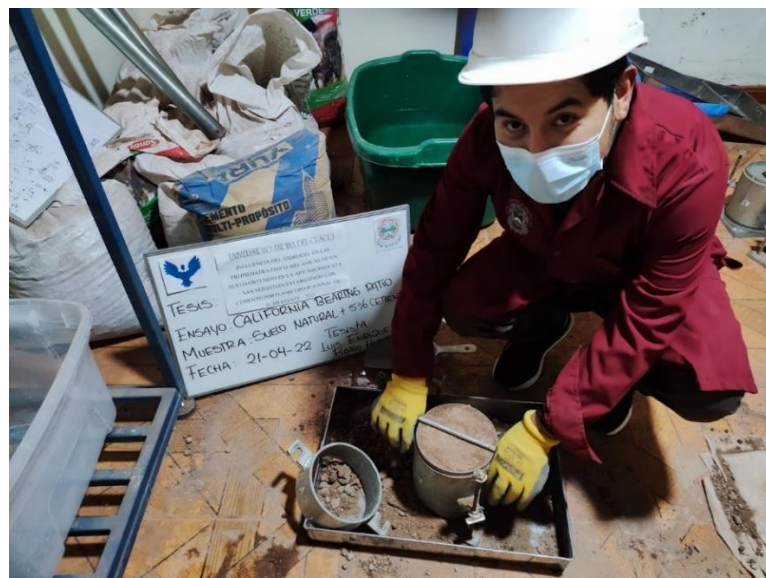
Figura 55. Compactación de la muestra de CBR.



Fuente: Propia

Posterior a la compactación se retira el collarín superior del molde y se nivela o enrasa, de manera que la superficie sea uniforme.

Figura 56. Enrasado del molde de CBR.



Fuente: Propia.

Se pesa el molde que contiene el suelo compactado, quitando el disco espaciador. Se coloca el papel filtro sobre la base de manera invertida a comparación del inicio.



Figura 57. Colocación de Papel filtro.



Fuente: Propia.

Se coloca la placa perforada con el vástago y las sobrecargas previamente determinadas y cuyo valor se debe registrar.

Figura 58. Colocación de pesas previo a sumersión.



Fuente: Propia



Una vez compactado los 3 moldes se sumergen en un tanque de agua, teniendo en consideración que cada molde debe estar acompañado con sobrecargas. Asegurándose de que el nivel del agua cubra la totalidad del molde de CBR, se monta el trípode con el dial para la medición de la expansión, marcando los puntos exactos de contacto de las tres patas del trípode.

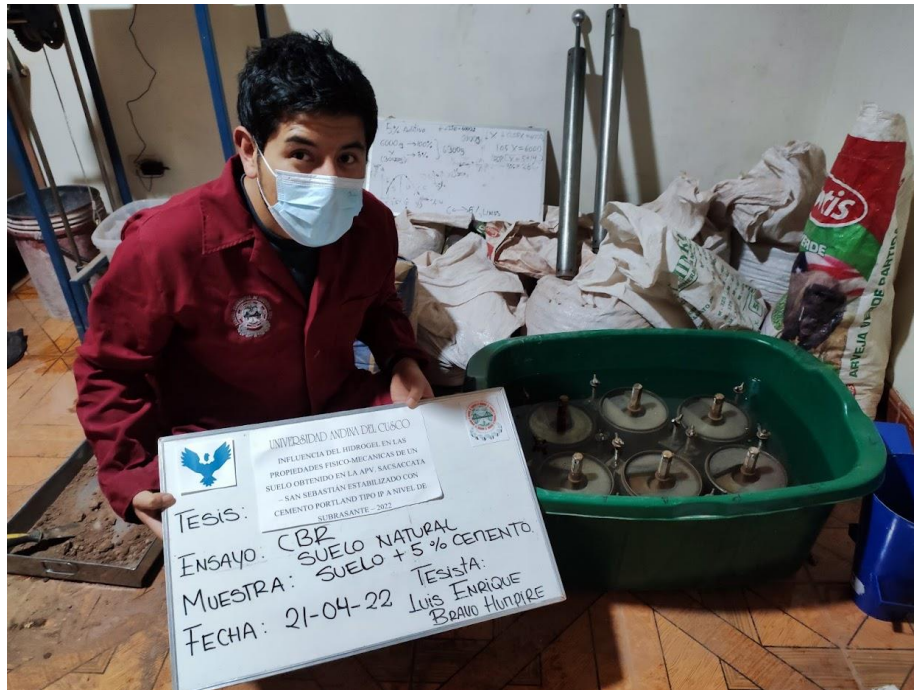
Figura 59. Lectura de dial para expansión.



Fuente: Propia



Figura 60. Moldes de CBR sumergidos.



Fuente: Propia

Las mediciones de expansión se registran cada 24h para cada uno de los moldes. Pasado los 4 días de inmersión estas se retiran para que drenen todo el exceso de agua por un tiempo de 15 minutos un posterior secado de sus superficies.

Figura 61. Escurrimiento de Moldes CBR.



Fuente: Propia



Se transportan los moldes, incluyendo las sobrecargas a la máquina de compresión. Se toma los datos del esfuerzo en las diferentes deformaciones hasta llegar a 0.5". La compresión con una velocidad de penetración de 1,27 mm por minuto.

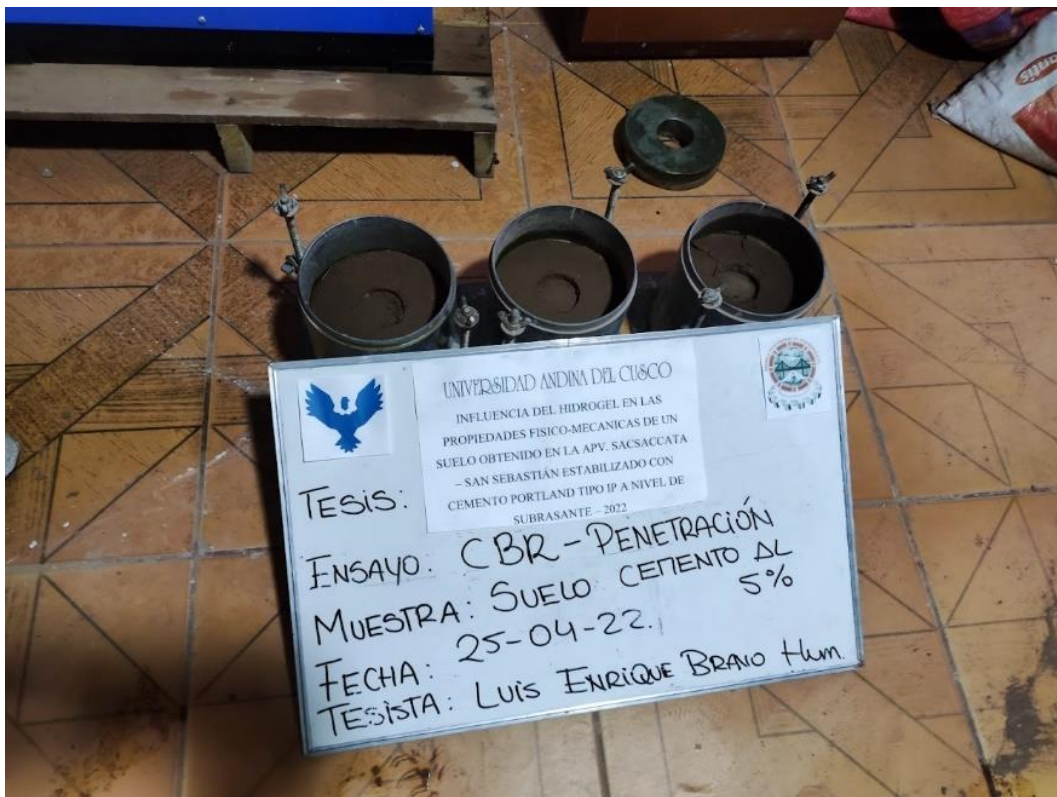
Figura 62. Lecturas de esfuerzo – deformación.



Fuente: Propia



Figura 63. Moldes después de ser sometidos a esfuerzo.



Fuente: Propia



c) Toma de datos

Tabla 28. Ensayo de CBR – Suelo Natural – Toma de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	21/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES				
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación		Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima		Masa de la Pesa	4.57 kg N° Capas	
Contenido de Humedad Optimo		Altura de Caída	45.82cm 5	6.128 cm
N° de Capas				

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN) A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	Diametro del piston 49.63 mm

COMPACTACIÓN							
N° de Golpes por Capa	#	12	26	55			
Altura del Molde	cm	17.811	17.735	17.784			
Diametro del Molde	cm	15.286	15.286	15.242			
Volmen de molde	cm3						
Peso de molde	gr	7376	7345	7388			
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado	No Saturado	No Saturado			
Peso molde + Suelo humedo	gr	11171	11391	11762			
Peso de suelo humedo	gr	3795	4046	4374			
Densidad Humeda	gr/cm3						
Tara N°	N°	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr	48.46	58.31	43.09	59.88	50.71	56.87
Tara + Suelo seco	gr	46.20	54.66	41.29	56.53	48.36	53.70
Peso de agua	gr	2.26	3.65	1.80	3.35	2.35	3.17
Peso de tara	gr	15.95	16.54	16.55	17.01	15.64	15.43
Peso de suelo seco	gr						
% de humedad	%						
% de humedad Promedio	%						
Densidad Seca	gr/cm3						



Tabla 29. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo Natural – Toma de datos.

PENETRACIÓN										
Penetración		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo
pulg	mm		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2
0.000	0	0			0			0		
0.025	0.63	6			6			9		
0.050	1.27	7			7			12		
0.075	1.9	8			9			14		
0.100	2.54	9			10			16		
0.125	3.17	10			12			20		
0.150	3.81	11			14			24		
0.200	5.08	12			17			29		
0.250	6.35	13			19			33		
0.300	7.62	13			21			37		
0.400	10.16	14			27			46		
0.500	12.7	15			30			51		

Tabla 30. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo Natural – Toma de datos.

Expansión									
Tiempo Hr.	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	124			230			489		
24	148			285			499		
48	197			325			508		
72	215			339			525		
96	220			347			534		



Tabla 31. Ensayo de CBR – Suelo + 5% Cemento – Toma de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	21/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES				
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación		Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima		Masa de la Pesa	4.57 kg	
Contenido de Humedad Optimo		Altura de Caída	45.82cm	
N° de Capas		N° Capas	5	6.128 cm

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN)	Diametro del piston
	A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	49.63 mm

COMPACTACIÓN							
N° de Golpes por Capa	#	12	26	55			
Altura del Molde	cm	17.786	17.802	17.758			
Diametro del Molde	cm	15.261	15.237	15.193			
Volmen de molde	cm ³						
Peso de molde	gr	7354	7438	6961			
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado	No Saturado	No Saturado			
Peso molde + Suelo humedo	gr	11242	11559	11320			
Peso de suelo humedo	gr	3888	4121	4359			
Densidad Humeda	gr/cm ³						
Tara N°	N°	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr	46.73	57.63	51.56	62.88	53.09	61.16
Tara + Suelo seco	gr	44.25	54.01	49.02	59.26	50.29	57.71
Peso de agua	gr	2.48	3.62	2.54	3.62	2.80	3.45
Peso de tara	gr	15.92	16.60	16.62	16.69	14.98	15.54
Peso de suelo seco	gr						
% de humedad	%						
% de humedad Promedio	%						
Densidad Seca	gr/cm ³						



Tabla 32. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 5% Cemento – Toma de datos.

PENETRACIÓN										
Penetración		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo
pulg	mm		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2
0.000	0	0			0			0		
0.025	0.63	69			54			63		
0.050	1.27	145			133			185		
0.075	1.9	189			211			301		
0.100	2.54	215			261			375		
0.125	3.17	236			301			431		
0.150	3.81	250			325			486		
0.200	5.08	276			359			558		
0.250	6.35	301			389			590		
0.300	7.62	320			420			609		
0.400	10.16	332			471			625		
0.500	12.7	350			500			659		

Tabla 33. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 5% Cemento – Toma de datos.

Expansión									
Tiempo Hr.	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	81			198			178		
24	96			209			185		
48	106			215			193		
72	115			228			210		
96	126			236			215		



Tabla 34. Ensayo de CBR – Suelo + 7% Cemento – Toma de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	26/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES					
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación			Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima		Masa de la Pesa	4.57 kg	Nº Capas	
Contenido de Humedad Optimo		Altura de Caída	45.82cm	5	6.128 cm
Nº de Capas					

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN)	Diametro del piston
	A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	49.63 mm

COMPACTACIÓN							
Nº de Golpes por Capa	#	12	26	55			
Altura del Molde	cm	17.811	17.735	17.784			
Diametro del Molde	cm	15.286	15.286	15.242			
Volmen de molde	cm ³						
Peso de molde	gr	7374	7344	7388			
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado	No Saturado	No Saturado			
Peso molde + Suelo humedo	gr	11330	11546	11825			
Peso de suelo humedo	gr	3956	4202	4437			
Densidad Humeda	gr/cm ³						
Tara Nº	Nº	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr	50.34	52.02	55.84	58.72	54.51	55.56
Tara + Suelo seco	gr	47.27	48.89	52.35	54.95	51.43	52.25
Peso de agua	gr	3.07	3.13	3.49	3.77	3.08	3.31
Peso de tara	gr	15.33	16.32	16.71	15.21	16.10	16.36
Peso de suelo seco	gr						
% de humedad	%						
% de humedad Promedio	%						
Densidad Seca	gr/cm ³						



Tabla 35. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 7% Cemento – Toma de datos.

PENETRACIÓN										
Penetración		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo
pulg	mm		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2
0.000	0	0			0			0		
0.025	0.63	65			45			70		
0.050	1.27	135			140			180		
0.075	1.9	200			270			300		
0.100	2.54	245			370			410		
0.125	3.17	280			435			505		
0.150	3.81	300			495			580		
0.200	5.08	330			580			710		
0.250	6.35	355			670			800		
0.300	7.62	385			720			870		
55.560	10.16	430			790			960		
0.500	12.7	465			850			1030		

Tabla 36. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 7% Cemento – Toma de datos.

Expansión									
Tiempo Hr.	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	148			267			522		
24	151			269			525		
48	154			270			528		
72	157			271			528		
96	157			272			528		



Tabla 37. Ensayo de CBR – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel – Toma de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	26/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES					
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación			Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima		Masa de la Pesa	4.57 kg	Nº Capas	
Contenido de Humedad Optimo		Altura de Caída	45.82cm	5	6.128 cm
Nº de Capas					

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN)	Diametro del piston
	A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	49.63 mm

COMPACTACIÓN							
Nº de Golpes por Capa	#	12	26	55			
Altura del Molde	cm	17.786	17.802	17.758			
Diametro del Molde	cm	15.261	15.237	15.193			
Volmen de molde	cm ³						
Peso de molde	gr	7352	7436	6958			
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado	No Saturado	No Saturado			
Peso molde + Suelo humedo	gr	11457	11840	11498			
Peso de suelo humedo	gr	4105	4404	4540			
Densidad Humeda	gr/cm ³						
Tara Nº	Nº	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr	50.73	56.83	54.61	58.42	72.13	66.07
Tara + Suelo seco	gr	47.14	52.82	50.34	53.43	66.36	61.12
Peso de agua	gr	3.59	4.01	4.27	4.99	5.77	4.95
Peso de tara	gr	14.92	16.10	14.99	15.55	16.53	15.56
Peso de suelo seco	gr						
% de humedad	%						
% de humedad Promedio	%						
Densidad Seca	gr/cm ³						



Tabla 38. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel – Toma de datos.

PENETRACIÓN										
Penetración		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
pulg	mm	Dial	Carga Kgf	Esfuerzo kg/cm2	Dial	Carga Kgf	Esfuerzo kg/cm2	Dial	Carga Kgf	Esfuerzo kg/cm2
0.000	0	0			0			0		
0.025	0.63	50			80			70		
0.050	1.27	115			190			210		
0.075	1.9	200			280			315		
0.100	2.54	260			350			390		
0.125	3.17	310			410			453		
0.150	3.81	345			450			493		
0.200	5.08	395			525			560		
0.250	6.35	430			600			615		
0.300	7.62	475			650			673		
0.400	10.16	520			680			770		
0.500	12.7	575			695			850		

Tabla 39. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel – Toma de datos.

Expansión									
Tiempo Hr.	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	114			223			198		
24	115			224			198		
48	115			225			200		
72	117			226			201		
96	118			228			202		



Tabla 40. Ensayo de CBR – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel – Toma de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	1/05/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES				
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación		Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima		Masa de la Pesa	4.57 kg	
Contenido de Humedad Optimo		Altura de Caída	45.82cm	Nº Capas
Nº de Capas				5
				6.128 cm

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN)	Diametro del piston
	A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	49.63 mm

COMPACTACIÓN							
Nº de Golpes por Capa	#	12	26	55			
Altura del Molde	cm	17.811	17.735	17.784			
Diametro del Molde	cm	15.286	15.286	15.242			
Volmen de molde	cm ³						
Peso de molde	gr	7374	7344	7387			
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado	No Saturado	No Saturado			
Peso molde + Suelo humedo	gr	11392	11642	11814			
Peso de suelo humedo	gr	4018	4298	4427			
Densidad Humeda	gr/cm ³						
Tara Nº	Nº	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr	53.07	56.24	56.42	65.36	62.65	74.55
Tara + Suelo seco	gr	49.48	52.42	52.77	60.92	58.34	69.43
Peso de agua	gr	3.59	3.82	3.65	4.44	4.31	5.12
Peso de tara	gr	15.50	15.44	15.89	15.71	15.94	16.71
Peso de suelo seco	gr						
% de humedad	%						
% de humedad Promedio	%						
Densidad Seca	gr/cm ³						



Tabla 41. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel – Toma de datos.

PENETRACIÓN										
Penetración		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo
pulg	mm		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2
0.000	0	0			0			0		
0.025	0.63	57			60			42		
0.050	1.27	142			200			140		
0.075	1.9	208			320			290		
0.100	2.54	250			405			400		
0.125	3.17	281			460			480		
0.150	3.81	310			520			540		
0.200	5.08	350			630			650		
0.250	6.35	395			738			745		
0.300	7.62	425			800			810		
0.400	10.16	480			880			900		
0.500	12.7	535			950			1000		

Tabla 42. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel – Toma de datos.

Expansión									
Tiempo Hr.	Molde N° 01			Molde N° 02			Molde N° 03		
	Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	150			271			521		
24	152			271			521		
48	153			272			522		
72	153			272			523		
96	153			273			523		

3.6. Procedimientos de Análisis de Datos

3.6.1. Determinación de Contenido de Humedad

- a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Peso del Agua: Se refiere a la diferencia del peso húmedo y el peso seco.

Contenido de humedad:

$$W = \frac{\text{peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100 \rightarrow W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$



- W = Contenido de humedad (%)
- M_{CWS} = Peso del recipiente más suelo húmedo (gr)
- M_{CS} = Peso del recipiente más suelos secado al horno (gr)
- M_C = Peso del recipiente (gr)
- M_W = Peso del agua (gr)
- M_S = Peso de las partículas sólidas (gr)

b) Diagramas o tablas

Tabla 43. Determinación del contenido de humedad de un suelo – Procesamiento de datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Contenido de humedad
Referencia:	MTC E 108 Determinación del contenido de humedad de un suelo
Fecha:	15/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

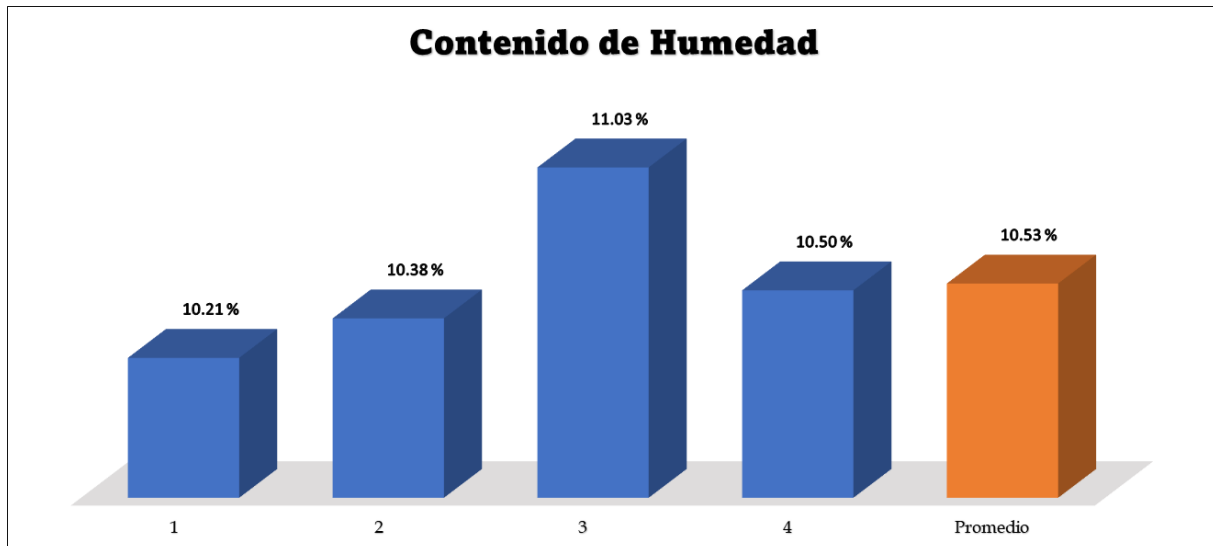
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Capsula N°	ID	1	2	3	4
Peso de capsula + Suelo húmedo	gr	71.72	73.86	69.76	68.82
Peso de capsula + Suelo seco	gr	66.46	68.43	64.32	63.76
Peso del agua	gr	5.26	5.43	5.44	5.06
Peso de la capsula	gr	14.92	16.1	15.00	15.56
Peso del suelo seco	gr	51.54	52.33	49.32	48.2
Contenido de humedad	%	10.21	10.38	11.03	10.50
Promedio		10.53			



c) Análisis del Ensayo

Mediante el ensayo se pudo determinar el contenido de humedad natural del terreno, cuyo promedio fue de 14.53%.

Figura 64. Gráfico de los Porcentajes de Contenido de Humedad – Suelo Natural.



Fuente: Propia.

3.6.2. Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado

a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Se calculó la cantidad de muestra perdida durante el proceso del tamizado:

Peso perdido = Peso de la muestra antes del tamizado – sumatoria de pesos luego del tamizado

Se calculó el porcentaje del peso perdido el cual fue menor a 1 %, Ya que este es menor al 1% es aceptable según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Se procedió a corregir proporcionalmente con el porcentaje obtenido.

Luego de esto se calculó el % retenido mediante esta fórmula:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso del material retenido en tamiz}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

El porcentaje de retenido acumulado se coloca en función a la sumatoria de los pesos de los



tamices anteriores. El pasante viene a ser la diferencia del 100% de la muestra y Peso retenido acumulado.

D60 = Tamaño de abertura en el que pasa el 60% de la muestra.

D10 = Tamaño de abertura en el que pasa el 10% de la muestra.

D30 = Tamaño de abertura en el que pasa el 30% de la muestra.

Coeficiente de Uniformidad (Cu): determinará la uniformidad y variación del tamaño de las partículas del suelo a estudiar, se usa la siguiente relación:

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

Donde:

D60 = Tamaño de abertura en el que pasa el 60% de la muestra.

D10 = Tamaño de abertura en el que pasa el 10% de la muestra.

Coeficiente de Concavidad (Cc): Nos proporciona información de la gradación del suelo y determinará si es bien gradado o mal gradado, con la siguiente relación:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Donde:

D60 = Tamaño de abertura en el que pasa el 60% de la muestra.

D10 = Tamaño de abertura en el que pasa el 10% de la muestra.

D30 = Tamaño de abertura en el que pasa el 30% de la muestra.



b) Diagramas o tablas

Tabla 44. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado. Suelo Natural – Procesamiento de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Granulometria de suelos finos
Referencia:	MTC E 107 Analisis Granulometrico de Suelos por Tamizado
Fecha:	17/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

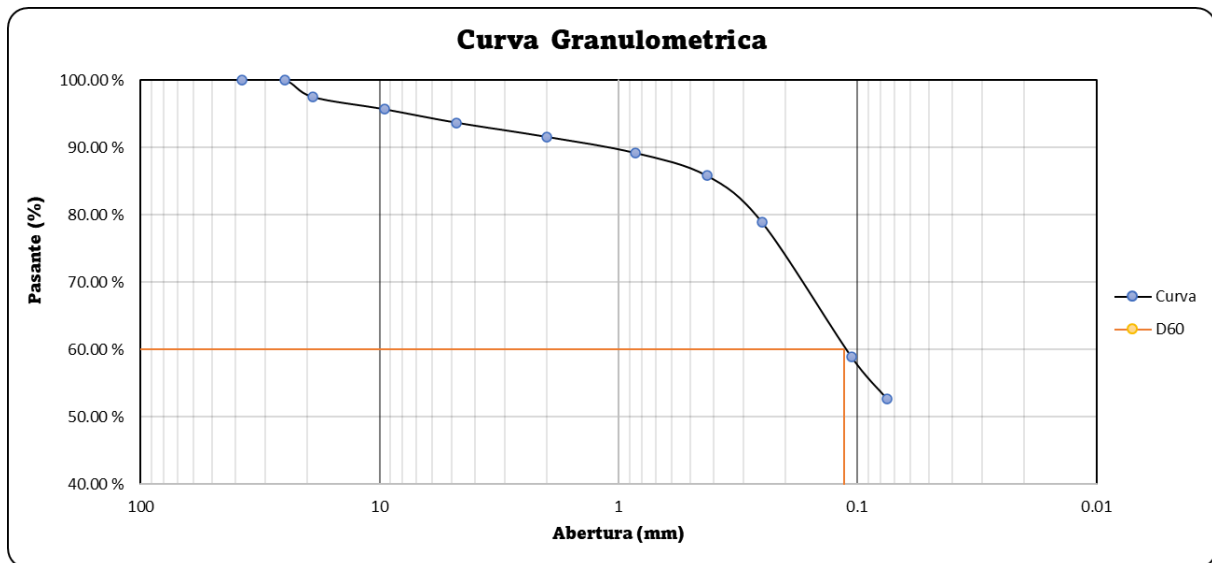
Descripción de la Muestra			
Peso de Muestra		Datos Generales	
Peso Total Seco	gr. 1221.52	% Grava	6.33 %
Peso Despues de Lavar	gr. 612.05	% Arena	34.75 %
Perdida por Lavado	gr. 609.47	% Finos	58.92 %

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Corregido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acumulado(%)	Pasante (%)
3"	75.000	-				
2"	50.000	-				
1 1/2"	37.500	-	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
1"	25.000	-	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
3/4"	19.000	30.64	30.57	2.50 %	2.50 %	97.50 %
3/8"	9.500	22.44	22.39	1.83 %	4.34 %	95.66 %
N° 4	4.750	24.39	24.34	1.99 %	6.33 %	93.67 %
N° 10	2.000	25.7	25.64	2.10 %	8.43 %	91.57 %
N° 20	0.850	29.3	29.24	2.39 %	10.82 %	89.18 %
N° 40	0.425	41.73	41.64	3.41 %	14.23 %	85.77 %
N° 60	0.250	84.9	84.71	6.94 %	21.16 %	78.84 %
N° 140	0.106	243.77	243.23	19.91 %	41.08 %	58.92 %
N° 200	0.075	77.15	76.98	6.30 %	47.38 %	52.62 %
Fondo + Lavado		642.78	642.78	52.62 %	100.00 %	0.00 %
Total		1222.80				

Tamaño Máximo Absoluto =	1"	D10 (mm)	-	Cu	-
Tamaño Máximo Nominal =	3/4"	D30 (mm)	-	Cc	-
		D60 (mm)	0.114		



Figura 65. Curva Granulométrica. Suelo Natural

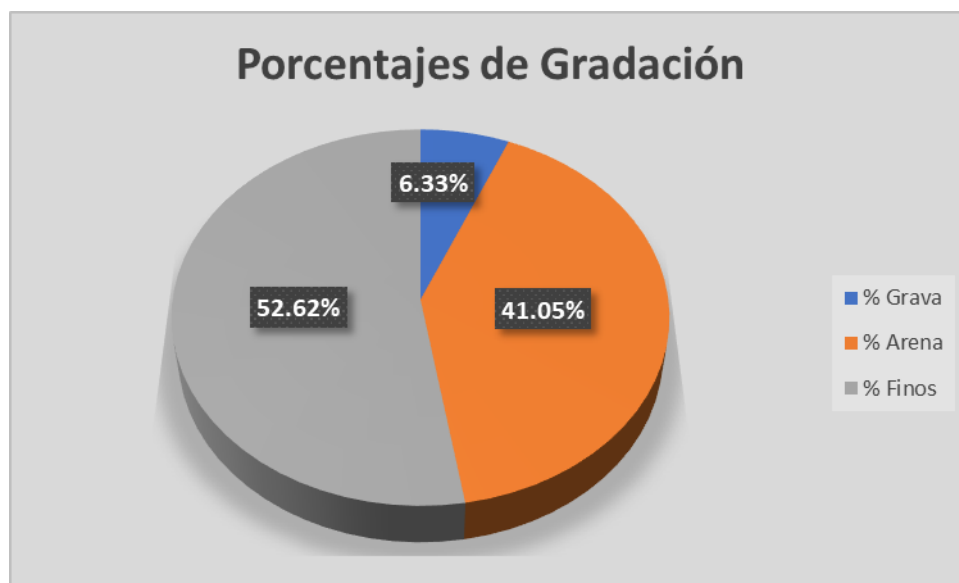


Fuente: Propia.

b) Análisis de la prueba

El suelo estudiado está conformado en su mayoría por finos (limos y arcillas) que es pasante la malla #200, correspondiente al 52.62% y más de un tercio de arena correspondiente al 41.05%. Así mismo, no presenta coeficiente de uniformidad ni coeficiente de concavidad, debido a la ausencia de gradación en los tamaños, al no presentar amplia gama de tamaños.

Figura 66. Gradación del Suelo Natural.



Fuente: Propia.



3.6.3. Ensayo de Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro

a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Ecuación para determinar K

$$K = \sqrt{\frac{30 * \mu/g}{\tau_s - \tau_w}}$$

g= aceleración gravitacional.

μ = Coeficiente de viscosidad del agua en Poises.

τ_s = Peso unitario de los sólidos del suelo en gr/cm^3 .

τ_w = Peso unitario del agua destilada, a la temperatura T, en g/cm^3 .

Profundidad Efectiva

$$L = H_R + \frac{1}{2} * (h - \frac{V_b}{A})$$

L= Profundidades efectivas

HR = Distancias correspondientes a las lecturas.

h= Distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo.

Vb= Volumen del bulbo.

A= Área del cilindro graduado.

Diámetro de Partículas

$$D = k * \sqrt{\frac{L}{t}}$$

L= Profundidad efectiva.

t= Tiempo transcurrido en mm.



Porcentaje que Pasa:

$$\% Pasa = \left(R * \frac{a}{w} \right) * 100$$

R= Lectura corregida del hidrómetro.

a= Factor de corrección por peso específico.

w= Peso de la muestra seca (gr).

b) Diagramas o Tablas

Tabla 45. Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro – Procesamiento de Datos.

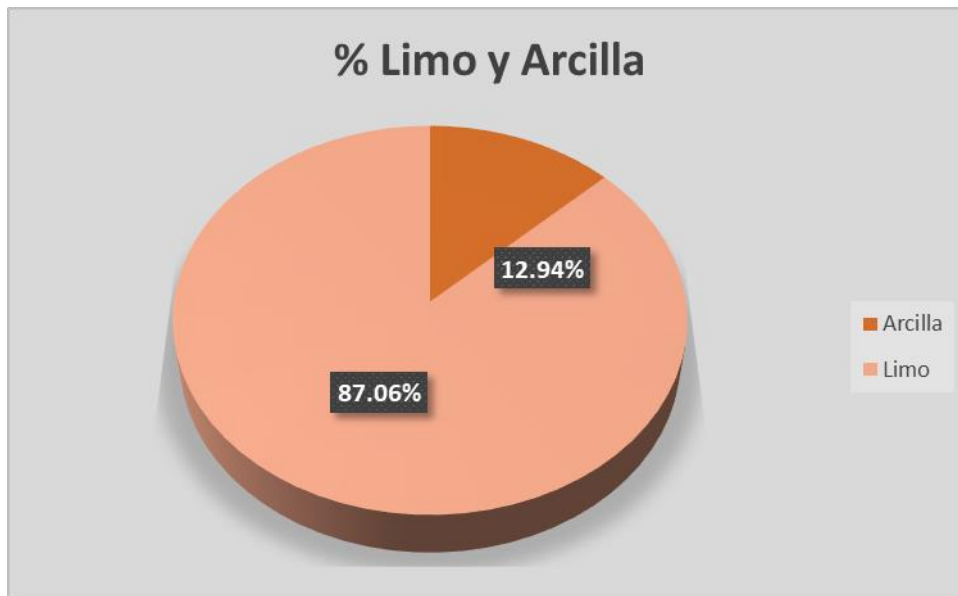
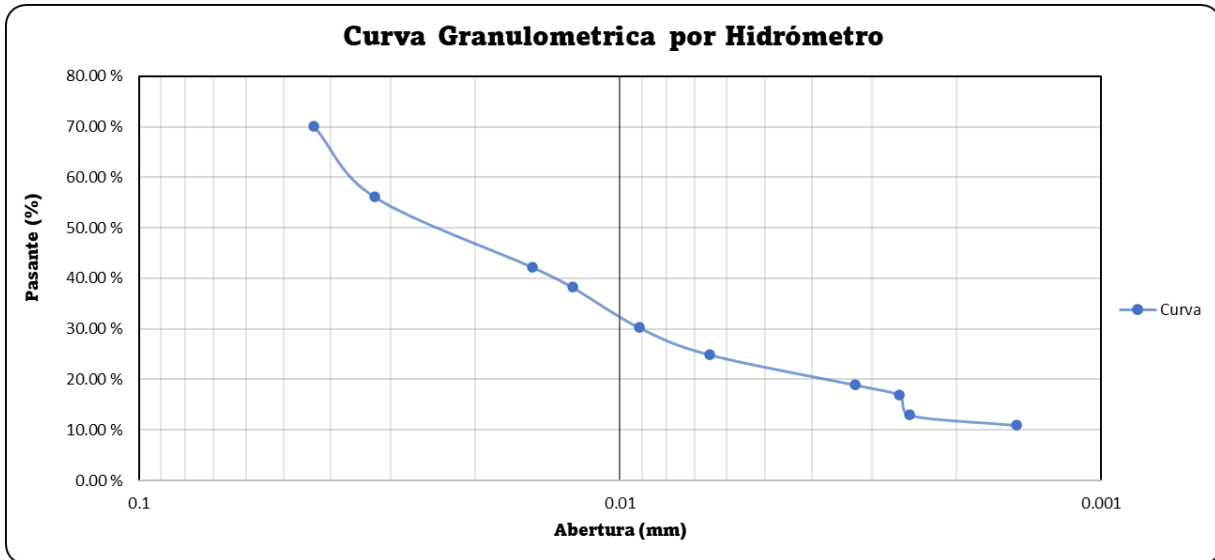


INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Granulométrico por Medio del Hidrómetro
Referencia:	MTC E 109 Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro
Fecha:	23/06/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

Masa del Suelo Seco (gr)	50	Corrección por Agente Defloculante y punto cero (g/L)	3.5
Tipo de Hidrometro	152 H	Gravedad Especifica	2.67
		α	0.9955

Tiempo	Lectura Hidrometro	Temperatura °C	Rcp	Profundidad Efectiva (mm)	Diametro (mm)	Corrección Temperatura	R Corregida	% Pasante	Constante K
1	38	19	39	99	0.043	-0.300	35.200	70.083	0.00435
2	31	19	32	111	0.032	-0.300	28.200	56.146	0.00435
10	24	19	25	122	0.015	-0.300	21.200	42.209	0.00435
15	22	19	23	125	0.013	-0.300	19.200	38.227	0.00435
30	18	19	19	132	0.009	-0.300	15.200	30.263	0.00435
60	15	20	16	137	0.006	0.000	12.500	24.888	0.00430
250	12	20	13	142	0.003	0.000	9.500	18.915	0.00430
384	11	20	12	143	0.003	0.000	8.500	16.924	0.00430
470	10	16	11	145	0.002	-1.000	6.500	12.942	0.00450
1326	9	16	10	147	0.001	-1.000	5.500	10.951	0.00450



Fuente: Propia.

c) Análisis de la Prueba.

Se considera con 0.075mm de abertura como material limoso y material menor a 0.002mm como material arcilloso. Por lo tanto, asumimos que nuestro suelo tiene más prominencia de limos en un 87% a comparación de la arcilla.



3.6.4. Ensayo de Límite Líquido

a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Mediante la siguiente fórmula se calculó el contenido de humedad de la muestra

$$W = \frac{\text{peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100 \rightarrow W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

- W = Contenido de humedad (%)
- M_{CWS} = Peso del recipiente más suelo húmedo (gr)
- M_{CS} = Peso del recipiente más suelos secado al horno (gr)
- M_C = Peso del recipiente (gr)
- M_W = Peso del agua (gr)
- M_S = Peso de las partículas sólidas (gr)

Se calcula la curva semilogarítmica, donde en el eje “y” están ubicados los contenidos de humedad, en el eje “x” están ubicados los números de golpes.

Se genera una tendencia de los puntos generados, y se calcula con la ecuación de la tendencia la humedad que coincide con los 25 golpes.



b) Diagramas o tablas

Tabla 46. Determinación del Límite Líquido de los suelos– Procesamiento de Datos.

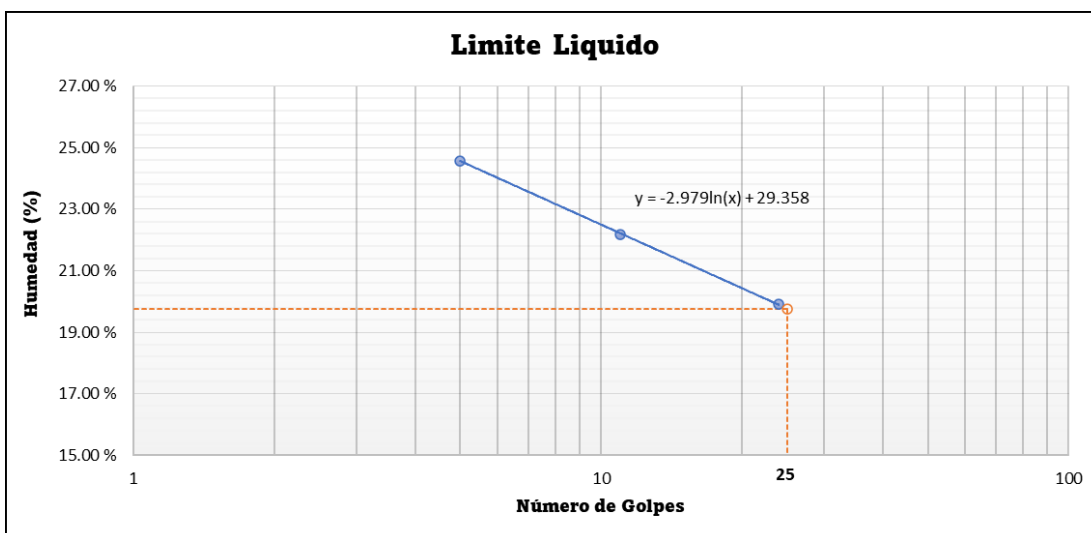
	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
--	---	--

INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Límites de consistencia
Referencia:	MTC E 110 Determinación del límite líquido de los suelos, MTC E 111 Determinación del límite plástico (L.P.) suelos e índice de plasticidad (I.P.)
Fecha:	17/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

LÍMITE LÍQUIDO					
Descripción		N - 1	N - 2	N - 3	N - 4
Peso de capsula + Suelo húmedo	gr	44.68	40.93	41.74	
Peso de capsula + Suelo seco	gr	39.14	36.56	37.54	
Peso del agua	gr	5.54	4.37	4.2	
Peso de la capsula	gr	16.6	16.86	16.44	
Peso del suelo seco	gr	22.54	19.7	21.1	
Número de golpes	n*	5	11	24	
Contenido de Humedad	%	24.58 %	22.18 %	19.91 %	NP

Figura 67. Gráfica de Límite Líquido Suelo Natural.



Fuente: Propia



c) Análisis de la prueba

Se determino en función a la tendencia para #25 golpes el contenido de humedad de 19.77%. Es decir que cuando se logra un contenido de humedad de 19.77% pasa de un estado semilíquido a un estado plástico.

3.6.5. Ensayo de Límite Plástico

a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Para hallar el contenido de humedad de las muestras, se utilizó la siguiente fórmula

$$W = \frac{\text{peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100 \rightarrow W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

- W = Contenido de humedad (%)
- M_{CWS} = Peso del recipiente más suelo húmedo (gr)
- M_{CS} = Peso del recipiente más suelos secado al horno (gr)
- M_C = Peso del recipiente (gr)
- M_W = Peso del agua (gr)
- M_S = Peso de las partículas sólidas (gr)

El límite plástico se calculó mediante el promedio de los cuatro puntos generados.

Respecto al índice de plasticidad, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

- IP: Índice de Plasticidad
- LL: Límite Líquido
- LP: Límite Plástico



b) Diagrama de tablas

Tabla 47. Determinación del Límite Plástico de los suelos– Procesamiento de Datos.

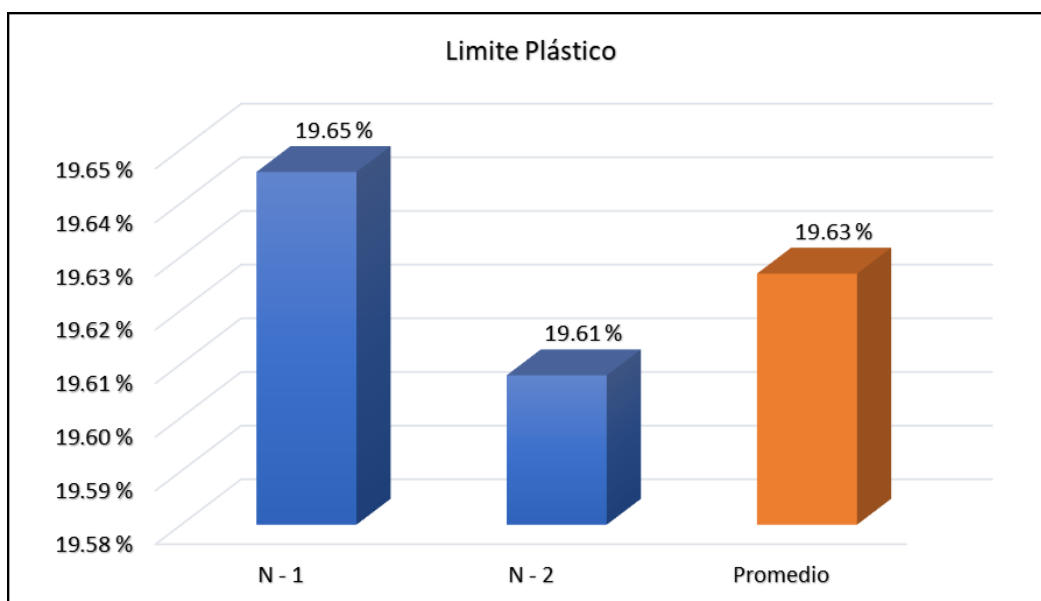


INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Limites de consistencia
Referencia:	MTC E 110 Determinación del limite liquido de los suelos, MTC E 111 Determinación del limite plastico (L.P.) suelos e indice de plasticidad (I.P.)
Fecha:	17/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

LIMITE PLASTICO			
Descripción		N - 1	N - 2
Peso de capsula + Suelo humedo	gr	30.67	26.92
Peso de capsula + Suelo seco	gr	28.23	25.12
Peso del agua	gr	2.44	1.8
Peso de la capsula	gr	15.81	15.94
Peso del suelo seco	gr	12.42	9.18
Contenido de Humedad	%	19.65 %	19.61 %

INDICE PLÁSTICO		
Descripción		
Contenido de Humedad (LL)	%	19.77 %
Contenido de Humedad (LP)	%	19.63 %
Indice plástico	%	0.14 %



Fuente: Propia.



c) Análisis de la prueba

El cambio de consistencia plástica a semisólida sucede a un contenido de humedad promedio de 19.63%. Para el índice de plasticidad da como resultado 0.14%. Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) clasifica al suelo como poco arcilloso por estar en el rango menor a 7 de IP.

Tabla 48. Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad.

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

3.6.6. Clasificación de Suelos

a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Para la determinación de un tipo de suelo se utilizó dos métodos AASHTO y SUCS, como requisitos se necesita de los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

Método AASTHO

Primero analizamos que el material retenido en la malla #200 es mayor o menor igual al 35%.

Analizamos los parámetros del suelo en el siguiente cuadro.

Para calcular el índice de grupo se necesita de la siguiente fórmula.



$$IG=(F-35) [0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15) (PI-10)$$

Donde:

F = Porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

LL = Límite líquido

PI = Índice de plasticidad.

Según (M. Das, 2013) para la determinación del índice de grupo se debe seguir algunas pautas:

- a) Si la ecuación anterior da un valor negativo para IG, se considera como 0.
- b) El índice de grupo calculado se redondea al entero más próximo.
- c) No hay límite superior para el índice de grupo.
- d) El índice de grupo de los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0.
- e) Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, se utiliza el índice de grupo parcial para PI, o

$$IG=0.01(F-15) (PI-10)$$

Método SUCS

Para la clasificación según SUCS se sigue paso a paso de acuerdo con las tablas, teniendo datos previos: LL (Límite líquido), IP (Índice Plástico), % pasante #200, % retenido acumulado #200, % retenido acumulado #4 y el resultado del % pasante #4 – % pasante #200.



b) Diagramas o tablas

Método AASHTO

Tabla 49. Datos necesarios para la Clasificación AASHTO.

Granulometría		Límites de Consistencia	
% que pasa el Tamiz Nº 10	93.67 %	LL	19.77 %
% que pasa el Tamiz Nº 40	89.18 %	LP	19.63 %
% que pasa el Tamiz Nº 200	52.62 %	IP	0.14 %

$$IG=(F-35) [0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15) (PI-10)$$

F= 52.62 donde F es Porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

LL= 19.77 donde LL es Límite líquido

PI= 0.14 donde PI es Índice de plasticidad.

$$IG= (52.62-35) [0.2+0.005(19.77-40)]+0.01(52.62-15) (0.14-10)$$

IG = -1.97 por lo tanto el resultado es 0.

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) clasifica al suelo para una subrasante, denominándolo Muy bueno debido a que el IG se encuentra en el rango de 0 y 1.

Tabla 50. Clasificación de suelos según Índice de Grupo.

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy Pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

El % pasante del tamiz #200 es mayor del 35%. Por lo tanto, se encuentra como material limoso o arcilloso.



Así mismo el límite líquido es $<40\%$ y el índice de plasticidad es <10 , por lo tanto, la muestra se encuentra en el grupo **A-4-(0)**.

Figura 68. Clasificación de materiales de carreteras subrasantes.

Clasificación general	Materiales granulares (35%, ó menos, pasa el tamiz No. 200)							Materiales limo-arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz No. 200)			
	A - 1		A - 2					A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Porcentaje que pasa el tamiz: No. 10 (2.00 mm) No. 40 (0.425 mm) No. 200 (0.075 mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	— 50 máx. 25 máx.	— 51 mín. 10 máx.	— — 35 máx.	— — 35 máx.	— — 35 máx.	— — 35 máx.	— — 36 mín.	— — 36 mín.	— — 36 mín.	
Características del material que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm): Límite líquido Índice de plasticidad	— 6 máx.	— NP	— 40 máx. 10 máx.	— 41 mín. 10 máx.	— 40 máx. 11 mín.	— 41 mín. 11 mín.	— 40 máx. 11 mín.	— 40 máx. 10 máx.	— 41 mín. 11 mín.	— 41 mín. 11 mín.*	
Terreno de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno			Regular a malo				

* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual ó menor a LI-30.
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LI-30.

Fuente: (Montejo Fonseca, 2002)

Método SUCS

Primero identificamos que el suelo es de fracción fina ya que pasa más del 50% a través del tamiz #200. De igual manera el límite líquido resulta menor a 50. Debido a la estratigrafía observada no presenta contenido orgánico, por lo cual se descartado. Verificamos que el IP (índice Plástico) es menor a 4 resultado con un símbolo de grupo ML.

Tabla 51. Datos necesarios para la Clasificación SUCS.

Granulometría			Límites de Consistencia	
Fracción Fina	% pasante tamiz N° 200	52.62 %	LL	19.77 %
Fracción Gruesa	% retenido tamiz N° 200	47.38 %	LP	19.63 %
Fracción Grava	% retenido en el tamiz N° 4	6.33 %	IP	0.14 %
Fracción Arena	(% pasante N° 4) – (% pasante N° 200)	41.05 %		



Figura 69. Sistema Unificado de Clasificación de Suelo.

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos ^a	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GW GP
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos ^b	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SW SP
		Arenas con finos Más de 12% finos ^{a,d}	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GM GC
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^e	CL
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^e	ML
		Orgánico	Límite líquido: secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OL Límite líquido: no secado	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2) Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	CH MH
		Orgánico	Límite líquido: secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OH Límite líquido: no secado	OH
Suelos altamente orgánicos Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico				Pt

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

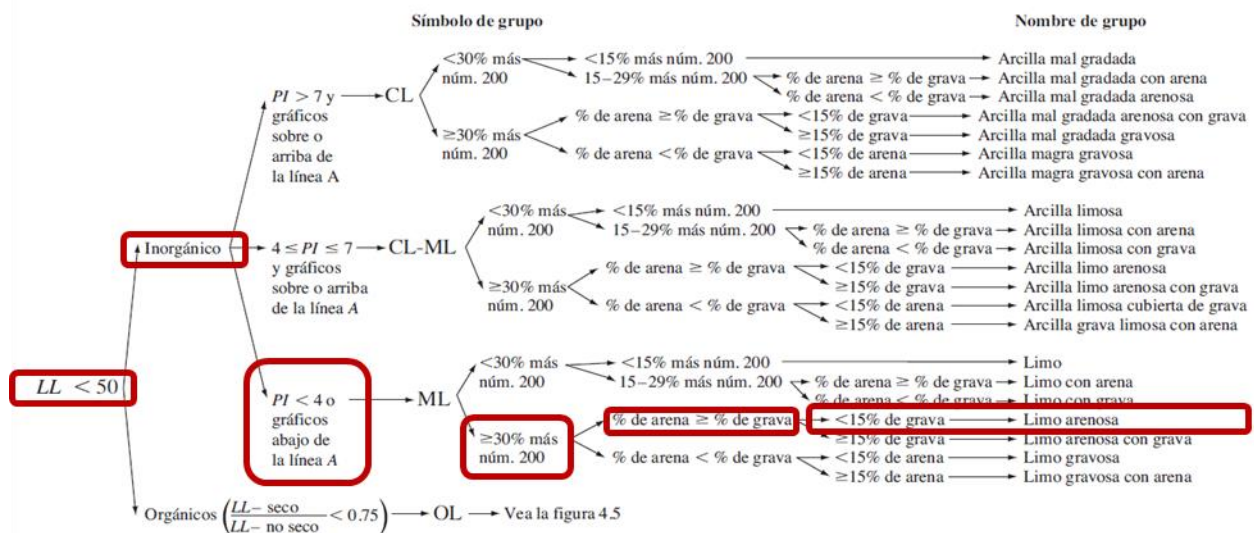
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente: (M. Das, 2013).

Figura 70. Clasificación de Suelos SUCS.



Fuente: (M. Das, 2013)

ML (Limo de Baja Plasticidad) – Limo arenosa



c) Análisis de la prueba

El suelo extraído de la APV. Sacsaccata – San Sebastián, según el método de clasificación de suelos AASHTO, resultó con un suelo limoso constituido en el grupo A-4 y con un índice de grupo (0). Para el método de clasificación SUCS, corresponde a un ML (**Limo de Baja Plasticidad**) - Limo arenosa

3.6.7. Ensayo de Proctor Modificado

a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Una vez realizado el ensayo de compactación se extraen 2 pequeñas muestras de suelo de parte superior e inferior para poder determinar su contenido de humedad, para luego sacar un promedio de estos.

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

- W = Contenido de humedad expresado en porcentaje (%)
- W_w = Peso del agua (gr)
- W_t = Peso de la tara (gr)
- W_s = Peso del material seco (gr)
- W_1 = Peso de la tara + suelo húmedo (gr)
- W_2 = Peso de la tara + suelo seco (gr)

Se calcula la densidad húmeda y la densidad seca mediante la siguiente fórmula:

Densidad Húmeda:

$$\rho_m = \frac{M_t - M_{md}}{V}$$

Donde:

- ρ_m = Densidad Húmeda del espécimen compactado (gr/cm^3)
- M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (gr)
- M_{md} = Masa del molde de compactación (gr)
- V = Volumen del molde de compactación (gr)



Densidad Seca

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

- ρ_m = Densidad Húmeda del espécimen compactado (gr/cm³)
- ρ_d = Densidad Seca del espécimen compactado (gr/cm³)
- W = Contenido de Agua (%)

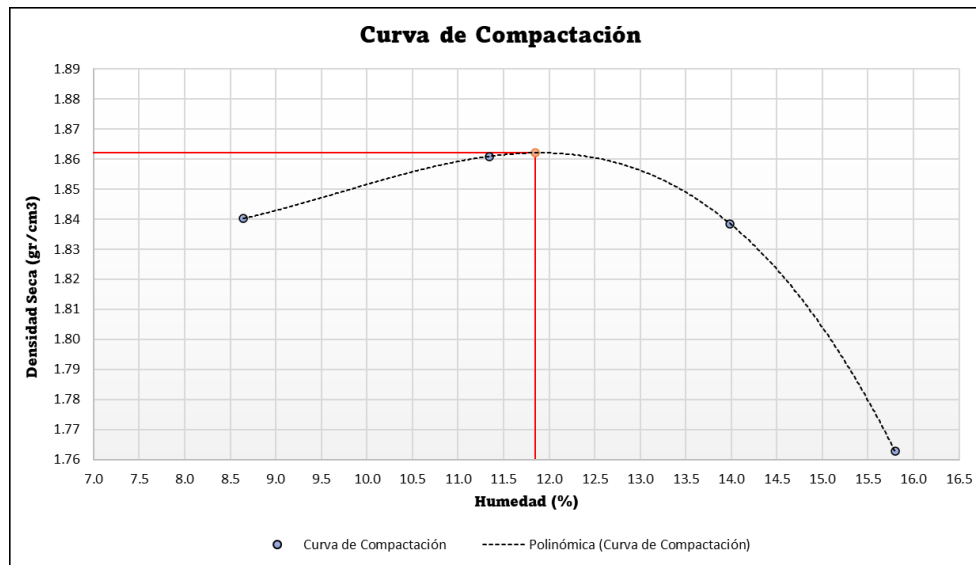
b) Diagramas o tablas

Tabla 52. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo Natural – Procesamiento de Datos.

Ensayo :		Proctor Modificado							
Referencia:		MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada							
Fecha:		19/04/2022							
Tesis:		Luis Enrique Bravo Humpire							
DATOS PRELIMINARES									
Datos del Molde				Metodo de Compactación			Tipo C		
Diametro	cm	15.35		Nº de Capas			5		
Altura	cm	11.65		Molde			6"		
Volumen	cm3	2155.92							
Peso del Molde	gr	5796							
DENSIDAD HUMEDA									
Número de puntos	Nº	1	2	3	4				
Peso suelo humedo compactado	gr	10106	10263	10314	10197				
Peso molde	gr	5796	5796	5796	5796				
Peso suelo humedo	gr	4310	4467	4518	4401				
Volumen del molde	cm3	2155.92	2155.92	2155.92	2155.92				
Densidad Suelo Humedo	gr/cm3	1.999	2.072	2.096	2.041				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso suelo humedo + Tara	gr	54.18	57.46	57.32	55.45	67.28	68.44	57.00	65.49
Peso suelo seco + Tara	gr	51.11	54.24	52.98	51.45	60.97	62.10	51.24	58.94
Peso de la tara	gr	15.80	16.74	14.61	16.30	15.95	16.69	16.46	15.79
Peso de agua	gr	3.07	3.22	4.34	4.00	6.31	6.34	5.76	6.55
Peso de suelo seco	gr	35.31	37.50	38.37	35.15	45.02	45.41	34.78	43.15
Humedad	%	8.639		11.344		13.989		15.796	
Densidad Suelo Seco	gr/cm3	1.840		1.861		1.838		1.763	
		Densidad Maxima Seca (gr/cm3)				1.862			
		Humedad Optima (%)				11.85			



Figura 71. Curva de Compactación. Suelo Natural



Fuente: Propia.

Tabla 53. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 5% de Cemento – Procesamiento de Datos.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Proctor Modificado
Referencia:	MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada
Fecha:	19/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

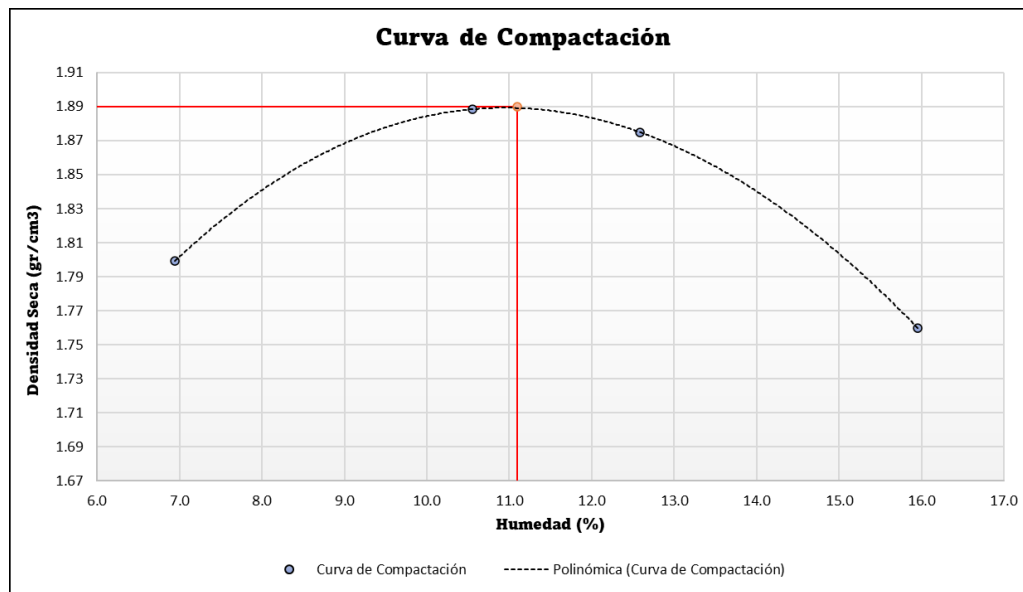
DATOS PRELIMINARES					
Datos del Molde			Metodo de Compactación		Tipo C
Diámetro	cm	15.35	Nº de Capas		5
Altura	cm	11.65	Molde		6"
Volumen	cm ³	2155.92			
Peso del Molde	gr	5992			

DENSIDAD HUMEDA					
Número de puntos	Nº	1	2	3	4
Peso suelo humedo compactado	gr	10140	10493	10543	10391
Peso molde	gr	5992	5992	5992	5992
Peso suelo humedo	gr	4148	4501	4551	4399
Volumen del molde	cm ³	2155.92	2155.92	2155.92	2155.92
Densidad Suelo Humedo	gr/cm ³	1.924	2.088	2.111	2.040

CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso suelo humedo + Tara	gr	64.38	62.86	65.14	63.06	67.33	59.27	65.96	71.17
Peso suelo seco + Tara	gr	61.23	59.88	60.35	58.68	61.62	54.4	59.05	63.71
Peso de la tara	gr	16.88	15.92	16.54	15.59	16.79	15.18	16.81	15.9
Peso de agua	gr	3.15	2.98	4.79	4.38	5.71	4.87	6.91	7.46
Peso de suelo seco	gr	44.35	43.96	43.81	43.09	44.83	39.22	42.24	47.81
Humedad	%	6.941		10.552		12.588		15.958	
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.799		1.888		1.875		1.760	
		Densidad Maxima Seca (gr/cm³)				1.890			
		Humedad Optima (%)				11.10			



Figura 72. Curva de Compactación. Suelo + 5% de cemento.



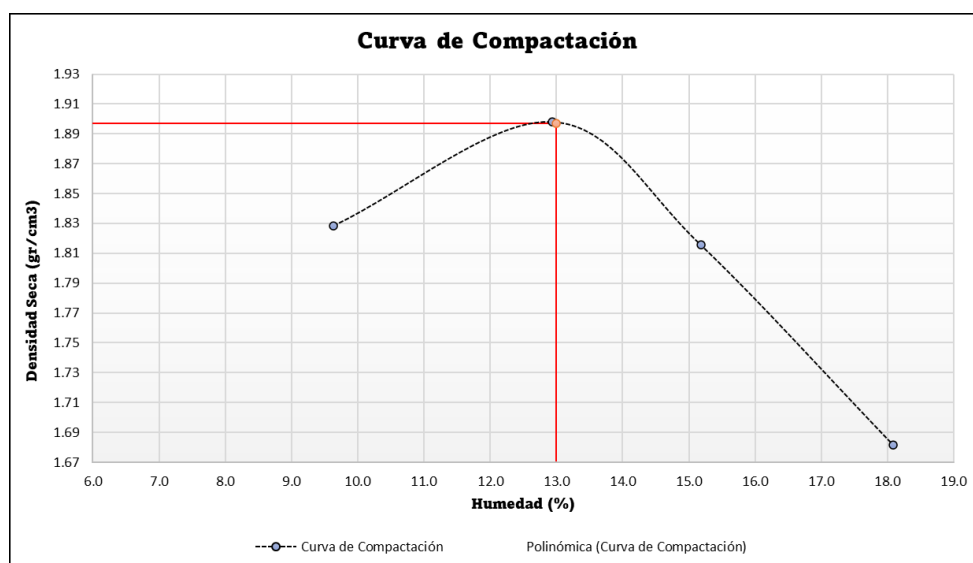
Fuente: Propia.



Tabla 54. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 7% de Cemento - Procesamiento de Datos.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO									
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL										
INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022										
Ensayo :	Proctor Modificado									
Referencia:	MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada									
Fecha:	26/04/2022									
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire									
DATOS PRELIMINARES										
Datos del Molde			Metodo de Compactación							
Diametro	cm	15.35	Nº de Capas	5						
Altura	cm	11.65	Molde	6"						
Volumen	cm ³	2155.92								
Peso del Molde	gr	5992								
DENSIDAD HUMEDA										
Número de puntos	Nº	1	2	3	4					
Peso suelo humedo compactado	gr	10119	10419	10306	10078					
Peso molde	gr	5797	5797	5797	5797					
Peso suelo humedo	gr	4322	4622	4509	4281					
Volumen del molde	cm ³	2155.92	2155.92	2155.92	2155.92					
Densidad Suelo Humedo	gr/cm ³	2.005	2.144	2.091	1.986					
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Recipiente	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	
Peso suelo humedo + Tara	gr	44.55	51.98	53.91	54.34	57.16	58.53	50.27	52.06	
Peso suelo seco + Tara	gr	41.99	48.84	49.61	49.90	51.74	52.98	44.86	46.55	
Peso de la tara	gr	15.33	16.32	16.70	15.24	16.09	16.36	14.93	16.11	
Peso de agua	gr	2.56	3.14	4.30	4.44	5.42	5.55	5.41	5.51	
Peso de suelo seco	gr	26.66	32.52	32.91	34.66	35.65	36.62	29.93	30.44	
Humedad	%	9.632		12.935		15.179		18.088		
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.829		1.898		1.816		1.682		
								Densidad Maxima Seca (gr/cm³)		1.897
								Humedad Optima (%)		13.00

Figura 73. Curva de Compactación. Suelo + 7% de cemento.



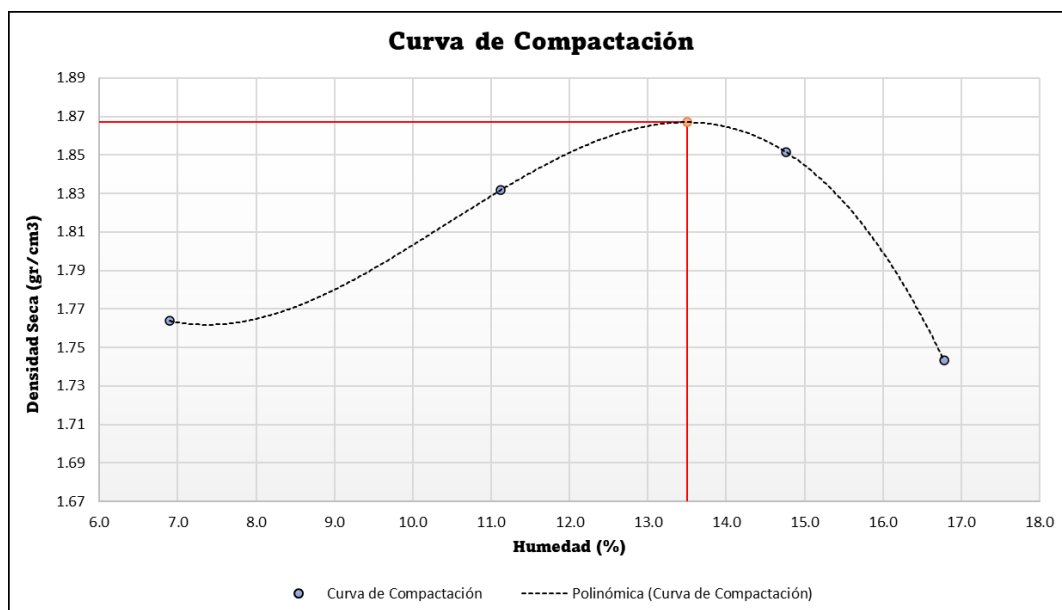
Fuente: Propia



Tabla 55. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 5% de Cemento + Hidrogel - Procesamiento de Datos.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022									
Ensayo :	Proctor Modificado								
Referencia:	MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada								
Fecha:	26/04/2022								
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire								
DATOS PRELIMINARES									
Datos del Molde			Metodo de Compactación		Tipo C				
Diametro	cm	15.35	Nº de Capas		5				
Altura	cm	11.65	Molde		6"				
Volumen	cm3	2155.92							
Peso del Molde	gr	5992							
DENSIDAD HUMEDA									
Número de puntos	Nº	1	2	3	4				
Peso suelo humedo compactado	gr	10059	10382	10575	10383				
Peso molde	gr	5994	5994	5994	5994				
Peso suelo humedo	gr	4065	4388	4581	4389				
Volumen del molde	cm3	2155.92	2155.92	2155.92	2155.92				
Densidad Suelo Humedo	gr/cm3	1.886	2.035	2.125	2.036				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso suelo humedo + Tara	gr	50.79	50.39	58.69	56.11	54.09	56.76	62.73	61.08
Peso suelo seco + Tara	gr	48.52	48.23	54.27	52.1	49.24	51.6	56.11	54.52
Peso de la tara	gr	15.73	16.75	15	15.55	16.37	16.65	16.62	15.46
Peso de hidrogel hidratado	gr	2.27	2.16	4.42	4.01	4.85	5.16	6.62	6.56
Peso de suelo seco	gr	32.79	31.48	39.27	36.55	32.87	34.95	39.49	39.06
Humedad	%	6.893		11.118		14.760		16.779	
Densidad Suelo Seco	gr/cm3	1.764		1.832		1.852		1.743	
					Densidad Maxima Seca (gr/cm3)		1.867		
					Humedad Optima (%)		13.50		

Figura 74. Curva de Compactación. Suelo + 5% de cemento + Hidrogel.





Fuente: Propia.

Tabla 56. Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada. Suelo + 7% de Cemento + Hidrogel - Procesamiento de Datos.

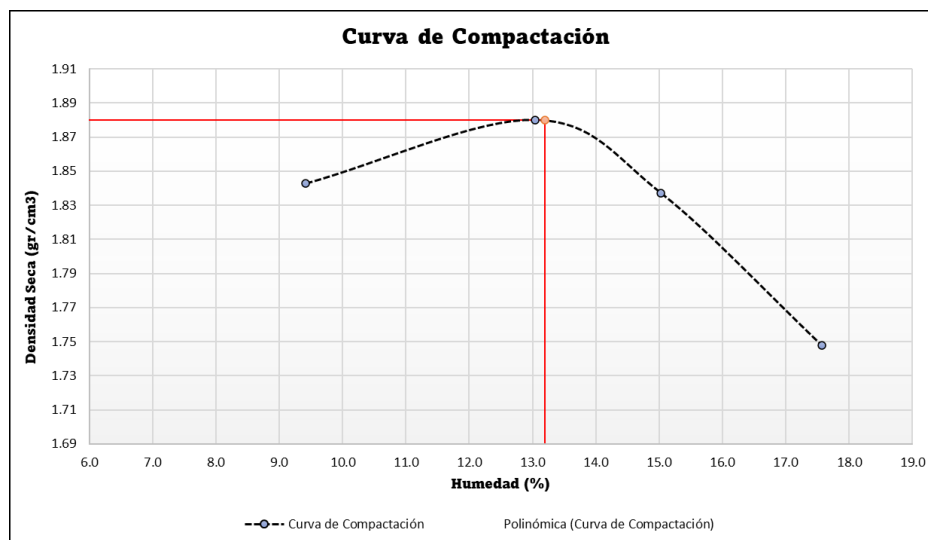
Ensayo :		Proctor Modificado	
Referencia:		MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada	
Fecha:		26/04/2022	
Tesisista:		Luis Enrique Bravo Humpire	

DATOS PRELIMINARES				
Datos del Molde			Metodo de Compactación	Tipo C
Diametro	cm	15.35	Proctor Modificado	5
Altura	cm	11.65		
Volumen	cm ³	2155.92		
Peso del Molde	gr	5992	Molde	6"

DENSIDAD HUMEDA					
Número de puntos	N°	1	2	3	4
Peso suelo humedo compactado	gr	10144	10375	10353	10227
Peso molde	gr	5797	5793	5797	5797
Peso suelo humedo	gr	4347	4582	4556	4430
Volumen del molde	cm ³	2155.92	2155.92	2155.92	2155.92
Densidad Suelo Humedo	gr/cm ³	2.016	2.125	2.113	2.055

CONTENIDO DE HUMEDAD									
Recipiente	N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso suelo humedo + Tara	gr	51.67	52.99	63.5	59.68	63.21	58.74	58.11	61.07
Peso suelo seco + Tara	gr	48.66	49.69	58.08	54.61	57.15	53.2	51.73	54.52
Peso de la tara	gr	16.74	14.61	16.3	15.96	16.7	16.46	15.8	16.88
Peso de hidrogel hidratado	gr	3.01	3.3	5.42	5.07	6.06	5.54	6.38	6.55
Peso de suelo seco	gr	31.92	35.08	41.78	38.65	40.45	36.74	35.93	37.64
Humedad	%	9.418		13.042		15.028		17.575	
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.843		1.880		1.837		1.748	
		Densidad Maxima Seca (gr/cm ³)				1.880			
		Humedad Optima (%)				13.20			

Figura 75. Curva de Compactación. Suelo + 7% de cemento + Hidrogel.



Fuente: Propia.



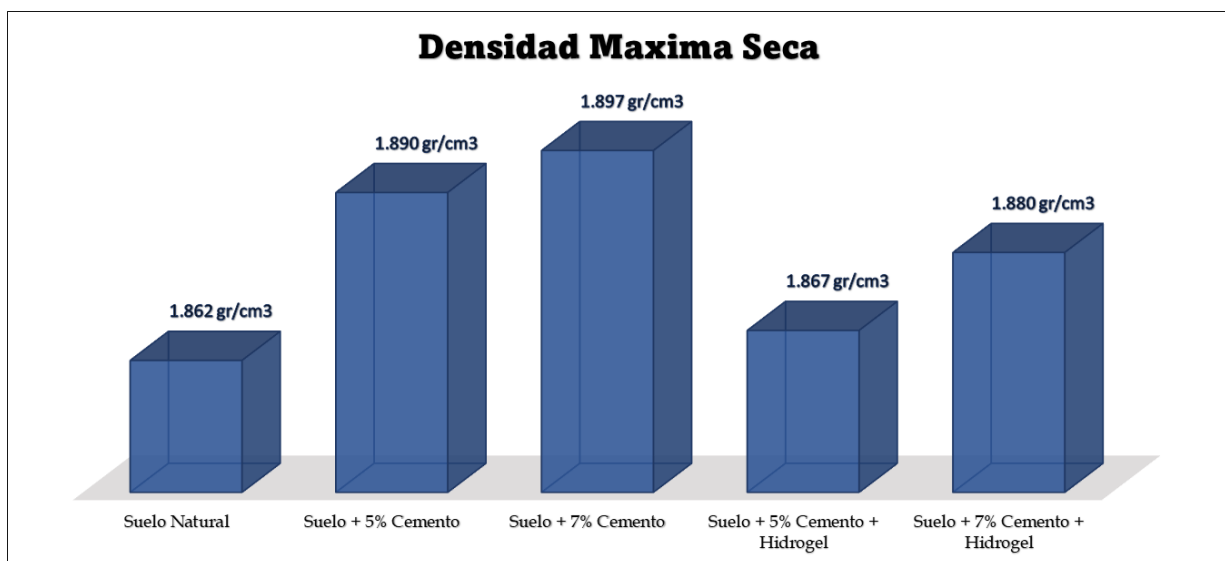
c) Análisis de la prueba

El método correspondiente a la gradación del material es el tipo “A” del Proctor Modificado, donde menos del 20% del peso del material fue retenido en la malla N° 4 y con las características del Método C (5 capas, 56 golpes, molde de 6 pulgadas de diámetro) ya que, según el MTC Manual de Ensayos: “Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B o C”.

El suelo natural presenta una densidad máxima seca de 1.862 gr/cm³. El mayor valor de densidad máxima seca se obtuvo de la muestra de Suelo + 7% de cemento con 1.897 gr/cm³. El menor valor de densidad máxima seca se obtuvo del suelo natural con 1.862 gr/cm.

Con la adición de cemento portland tipo IP en 5% y 7% con respecto a la masa del suelo la densidad máxima seca se incrementa, de igual manera, sucede con la adición del hidrogel hidratado pero con la diferencia que este sucede en menor medida a comparación de un suelo cemento.

Figura 76. Gráfica de Densidad Máxima Seca con respecto al tipo de Muestra.



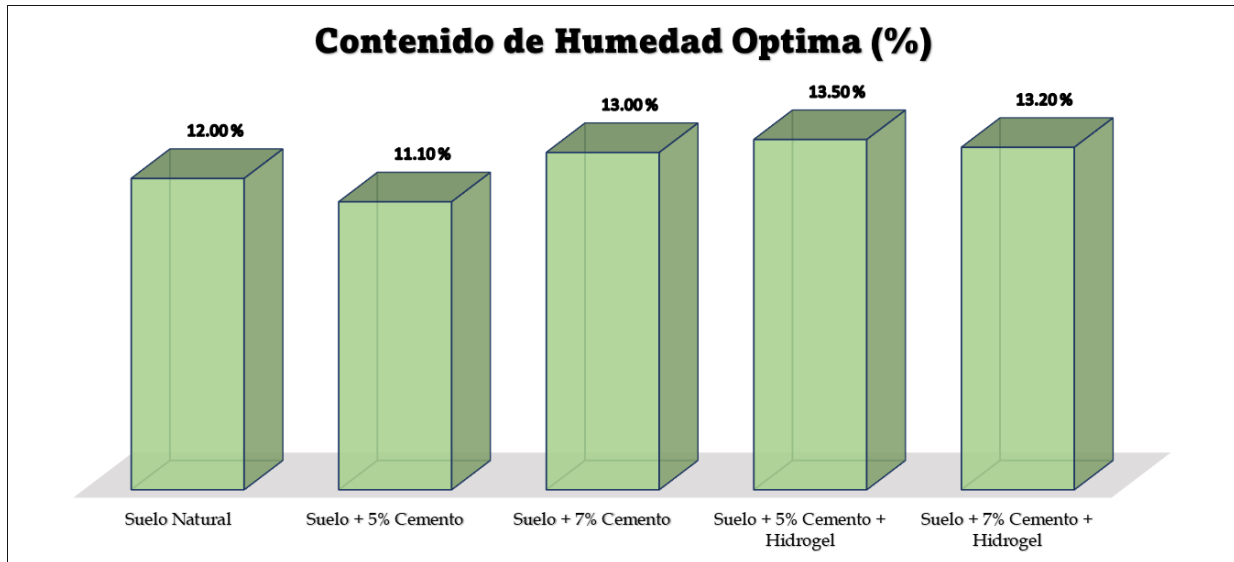
Fuente: Propia.

El mayor contenido de humedad óptimo se obtuvo de la muestra de Suelo + 5% de cemento + Hidrogel con 13.50%. El menor contenido de humedad óptimo se obtuvo de la muestra de Suelo + 5% de cemento con 11.1%.



El contenido de humedad óptimo para el suelo natural fue de 12%. Para la adición del 5% y 7% de cemento portland tipo IP los valores se ven incrementados con respecto al contenido de humedad óptimo del suelo natural con excepción de la muestra de suelo con cemento al 5%, así mismo, con la adición de hidrogel hidratado los valores del contenido de humedad óptimo se ven incrementados aún más con respecto del suelo natural.

Figura 77. Gráfica de Contenido de Humedad Óptimo con respecto al tipo de Muestra.



Fuente: Propia.

3.6.8. Ensayo de Resistencia a Compresión

a) Procesamiento o cálculos de la prueba.

Se calcula la relación de altura entre el diámetro $R = \frac{\text{Altura}}{\text{Diámetro}}$

Para el cálculo del factor de corrección por la relación de altura y diámetro, se hizo una interpolación. Ya que según el MTC E 1103 se debe multiplicar a la resistencia por un factor 1.10, para que esta convierta la resistencia a la de una relación a/d (altura/diámetro) de 1.15

Para el cálculo de la resistencia se tuvo que convertir las unidades, ya que el esfuerzo se obtenía en Kn (kilo newton). Donde 1 Kn equivale a 101.97 Kgf, a su vez se determina un promedio del área del espécimen para luego ser reemplazado en la determinación de la resistencia.



$$\text{Área} = \frac{\pi \times d^2}{4} \text{ donde "d" es el diámetro del espécimen.}$$

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}} \text{ kg/cm}^2$$

b) Diagrama o Tablas.

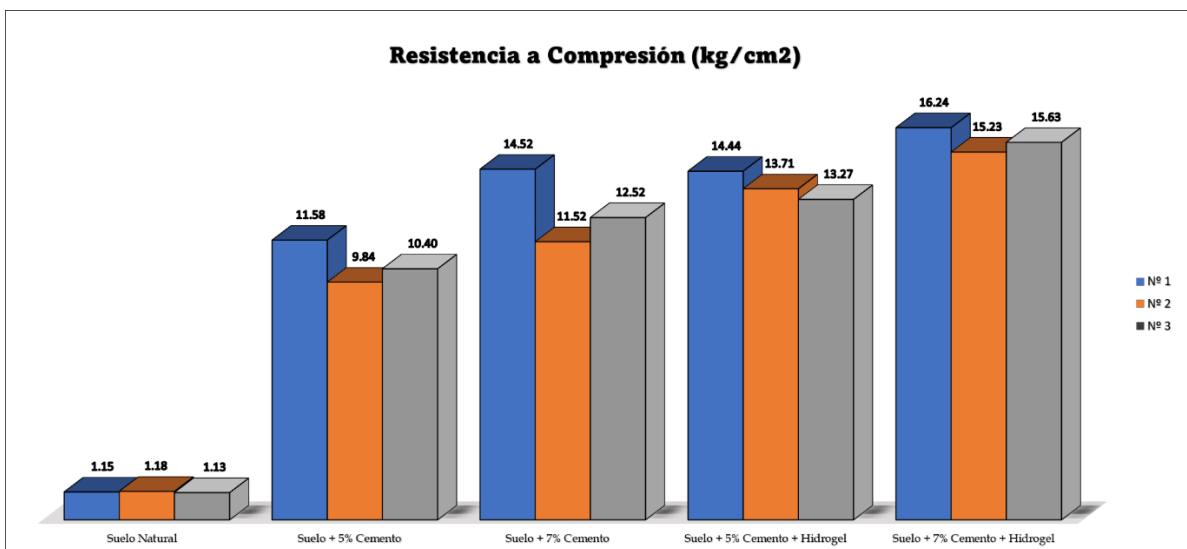
Tabla 57. Resistencia a compresión de probetas de suelo cemento – Procesamiento de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Resistencia a Compresion
Referencia:	MTC E 1103 Resistencia a Compresión de Probetas de Suelo - Cemento
Fecha:	14/05/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

Resistencia a Compresión											
MUESTRA	Nº	Altura 1 (cm)	Altura 2 (cm)	Diametro 1 (cm)	Diametro 2 (cm)	Area (cm2)	Relación altura/día	Carga (kn)	Factor	Resistencia (kg/cm2)	Promedio
Suelo Natural	M1	14.10	14.20	10.20	10.20	81.71	1.39	0.90	1.028	1.15	13.16
	M2	14.20	14.30	10.20	10.20	81.71	1.40	0.92	1.029	1.18	
	M3	14.20	14.20	10.20	10.20	81.71	1.39	0.88	1.028	1.13	
Suelo Natural + 5% Cemento	M4	14.20	14.30	10.20	10.20	81.71	1.40	9.02	1.029	11.58	10.61
	M5	14.20	14.20	10.20	10.20	81.71	1.39	7.67	1.028	9.84	
	M6	14.20	14.20	10.20	10.20	81.71	1.39	8.10	1.028	10.40	
Suelo Natural + 7% Cemento	M7	14.20	14.40	10.20	10.20	81.71	1.40	11.30	1.030	14.52	12.85
	M8	14.20	14.20	10.15	10.15	80.91	1.40	8.88	1.029	11.52	
	M9	14.20	14.20	10.15	10.15	80.91	1.40	9.65	1.029	12.52	
Suelo Natural + 5% Cemento + Hidrogel Hidratado	M10	14.20	14.20	10.15	10.15	80.91	1.40	11.13	1.029	14.44	13.81
	M11	14.20	14.20	10.15	10.15	80.91	1.40	10.57	1.029	13.71	
	M12	14.20	14.20	10.15	10.15	80.91	1.40	10.23	1.029	13.27	
Suelo Natural + 7% Cemento + Hidrogel Hidratado	M13	14.20	14.20	10.15	10.15	80.91	1.40	12.52	1.029	16.24	15.70
	M14	14.20	14.20	10.15	10.15	80.91	1.40	11.74	1.029	15.23	
	M15	14.20	14.20	10.15	10.15	80.91	1.40	12.05	1.029	15.63	



Fuente: Propia.



c) Análisis de la Prueba.

Se encuentra una clara tendencia de incremento de la resistencia a compresión con la adición de cemento al 5% y 7% teniendo como valor máximo 14.1 kg/cm². De igual manera, para la adición del hidrogel los valores presentan un alza, siendo el mayor de 15.78 kg/cm².

Hay una basta mejora en la resistencia a compresión con la adición del cemento, a su vez con la adición del hidrogel.

3.6.9. Ensayo CBR “California Bearing Ratio” (laboratorio)

a) Procesamiento o cálculos de la prueba

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

- W = Contenido de humedad expresado en porcentaje (%)
- W_w = Peso del agua (gr)
- W_t = Peso de la tara (gr)
- W_s = Peso del material seco (gr)
- W₁ = Peso de la tara + suelo húmedo (gr)
- W₂ = Peso de la tara + suelo seco (gr)

Se calcula la densidad húmeda y la densidad seca mediante la siguiente fórmula:

Densidad Húmeda:

$$\rho_m = \frac{M_t - M_{md}}{V}$$

Donde:

- ρ_m = Densidad Húmeda del espécimen compactado (gr/cm³)
- M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (gr)
- M_{md} = Masa del molde de compactación (gr)
- V = Volumen del molde de compactación (gr)



Densidad Seca

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

- ρ_m = Densidad Húmeda del espécimen compactado (gr/cm^3)
- ρ_d = Densidad Seca del espécimen compactado (gr/cm^3)
- W = Contenido de Agua (%)

Para determinación de la carga, se reemplazó con lo marcado en el dial de carga presente en la siguiente ecuación:

$$F = A0 + A1 x X + A2 x X^2 + A3 * X^3 \text{ (KN)}$$

Donde:

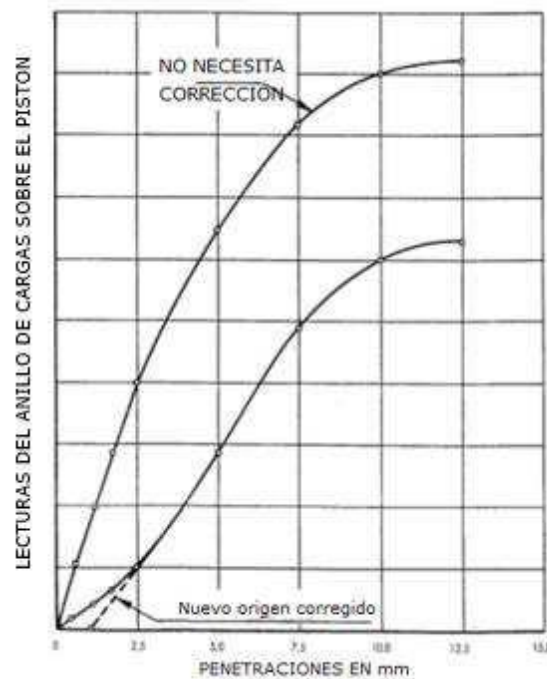
- $A0 = -0.32433$
- $A1 = 0.05875$
- $A2 = -5.69324 * E-06$
- $A3 = - 2.26861 * E-09$

Ahora, para determinar la resistencia, se reemplaza la fuerza convertida a Kg. dividida entre el área del pistón, la cual es 49.63mm.

$$\text{Esfuerzo} = \frac{F}{\text{Área del Pistón}} \text{ kg/cm}^2$$

Una vez determinados los esfuerzos para cada división del dial de carga, estas se grafican para cada molde. Dicha gráfica está en función a la penetración (mm) en el eje X y los esfuerzos (kg/cm^2) en el eje Y. Ahora, según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016) si la gráfica presenta un punto de inflexión se debe trazar una tangente en dicho punto que forma un nuevo origen para determinar los puntos correspondientes a 2.54 mm y 5.08 mm. Una vez corregida la curva, se determina la tendencia muy próxima que describa toda la curva, para este caso la curva está descrita por una línea polinómica de grado 4, con ello se pudo determinar los nuevos esfuerzos con penetraciones que se adicionaron con valor que corta con el eje x.

Figura 78. Curva para cálculo de índice de CBR



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Para el cálculo del CBR, se relaciona la carga resultante para cada punto y se relaciona con la carga patrón tomando en consideración las unidades.

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria del patrón}} \times 100$$

Donde 2.54 mm corresponde una presión patrón de 70.31 kgf/cm² y para 5.05 mm corresponde 105.46 kgf/cm².

Una vez determinado el CBR para cada molde y diferente penetración, tomamos como datos las densidades secas correspondientes a cada una y las graficamos. En otras palabras, graficamos el CBR de cada molde en el eje X y la densidad seca en el eje Y correspondiente a cada valor de penetración (2.54 mm y 5.08 mm).

Una vez graficado, determinamos la tendencia más próxima que describa la curva para cada penetración y hallamos el CBR para 100% de la densidad máxima seca y al 95% de esta.



Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) se refiere al CBR como el valor soporte o resistencia del suelo que está referido al 95% de Máxima Densidad Seca y a una penetración de 2.54mm.

Para hallar la expansión del suelo se usa la siguiente fórmula:

$$\%Expansión = \frac{L2 - L1}{Hm - Ds} \times 100$$

Donde:

- L1: Lectura inicial en mm
- L2: Lectura final en mm
- Hm: Altura del molde mm
- Ds: Disco espaciador mm



b) Diagramas o tablas

Tabla 58. Ensayo de CBR – Suelo Natural – Procesamiento de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	21/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES				
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación		Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima	1.862	Masa de la Pesa	4.57 kg N° Capas	
Contenido de Humedad Optimo	12.00	Altura de Caída	45.82cm 5	6.128 cm
N° de Capas	5			

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN) A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	Diametro del piston 49.63 mm

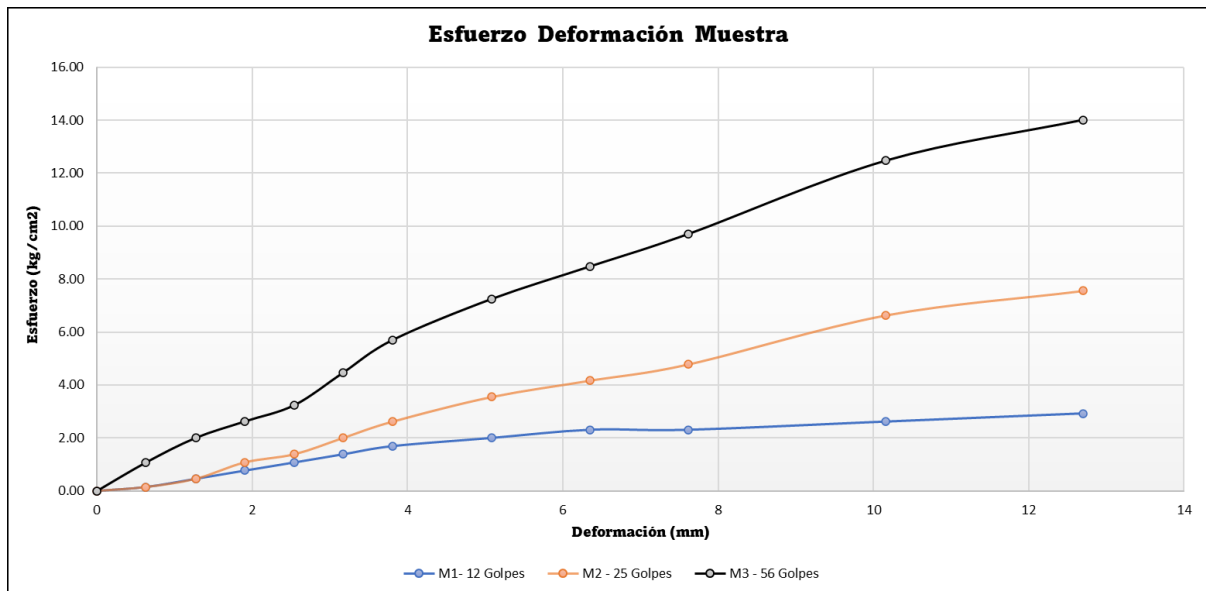
COMPACTACIÓN							
N° de Golpes por Capa	#	12	26	55			
Altura del Molde	cm	17.811	17.735	17.784			
Diametro del Molde	cm	15.286	15.286	15.242			
Volmen de molde	cm3	2144.04	2130.09	2126.78			
Peso de molde	gr	7376	7345	7388			
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado	No Saturado	No Saturado			
Peso molde + Suelo humedo	gr	11171	11391	11762			
Peso de suelo humedo	gr	3795	4046	4374			
Densidad Humeda	gr/cm3	1.77	1.90	2.06			
Tara N°	N°	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr	48.46	58.31	43.09	59.88	50.71	56.87
Tara + Suelo seco	gr	46.20	54.66	41.29	56.53	48.36	53.70
Peso de agua	gr	2.26	3.65	1.80	3.35	2.35	3.17
Peso de tara	gr	15.95	16.54	16.55	17.01	15.64	15.43
Peso de suelo seco	gr	30.25	38.12	24.74	39.52	32.72	38.27
% de humedad	%	7.47	9.58	7.28	8.48	7.18	8.28
% de humedad Promedio	%	8.52	7.88	7.73			
Densidad Seca	gr/cm3	1.631	1.761	1.909			



Tabla 59. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo Natural – Procesamiento de Datos.

PENETRACIÓN										
Penetración		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo
pulg	mm		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2
0.000	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0.00
0.025	0.63	6	2.85	0.15	6	2.85	0.15	9	20.80	1.08
0.050	1.27	7	8.84	0.46	7	8.84	0.46	12	38.73	2.00
0.075	1.9	8	14.82	0.77	9	20.80	1.08	14	50.69	2.62
0.100	2.54	9	20.80	1.08	10	26.78	1.38	16	62.63	3.24
0.125	3.17	10	26.78	1.38	12	38.73	2.00	20	86.51	4.47
0.150	3.81	11	32.76	1.69	14	50.69	2.62	24	110.38	5.71
0.200	5.08	12	38.73	2.00	17	68.61	3.55	29	140.18	7.25
0.250	6.35	13	44.71	2.31	19	80.55	4.16	33	164.00	8.48
0.300	7.62	13	44.71	2.31	21	92.48	4.78	37	187.81	9.71
0.400	10.16	14	50.69	2.62	27	128.26	6.63	46	241.30	12.47
0.500	12.7	15	56.66	2.93	30	146.14	7.55	51	270.98	14.01

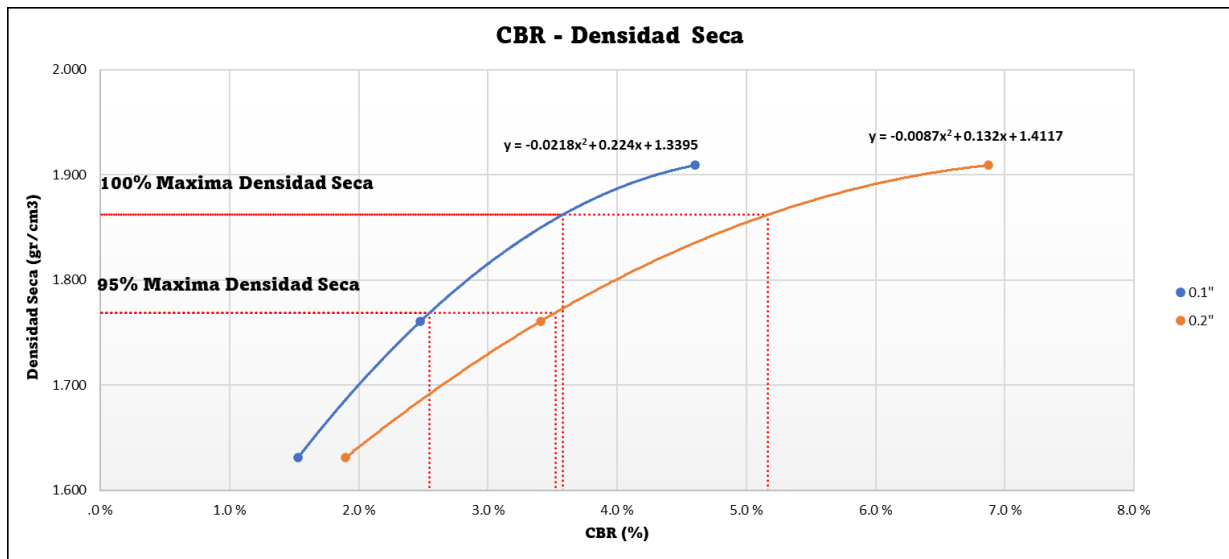
Figura 79. Gráfica Esfuerzo vs Penetración – Suelo Natural.



CBR CORREGIDO							
Penetración (mm)	Carga	MOLDE					
	Patron	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	%	Kgf/cm2	%	Kgf/cm2	%
2.54	70.31	1.08	1.53	1.74	2.48	3.24	4.60
5.08	105.46	2.00	1.90	3.59	3.41	7.25	6.87



Figura 80. Gráfica Densidad Seca vs CBR – Suelo Natural.



CBR - Densidad Seca			
Numero de Golpes	0.1"	0.2"	Densidad Seca
12	1.53 %	1.90 %	1.631
25	2.48 %	3.41 %	1.761
56	4.60 %	6.87 %	1.909
Densidad Seca Maxima		1.862	gr/cm3

CBR al 100% de la MDS	3.58	%	0.1"
CBR al 95% de la MDS	2.55	%	
CBR al 100% de la MDS	5.17	%	0.2"
CBR al 95% de la MDS	3.52	%	

Tabla 60. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo Natural – Procesamiento de Datos.

Expansión									
Tiempo Hr.	Molde Nº 01			Molde Nº 02			Molde Nº 03		
	Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	124	3.150	0.000	230	5.842	0.000	489	12.421	0.000
24	148	3.759	0.522	285	7.239	1.204	499	12.675	0.218
48	197	5.004	1.587	325	8.255	2.079	508	12.903	0.414
72	215	5.461	1.978	339	8.611	2.385	525	13.335	0.784
96	220	5.588	2.087	347	8.814	2.560	534	13.564	0.981



Tabla 61. Ensayo de CBR – Suelo + 5% Cemento – Procesamiento de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	21/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES				
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación		Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima	1.890	Masa de la Pesa	4.57 kg	
Contenido de Humedad Optimo	11.10	Nº Capas	5	
Nº de Capas	5	Altura de Caída	45.82cm	6.128 cm

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN)	Diametro del piston
	A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	49.63 mm

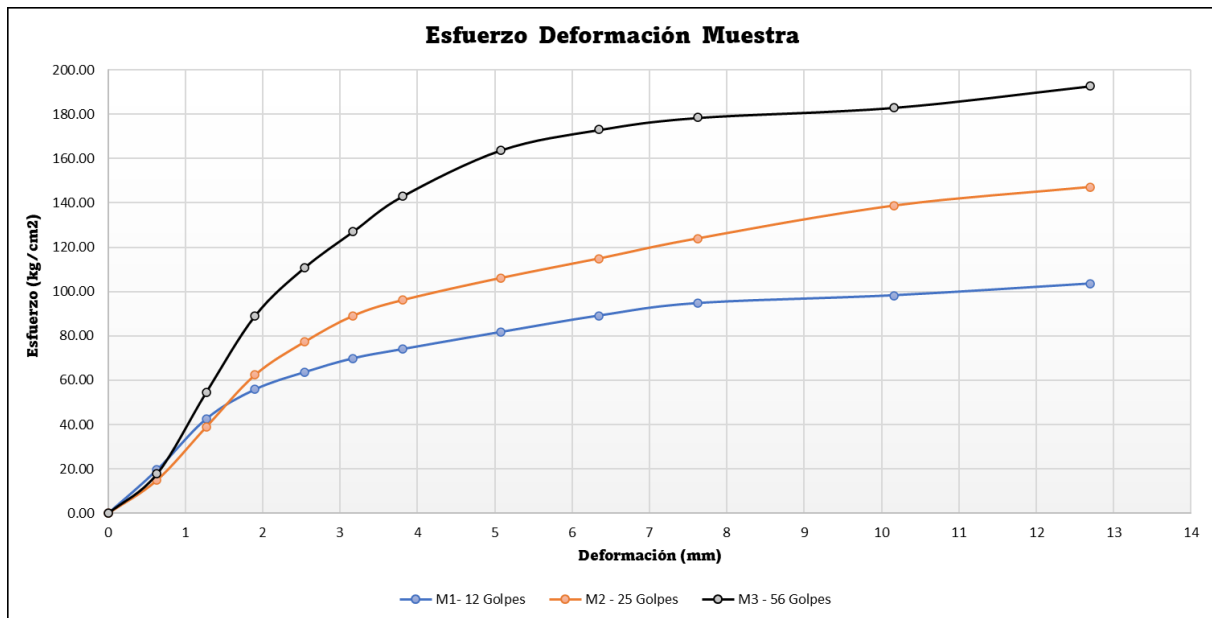
COMPACTACIÓN							
Nº de Golpes por Capa	#	12		26		55	
Altura del Molde	cm	17.786		17.802		17.758	
Diametro del Molde	cm	15.261		15.237		15.193	
Volmen de molde	cm ³	2132.46		2128.67		2108.42	
Peso de molde	gr	7354		7438		6961	
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado		No Saturado		No Saturado	
Peso molde + Suelo humedo	gr	11242		11559		11320	
Peso de suelo humedo	gr	3888		4121		4359	
Densidad Humeda	gr/cm ³	1.82		1.94		2.07	
Tara Nº	Nº	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr	46.73	57.63	51.56	62.88	53.09	61.16
Tara + Suelo seco	gr	44.25	54.01	49.02	59.26	50.29	57.71
Peso de agua	gr	2.48	3.62	2.54	3.62	2.80	3.45
Peso de tara	gr	15.92	16.60	16.62	16.69	14.98	15.54
Peso de suelo seco	gr	28.33	37.41	32.40	42.57	35.31	42.17
% de humedad	%	8.75	9.68	7.84	8.50	7.93	8.18
% de humedad Promedio	%	9.22		8.17		8.06	
Densidad Seca	gr/cm ³	1.669		1.790		1.913	



Tabla 62. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 5% Cemento – Procesamiento de Datos.

PENETRACIÓN										
Penetración		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo
pulg	mm		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2
0.000	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0.00
0.025	0.63	69	377.61	19.52	54	288.78	14.93	63	342.10	17.68
0.050	1.27	145	824.10	42.60	133	753.98	38.97	185	1056.83	54.63
0.075	1.9	189	1080.02	55.83	211	1207.32	62.41	301	1723.88	89.11
0.100	2.54	215	1230.42	63.60	261	1495.10	77.28	375	2144.05	110.83
0.125	3.17	236	1351.47	69.86	301	1723.88	89.11	431	2459.65	127.14
0.150	3.81	250	1431.97	74.02	325	1860.57	96.18	486	2767.90	143.08
0.200	5.08	276	1581.04	81.73	359	2053.52	106.15	558	3169.24	163.82
0.250	6.35	301	1723.88	89.11	389	2223.13	114.92	590	3346.94	173.01
0.300	7.62	320	1832.13	94.71	420	2397.81	123.95	609	3452.28	178.45
0.400	10.16	332	1900.36	98.23	471	2683.99	138.74	625	3540.90	183.04
0.500	12.7	350	2002.52	103.51	500	2846.12	147.12	659	3728.97	192.76

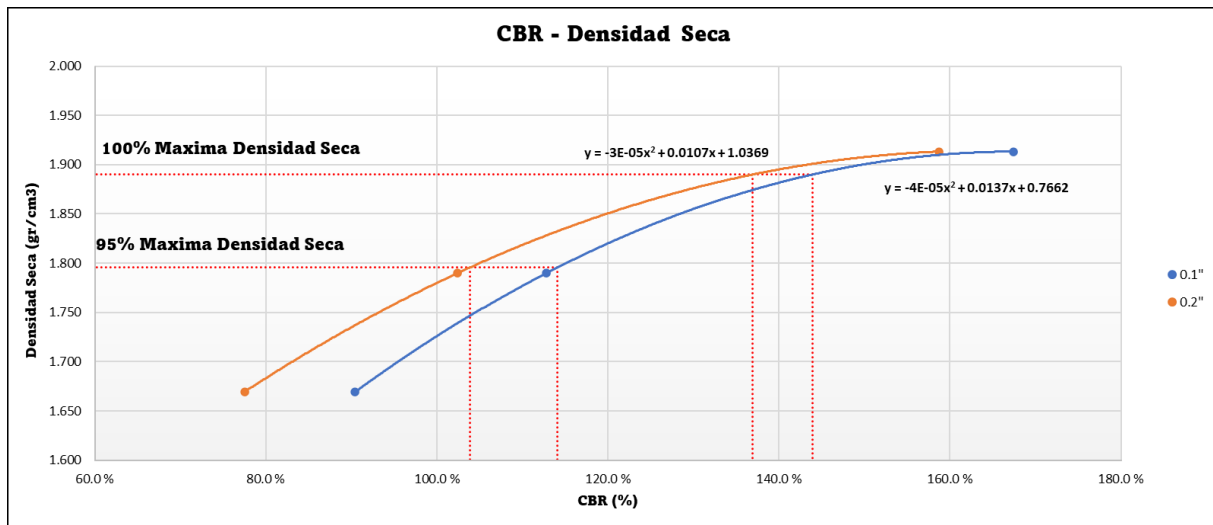
Figura 81. Gráfica Esfuerzo vs Penetración – Suelo + 5% Cemento.



CBR CORREGIDO							
Penetración (mm)	Carga	MOLDE					
	Patron	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	%	Kgf/cm2	%	Kgf/cm2	%
2.54	70.31	63.60	90.46	79.28	112.76	117.73	167.45
5.08	105.46	81.73	77.50	107.97	102.38	167.39	158.73



Figura 82. Gráfica Densidad Seca vs CBR – Suelo + 5% Cemento.



CBR - Densidad Seca			
Numero de Golpes	0.1"	0.2"	Densidad Seca
12	90.46 %	77.50 %	1.669
25	112.76 %	102.38 %	1.790
56	167.45 %	158.73 %	1.913
Densidad Seca Maxima		1.89	gr/cm3

CBR al 100% de la MDS	136.95	%	0.2"
CBR al 95% de la MDS	103.84	%	
CBR al 100% de la MDS	143.94	%	0.1"
CBR al 95% de la MDS	114.07	%	

Tabla 63. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 5% Cemento – Procesamiento de Datos.

Tiempo Hr.	Expansión								
	Molde Nº 01			Molde Nº 02			Molde Nº 03		
	Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	81	2.057	0.000	198	5.029	0.000	178	4.521	0.000
24	96	2.438	0.327	209	5.309	0.239	185	4.699	0.153
48	106	2.692	0.545	215	5.461	0.370	193	4.902	0.328
72	115	2.921	0.741	228	5.791	0.653	210	5.334	0.699
96	126	3.200	0.980	236	5.994	0.827	215	5.461	0.808



Tabla 64. Ensayo de CBR – Suelo + 7% Cemento – Procesamiento de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	26/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES				
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación		Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima	1.8978	Masa de la Pesa	4.57 kg	
Contenido de Humedad Optimo	13.00	Altura de Caída	45.82cm	
N° de Capas	5	N° Capas	5	6.128 cm

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN)	Diametro del piston
	A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	49.63 mm

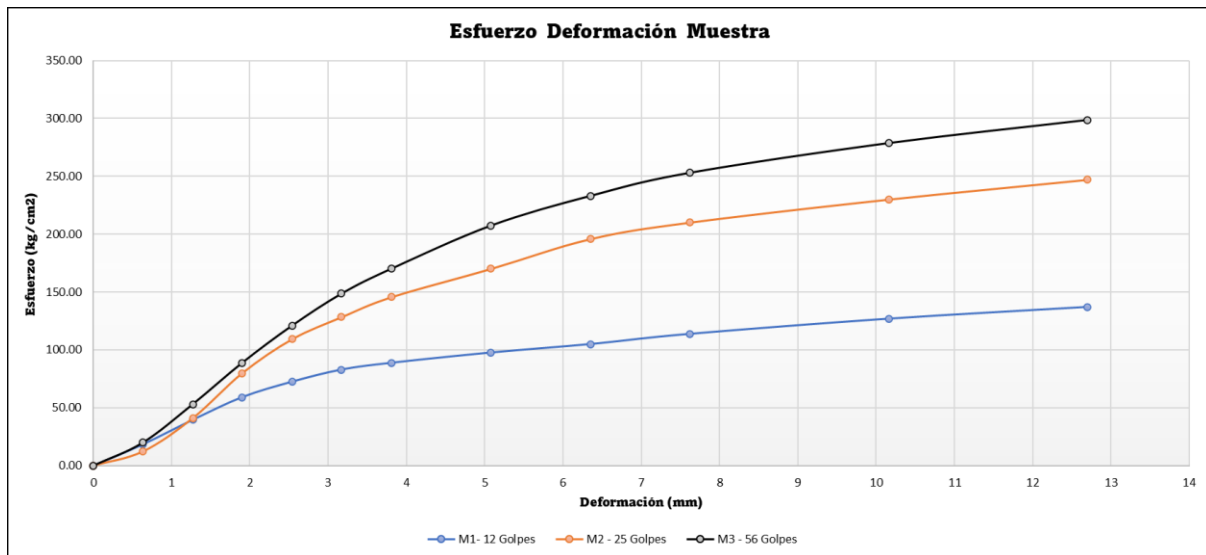
COMPACTACIÓN							
N° de Golpes por Capa	#	12		26		55	
Altura del Molde	cm	17.811		17.735		17.784	
Diametro del Molde	cm	15.286		15.286		15.242	
Volmen de molde	cm ³	2144.04		2130.09		2126.78	
Peso de molde	gr	7374		7344		7388	
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado		No Saturado		No Saturado	
Peso molde + Suelo humedo	gr	11330		11546		11825	
Peso de suelo humedo	gr	3956		4202		4437	
Densidad Humeda	gr/cm ³	1.85		1.97		2.09	
Tara N°	N°	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr	50.34	52.02	55.84	58.72	54.51	55.56
Tara + Suelo seco	gr	47.27	48.89	52.35	54.95	51.43	52.25
Peso de agua	gr	3.07	3.13	3.49	3.77	3.08	3.31
Peso de tara	gr	15.33	16.32	16.71	15.21	16.10	16.36
Peso de suelo seco	gr	31.94	32.57	35.64	39.74	35.33	35.89
% de humedad	%	9.61	9.61	9.79	9.49	8.72	9.22
% de humedad Promedio	%	9.61		9.64		8.97	
Densidad Seca	gr/cm ³	1.683		1.799		1.915	



Tabla 65. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 7% Cemento – Procesamiento de Datos.

PENETRACIÓN										
Penetración		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo
pulg	mm		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2		Kgf	kg/cm2
0.000	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0.00
0.025	0.63	65	353.94	18.30	45	235.36	12.17	70	383.52	19.82
0.050	1.27	135	765.68	39.58	140	794.90	41.09	180	1027.82	53.13
0.075	1.9	200	1143.72	59.12	270	1546.68	79.95	300	1718.17	88.82
0.100	2.54	245	1403.24	72.54	370	2115.78	109.37	410	2341.52	121.04
0.125	3.17	280	1603.92	82.91	435	2482.13	128.31	505	2874.04	148.56
0.150	3.81	300	1718.17	88.82	495	2818.20	145.68	580	3291.45	170.14
0.200	5.08	330	1888.99	97.65	580	3291.45	170.14	710	4010.56	207.31
0.250	6.35	355	2030.86	104.98	670	3789.75	195.90	800	4506.48	232.95
0.300	7.62	385	2200.55	113.75	720	4065.71	210.16	870	4891.87	252.87
55.560	10.16	430	2454.03	126.85	790	4451.42	230.10	960	5387.76	278.50
0.500	12.7	465	2650.39	137.00	850	4781.76	247.18	1030	5774.36	298.49

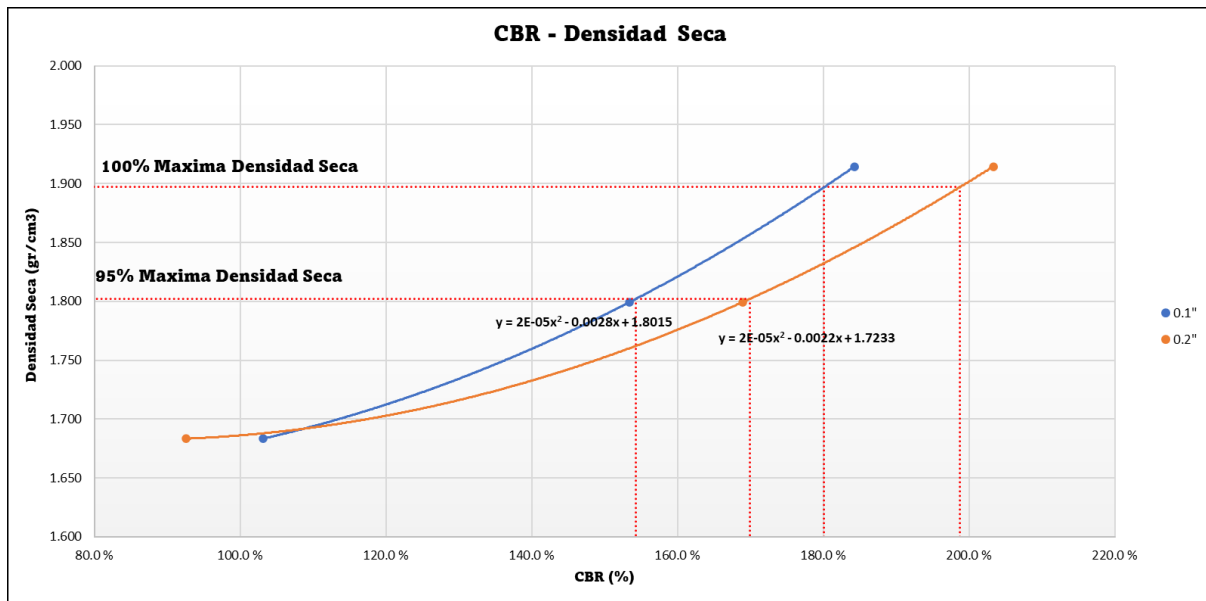
Figura 83. Gráfica Esfuerzo vs Penetración – Suelo + 7% Cemento.



CBR CORREGIDO							
Penetración (mm)	Carga	MOLDE					
	Patron	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	%	Kgf/cm2	%	Kgf/cm2	%
2.54	70.31	72.54	103.17	107.87	153.42	129.59	184.31
5.08	105.46	97.65	92.59	178.15	168.92	214.43	203.33



Figura 84. Gráfica Densidad Seca vs CBR – Suelo + 7% Cemento.



CBR - Densidad Seca			
Numero de Golpes	0.1"	0.2"	Densidad Seca
12	103.17 %	92.59 %	1.683
25	153.42 %	168.92 %	1.799
56	184.31 %	203.33 %	1.915
Densidad Seca Maxima		1.897	gr/cm³

CBR al 100% de la MDS	180.14	%	0.1"
CBR al 95% de la MDS	154.32	%	
CBR al 100% de la MDS	198.77	%	0.2"
CBR al 95% de la MDS	169.96	%	

Tabla 66. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 7% Cemento – Procesamiento de Datos.

Expansión									
Tiempo Hr.	Molde Nº 01			Molde Nº 02			Molde Nº 03		
	Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	148	3.759	0.000	267	6.782	0.000	522	13.259	0.000
24	151	3.835	0.065	269	6.833	0.044	525	13.335	0.065
48	154	3.912	0.130	270	6.858	0.066	528	13.411	0.131
72	157	3.988	0.196	271	6.883	0.088	528	13.411	0.131
96	157	3.988	0.196	272	6.909	0.109	528	13.411	0.131



Tabla 67. Ensayo de CBR – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel– Procesamiento de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	26/04/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES				
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación		Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima	1.867	Masa de la Pesa	4.57 kg	
Contenido de Humedad Optimo	13.50	Altura de Caída	45.82cm	
N° de Capas	5	N° Capas	5	6.128 cm

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN)	Diametro del piston
	A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	49.63 mm

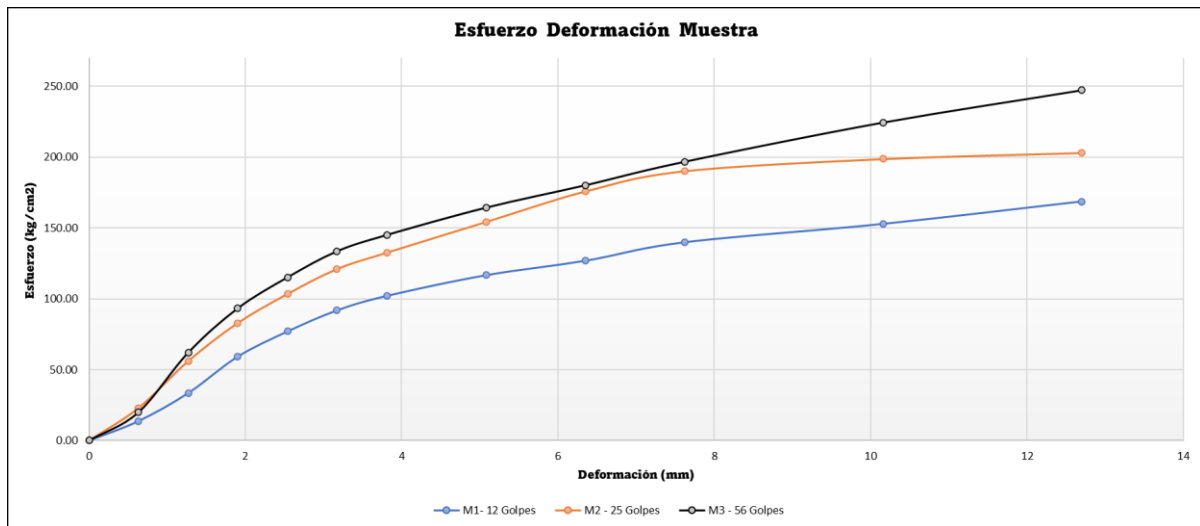
COMPACTACIÓN							
N° de Golpes por Capa	#	12		26		55	
Altura del Molde	cm	17.786		17.802		17.758	
Diametro del Molde	cm	15.261		15.237		15.193	
Volmen de molde	cm ³	2132.46		2128.67		2108.42	
Peso de molde	gr	7352		7436		6958	
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado		No Saturado		No Saturado	
Peso molde + Suelo humedo	gr	11457		11840		11498	
Peso de suelo humedo	gr	4105		4404		4540	
Densidad Humeda	gr/cm ³	1.93		2.07		2.15	
Tara N°	N°	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr	50.73	56.83	54.61	58.42	72.13	66.07
Tara + Suelo seco	gr	47.14	52.82	50.34	53.43	66.36	61.12
Peso de agua	gr	3.59	4.01	4.27	4.99	5.77	4.95
Peso de tara	gr	14.92	16.10	14.99	15.55	16.53	15.56
Peso de suelo seco	gr	32.22	36.72	35.35	37.88	49.83	45.56
% de humedad	%	11.14	10.92	12.08	13.17	11.58	10.86
% de humedad Promedio	%	11.03		12.63		11.22	
Densidad Seca	gr/cm ³	1.734		1.837		1.936	



Tabla 68. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel – Procesamiento de Datos.

PENETRACIÓN										
Penetración		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Dial	Carga Kgf	Esfuerzo kg/cm2	Dial	Carga Kgf	Esfuerzo kg/cm2	Dial	Carga Kgf	Esfuerzo kg/cm2
pulg	mm									
0.000	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0.00
0.025	0.63	50	265.05	13.70	80	442.60	22.88	70	383.52	19.82
0.050	1.27	115	648.55	33.52	190	1085.81	56.13	210	1201.54	62.11
0.075	1.9	200	1143.72	59.12	280	1603.92	82.91	315	1803.67	93.23
0.100	2.54	260	1489.36	76.99	350	2002.52	103.51	390	2228.77	115.21
0.125	3.17	310	1775.19	91.76	410	2341.52	121.04	453	2583.15	133.53
0.150	3.81	345	1974.16	102.05	450	2566.32	132.66	493	2807.02	145.10
0.200	5.08	395	2256.98	116.67	525	2985.58	154.33	560	3180.36	164.40
0.250	6.35	430	2454.03	126.85	600	3402.40	175.88	615	3485.52	180.17
0.300	7.62	475	2706.38	139.90	650	3679.22	190.19	673	3806.33	196.76
0.400	10.16	520	2957.71	152.89	680	3844.99	198.75	770	4341.27	224.41
0.500	12.7	575	3263.69	168.71	695	3927.80	203.03	850	4781.76	247.18

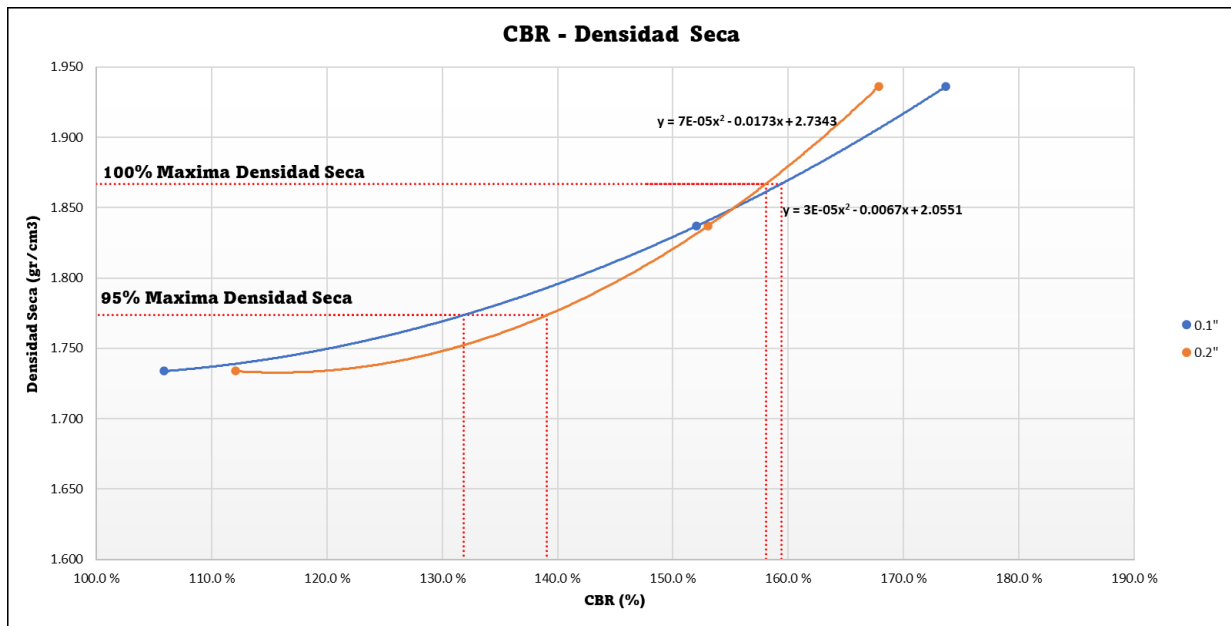
Figura 85. Gráfica Esfuerzo vs Penetración – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel.



CBR CORREGIDO							
Penetración (mm)	Carga	MOLDE					
	Patron	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	%	Kgf/cm2	%	Kgf/cm2	%
2.54	70.31	74.45	105.88	106.90	152.05	122.10	173.65
5.08	105.46	118.22	112.10	161.39	153.03	177.00	167.84



Figura 86. Gráfica Densidad Seca vs CBR – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel.



CBR - Densidad Seca			
Numero de Golpes	0.1"	0.2"	Densidad Seca
12	105.88 %	112.10 %	1.734
25	152.05 %	153.03 %	1.837
56	173.65 %	167.84 %	1.936
Densidad Seca Maxima		1.867	gr/cm3

CBR al 100% de la MDS	158.07	%	0.2"
CBR al 95% de la MDS	139.09	%	
CBR al 100% de la MDS	159.39	%	0.1"
CBR al 95% de la MDS	131.86	%	

Tabla 69. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 5% Cemento + Hidrogel – Procesamiento de Datos.

Expansión									
Tiempo Hr.	Molde Nº 01			Molde Nº 02			Molde Nº 03		
	Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	114	2.896	0.000	223	5.664	0.000	198	5.029	0.000
24	115	2.921	0.022	224	5.690	0.022	198	5.029	0.000
48	115	2.921	0.022	225	5.715	0.044	200	5.080	0.044
72	117	2.972	0.065	226	5.740	0.065	201	5.105	0.066
96	118	2.997	0.087	228	5.791	0.109	202	5.131	0.087



Tabla 70. Ensayo de CBR – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel– Procesamiento de Datos.



INFLUENCIA DEL HIDROGEL COMO SUSTITUTO DEL AGUA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UN SUELO OBTENIDO EN LA APV. SACSACCATA – SAN SEBASTIÁN ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP A NIVEL DE SUBRASANTE – 2022

Ensayo :	Ensayo de CBR
Referencia:	MTC E 132 CBR de Suelos
Fecha:	1/05/2022
Tesista:	Luis Enrique Bravo Humpire

DATOS PRELIMINARES				
Datos del Proctor Modificado		Energía de Compactación		Disco Espaciador
Densidad Seca Maxima	1.88	Masa de la Pesa	4.57 kg	
Contenido de Humedad Optimo	13.20	Altura de Caída	45.82cm	
N° de Capas	5	N° Capas	5	6.128 cm

Datos del Equipo de Penetración		
Constante del anillo de Carga	$F = A0 + A1 * X^1 + A2 * X^2 + A3 * X^3$ (KN)	Diametro del piston
	A= - 0.32433 A1 = 0.05875 A2= -5.69324*E-06 A3= - 2.26861*E-09	49.63 mm

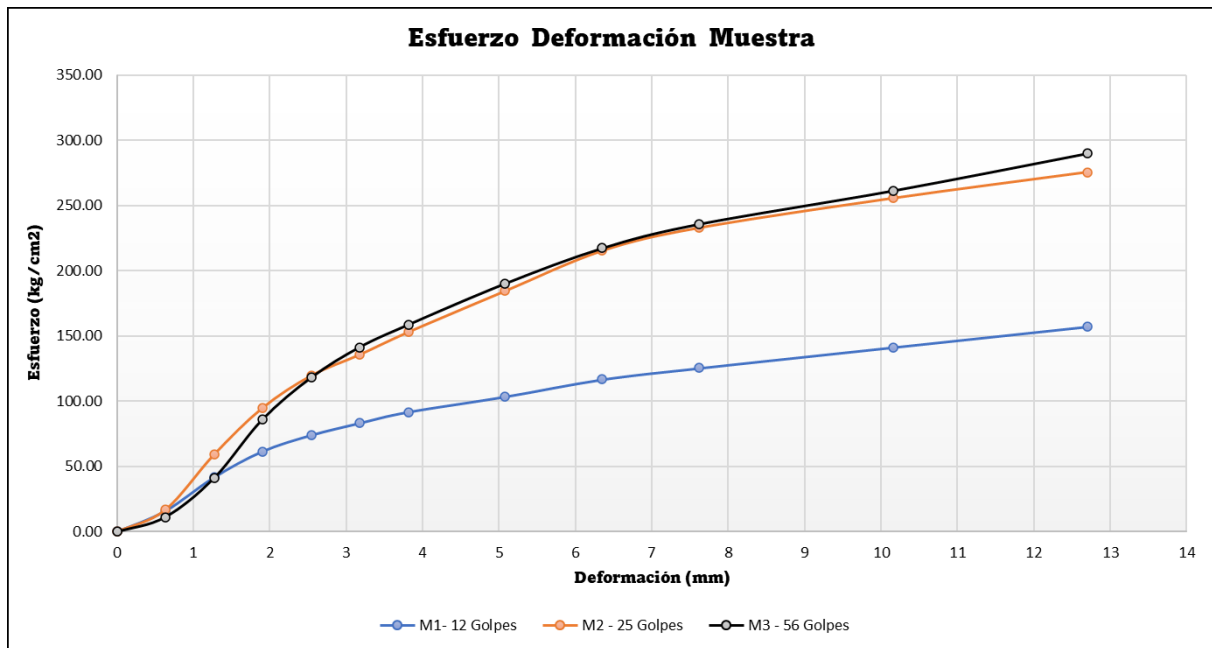
COMPACTACIÓN							
N° de Golpes por Capa	#	12		26		55	
Altura del Molde	cm	17.811		17.735		17.784	
Diametro del Molde	cm	15.286		15.286		15.242	
Volmen de molde	cm ³	2144.04		2130.09		2126.78	
Peso de molde	gr	7374		7344		7387	
CONDICION DE LA MUESTRA		No Saturado		No Saturado		No Saturado	
Peso molde + Suelo humedo	gr	11392		11642		11814	
Peso de suelo humedo	gr	4018		4298		4427	
Densidad Humeda	gr/cm ³	1.87		2.02		2.08	
Tara N°	N°	1	2	4	5	7	8
Tara + Suelo húmedo	gr	53.07	56.24	56.42	65.36	62.65	74.55
Tara + Suelo seco	gr	49.48	52.42	52.77	60.92	58.34	69.43
Peso de agua	gr	3.59	3.82	3.65	4.44	4.31	5.12
Peso de tara	gr	15.50	15.44	15.89	15.71	15.94	16.71
Peso de suelo seco	gr	33.98	36.98	36.88	45.21	42.40	52.72
% de humedad	%	10.57	10.33	9.90	9.82	10.17	9.71
% de humedad Promedio	%	10.45		9.86		9.94	
Densidad Seca	gr/cm ³	1.697		1.837		1.893	



Tabla 71. Ensayo de CBR – Ensayo de Penetración – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel – Procesamiento de Datos.

PENETRACIÓN										
Penetración		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo	Dial	Carga	Esfuerzo
pulg	mm		Kgf	kg/cm ²		Kgf	kg/cm ²		Kgf	kg/cm ²
0.000	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0.00
0.025	0.63	57	306.56	15.85	60	324.34	16.77	42	217.54	11.24
0.050	1.27	142	806.58	41.69	200	1143.72	59.12	140	794.90	41.09
0.075	1.9	208	1189.99	61.51	320	1832.13	94.71	290	1661.09	85.86
0.100	2.54	250	1431.97	74.02	405	2313.36	119.58	400	2285.18	118.12
0.125	3.17	281	1609.64	83.21	460	2622.38	135.56	480	2734.35	141.34
0.150	3.81	310	1775.19	91.76	520	2957.71	152.89	540	3069.12	158.65
0.200	5.08	350	2002.52	103.51	630	3568.58	184.47	650	3679.22	190.19
0.250	6.35	395	2256.98	116.67	738	4164.95	215.29	745	4203.53	217.29
0.300	7.62	425	2425.93	125.40	800	4506.48	232.95	810	4561.54	235.79
0.400	10.16	480	2734.35	141.34	880	4946.93	255.72	900	5057.07	261.41
0.500	12.7	535	3041.28	157.21	950	5332.61	275.65	1000	5608.54	289.92

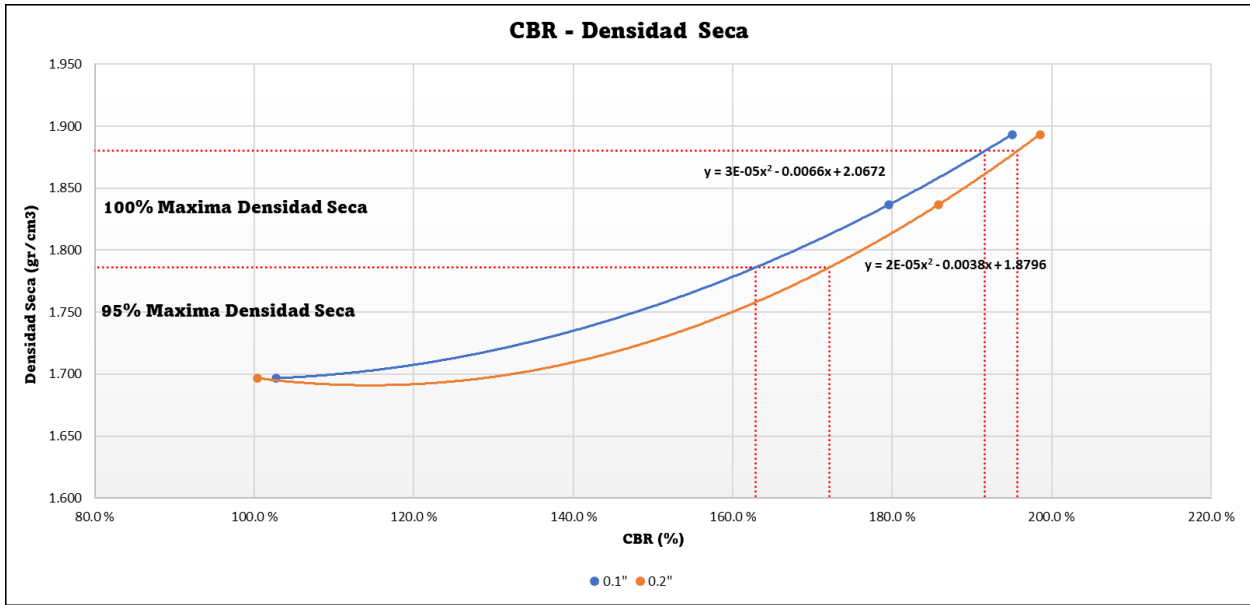
Figura 87. Gráfica Esfuerzo vs Penetración – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel.



CBR CORREGIDO							
Penetración (mm)	Carga	MOLDE					
	Patron	1		2		3	
	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	%	Kgf/cm ²	%	Kgf/cm ²	%
2.54	70.31	72.25	102.76	126.28	179.60	137.13	195.04
5.08	105.46	105.90	100.41	195.95	185.81	209.38	198.54



Figura 88. Gráfica Densidad Seca vs CBR – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel.



CBR - Densidad Seca			
Numero de Golpes	0.1"	0.2"	Densidad Seca
12	102.76 %	100.41 %	1.697
25	179.60 %	185.81 %	1.837
56	195.04 %	198.54 %	1.893
Densidad Seca Maxima		1.880	gr/cm³

CBR al 100% de la MDS	195.72	%	0.2"
CBR al 95% de la MDS	172.09	%	
CBR al 100% de la MDS	191.62	%	0.1"
CBR al 95% de la MDS	162.85	%	

Tabla 72. Ensayo de CBR – Expansión – Suelo + 7% Cemento + Hidrogel – Procesamiento de Datos.

Expansión									
Tiempo Hr.	Molde Nº 01			Molde Nº 02			Molde Nº 03		
	Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento		Dial *0.001	Hinchamiento	
		mm	%		mm	%		mm	%
0	150	3.810	0.000	271	6.883	0.000	521	13.233	0.000
24	152	3.861	0.043	271	6.883	0.000	521	13.233	0.000
48	153	3.886	0.065	272	6.909	0.022	522	13.259	0.022
72	153	3.886	0.065	272	6.909	0.022	523	13.284	0.044
96	153	3.886	0.065	273	6.934	0.044	523	13.284	0.044



c) Análisis de la prueba

El mayor CBR que se logró fue con la adición del 7% de cemento e hidrogel logrando un CBR de 162.85%. Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016) contempla rangos de CBR para la categorización de estas para el uso en una Subrasante; en este caso el CBR para un suelo natural corresponde a una “Subrasante Inadecuada” y al ser estabilizada con cemento e hidrogel pasa a ser una “Subrasante Excelente” logrando valores superiores a 100%.

Tabla 73. Categorías de Subrasante según el MTC.

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

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Así mismo, hay una clara tendencia de incremento de CBR con la adición de cemento al 5% y 7% teniendo como valor máximo 154.56% de CBR. De igual manera, para la adición del hidrogel los valores presentan un sesgo al alza, siendo el mayor de 162.85% de índice de CBR.

Para el caso de la expansión del suelo se redujo considerablemente en proporción a la adición de cemento 5% y 7%, de igual manera, al agregarle hidrogel este se redujo aún más, pero en menor medida.



3.6.10. Análisis Económico

a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Para el cálculo de la cantidad en los análisis de precios unitarios

$$Cantidad = \frac{Cuadrilla \times Jornada \text{ de } 8 \text{ horas}}{Rendimiento}$$

En primer lugar, determinamos la cantidad de suelo a estabilizar que esta en función al largo, ancho, densidad y espesor del tramo patrón.

Luego hallamos la cantidad de cemento necesario para los distintos porcentajes ya sea 5% y 7% en función a la cantidad total de suelo, esto da como resultado en kg. de cemento, a su vez lo convertimos a bolsas donde (42.5kg = 1bol.). Por último realizamos una regla de tres para determinar la cantidad de cemento en bolsas por cada m².

Con respecto al agua, primero determinamos la cantidad necesaria, la cual depende del contenido de humedad óptimo (CHO) el cual es diferente para cada tipo de muestra y que está en función al peso total de suelo. El valor que da como resultado lo convertimos a m³ (1000lt = 1m³) por último, hacemos una regla de tres para determinar el agua necesaria para un m².

Para el caso del hidrogel, teniendo como dato el agua necesaria por m². Realizamos una regla de tres, donde cada 300ml de agua es necesario la adición de 1gr de hidrogel y a su vez lo convertimos a bolsas donde (100kg = 1bol.)



b) Diagrama o Tablas

*Figura 89. Análisis de Precios Unitarios para un Suelo Estabilizado al 5% de cemento -
Procesamiento de Datos.*

Partida ESTABILIZACIÓN CON 5% DE CEMENTO h=0.30 m						
Rendimiento	m2/día	800.000	Costo unitario directo : m2			15.29
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0100	20.97	0.21
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0200	15.86	0.32
0.53						
Materiales						
0101010006	AGUA	m3		0.0496	2.00	0.10
0101010002	CEMENTO (42.5 kg)	Bol		0.5257	22.46	11.81
11.91						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.27	0.03
0301010057	MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	0.5000	0.0050	197.3700	0.99
0301010058	CARGADOR SOBRE LLANTAS 100-125 HP	hm	1.0000	0.0100	184.3500	1.84
2.86						
Partida PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTADO DE LA SUBRASANTE						
Rendimiento	m2/día	700.000	Costo unitario directo : m2			4.54
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0114	20.97	0.24
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0114	15.86	0.18
0.42						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.27	0.02
0301010060	CAMIÓN CISTERNA (2500 GLNS.)	hm	0.5000	0.0057	110.6800	0.63
0301010061	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP. 7-9 Ton	hm	1.0000	0.0114	165.3500	1.89
0301010059	MOTONIVELADORA 130-135 HP	hm	0.7500	0.0086	184.3500	1.58
4.12						

Fuente: Adaptada de (Castillo Gonzales, 2021)



*Figura 90. Análisis de Precios Unitarios para un Suelo Estabilizado al 7% de cemento -
Procesamiento de Datos.*

Partida ESTABILIZACIÓN CON 7% DE CEMENTO h=0.30 m						
Rendimiento	m2/día	800.000		Costo unitario directo : m2		20.03
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0100	20.97	0.21
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0200	15.86	0.32
0.53						
Materiales						
0101010006	AGUA	m3		0.0581	2.00	0.12
0101010002	CEMENTO (42.5 kg)	Bol		0.7360	22.46	16.53
16.65						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.27	0.03
0301010057	MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	0.5000	0.0050	197.3700	0.99
0301010058	CARGADOR SOBRE LLANTAS 100-125 HP	hm	1.0000	0.0100	184.3500	1.84
2.86						
Partida PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTADO DE LA SUBRASANTE						
Rendimiento	m2/día	700.000		Costo unitario directo : m2		4.80
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0114	20.97	0.24
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0114	15.86	0.18
0.42						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.27	0.02
0301010060	CAMIÓN CISTERNA (2500 GLNS.)	hm	0.7000	0.0080	110.6800	0.89
0301010061	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP. 7-9 Ton	hm	1.0000	0.0114	165.3500	1.89
0301010059	MOTONIVELADORA 130-135 HP	hm	0.7500	0.0086	184.3500	1.58
4.38						

Fuente: Adaptada de (Castillo Gonzales, 2021)



Figura 91. Análisis de Precios Unitarios para un Suelo Estabilizado al 5% de cemento + Hidrogel - Procesamiento de Datos.

ESTABILIZACIÓN CON 5% DE CEMENTO + HIDROGEL h=0.30 m						
Partida	Rendimiento		Costo unitario directo : m2			23.34
	m2/día	800.000				
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0100	20.97	0.21
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0200	15.86	0.32
0.53						
Materiales						
0101010008	HIDROGEL (100 kg)	Bol		0.0020	3,813.56	7.67
0101010002	CEMENTO (42.5 kg)	Bol		0.5257	22.46	11.81
0101010006	AGUA	m3		0.0603	2.00	0.12
19.60						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.27	0.03
0301010057	MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	0.5000	0.0050	197.3700	0.99
0301010062	VOLQUETE	hm	0.2000	0.0020	180.0000	0.36
0301010058	CARGADOR SOBRE LLANTAS 100-125 HP	hm	1.0000	0.0100	184.3500	1.84
3.22						
Partida						
PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTADO DE LA SUBRASANTE						
Partida	Rendimiento		Costo unitario directo : m2			3.91
	m2/día	700.000				
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0114	20.97	0.24
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0114	15.86	0.18
0.42						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.27	0.02
0301010061	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP. 7-9 Ton	hm	1.0000	0.0114	165.3500	1.89
0301010059	MOTONIVELADORA 130-135 HP	hm	0.7500	0.0086	184.3500	1.58
3.49						

Fuente: Adaptada de (Castillo Gonzales, 2021)



Figura 92. Análisis de Precios Unitarios para un Suelo Estabilizado al 7% de cemento + Hidrogel - Procesamiento de Datos.

Partida ESTABILIZACIÓN CON 7% DE CEMENTO + HIDROGEL h=0.30 m						
Rendimiento	m2/día	800.000	Costo unitario directo : m2			27.89
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0100	20.97	0.21
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0200	15.86	0.32
0.53						
Materiales						
0101010008	HIDROGEL	Bol		0.0020	3,813.56	7.50
0101010002	CEMENTO (42.5 kg)	Bol		0.7360	22.46	16.53
0101010006	AGUA	m3		0.0590	2.00	0.12
24.15						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.27	0.03
0301010057	MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	0.5000	0.0050	197.3700	0.99
0301010062	VOLQUETE	hm	0.2000	0.0020	180.0000	0.36
0301010058	CARGADOR SOBRE LLANTAS 100-125 HP	hm	1.0000	0.0100	184.3500	1.84
3.22						
Partida PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTADO DE LA SUBRASANTE						
Rendimiento	m2/día	700.000	Costo unitario directo : m2			3.91
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0114	20.97	0.24
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0114	15.86	0.18
0.42						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.27	0.02
0301010061	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP. 7-9 Ton	hm	1.0000	0.0114	165.3500	1.89
0301010059	MOTONIVELADORA 130-135 HP	hm	0.7500	0.0086	184.3500	1.58
3.49						

Fuente: Adaptada de (Castillo Gonzales, 2021)

c) Análisis de la Prueba

Los datos obtenidos como rendimiento y precios de mano de obra fueron tomados como referencia de investigaciones relacionadas a la estabilización de suelos con cemento (Castillo Gonzales, 2021), a excepción de las cantidades y precios de los materiales que involucran esta investigación.

Dicho lo anterior, observando las variaciones de precios en los materiales estos se incrementan a medida de la adición de cemento, comenzando en S/11.91 por m2 para 5% de cemento y S/16.65 por m2 para 7% de cemento. Para el caso de la adición del hidrogel, pasa algo diferente, tomando en cuenta que por si se adiciona un material nuevo que es el hidrogel, incrementando más el costo de los materiales S/19.60 por m2 para 5% de cemento con hidrogel y S/ 24.15 por m2 para 7% de cemento con hidrogel, la diferencia radica dentro de los equipos donde el



“camión cisterna” es removido, ya que la aplicación del hidrogel en el suelo se hace de manera hidrata reemplazando el agua en su estado líquido a solida (gel); por lo que el “camión cisterna” es reemplazado por “volquete” debido a la necesidad de transporte del hidrogel hidratado, que será vertido después del mezclado del suelo con el cemento. El costo para equipos de estabilización pasa de S/ 2.86 a S/ 3.22 por m², debido a la adición un equipo mencionado anteriormente, así mismo en el costo de maquinaria para compactación aumenta de S/ 4.12 a S/ 4.38 para 5% y 7% de cemento debido a la diferencia del contenido de humedad, lo cual no ocurre con el hidrogel puesto que los contenidos de humedad son muy próximos.

Figura 93. Presupuestos de cada tipo de muestra.

PRESUPUESTO RESUMEN - ESTABILIZADO CON CEMENTO AL 5%					
ITEM	Descripción	UND	METRADO	P.U. S/.	PARCIAL
01	ESTABILIZACIÓN CON 5% DE CEMENTO h=0.30 m	m2	220	15.29	3364.01
02	PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTADO DE LA SUBRASANTE	m2	220	4.54	999.74
SUB TOTAL					4363.75
				IGV 18%	24243.05
COSTO TOTAL					S/ 28,606.80

PRESUPUESTO RESUMEN - ESTABILIZADO CON CEMENTO AL 7%					
ITEM	Descripción	UND	METRADO	P.U. S/.	PARCIAL
01	ESTABILIZACIÓN CON 5% DE CEMENTO h=0.30 m	m2	220	20.03	4406.86
02	PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTADO DE LA SUBRASANTE	m2	220	4.80	1055.40
SUB TOTAL					5462.26
				IGV 18%	30345.88
COSTO TOTAL					S/ 35,808.14

PRESUPUESTO RESUMEN - ESTABILIZADO CON CEMENTO AL 5% + Hidrogel					
ITEM	Descripción	UND	METRADO	P.U. S/.	PARCIAL
01	ESTABILIZACIÓN CON 5% DE CEMENTO h=0.30 m	m2	220	23.34	5135.09
02	PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTADO DE LA SUBRASANTE	m2	220	3.91	860.60
SUB TOTAL					5995.69
				IGV 18%	33309.39
COSTO TOTAL					S/ 39,305.07

PRESUPUESTO RESUMEN - ESTABILIZADO CON CEMENTO AL 7% + Hidrogel					
ITEM	Descripción	UND	METRADO	P.U. S/.	PARCIAL
01	ESTABILIZACIÓN CON 5% DE CEMENTO h=0.30 m	m2	220	27.89	6136.12
02	PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTADO DE LA SUBRASANTE	m2	220	3.91	860.60
SUB TOTAL					6996.72
				IGV 18%	38870.69
COSTO TOTAL					S/ 45,867.41

Fuente: Propia.



Capítulo IV: Resultados

4.1. Compactación de Suelos en Laboratorio (Proctor Modificado)

Tabla 74. Resumen de Resultados de los Ensayos de Proctor Modificado.

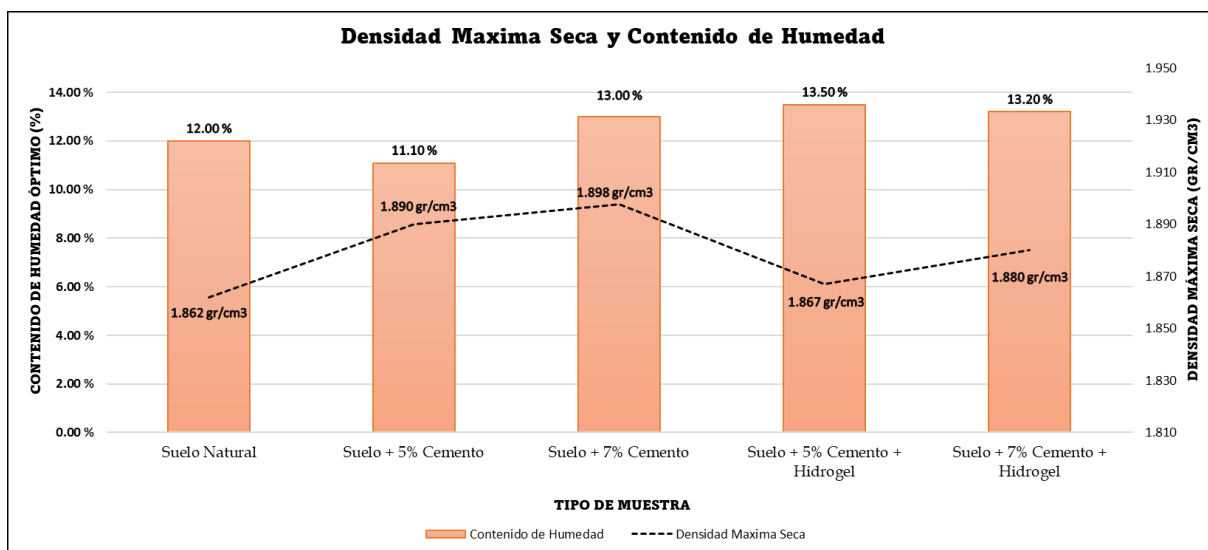
Muestras	Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	Contenido de Humedad %
Suelo Natural	1.862	12.00
Suelo + 5% Cemento	1.890	11.10
Suelo + 7% Cemento	1.898	13.00
Suelo + 5% Cemento + Hidrogel	1.867	13.50
Suelo + 7% Cemento + Hidrogel	1.880	13.20

Fuente: Propia.

La densidad máxima seca tiene una clara tendencia alcista con la adición del cemento con respecto al suelo natural, de igual manera con la adición del hidrogel se presenta una tendencia de aumento, pero si nos referimos a los valores, estos en inferiores a comparación del suelo con cemento sin hidrogel.

Para el caso de la humedad óptima, presenta una tendencia en aumento por el incremento del cemento portland tipo IP en 5% y 7%. A su vez, con la adición del hidrogel los valores son superiores con respecto al suelo cemento, pero se mantienen en el rango de 13% - 14%.

Figura 94. Gráfica de Resultados de Ensayo Proctor Modificado.



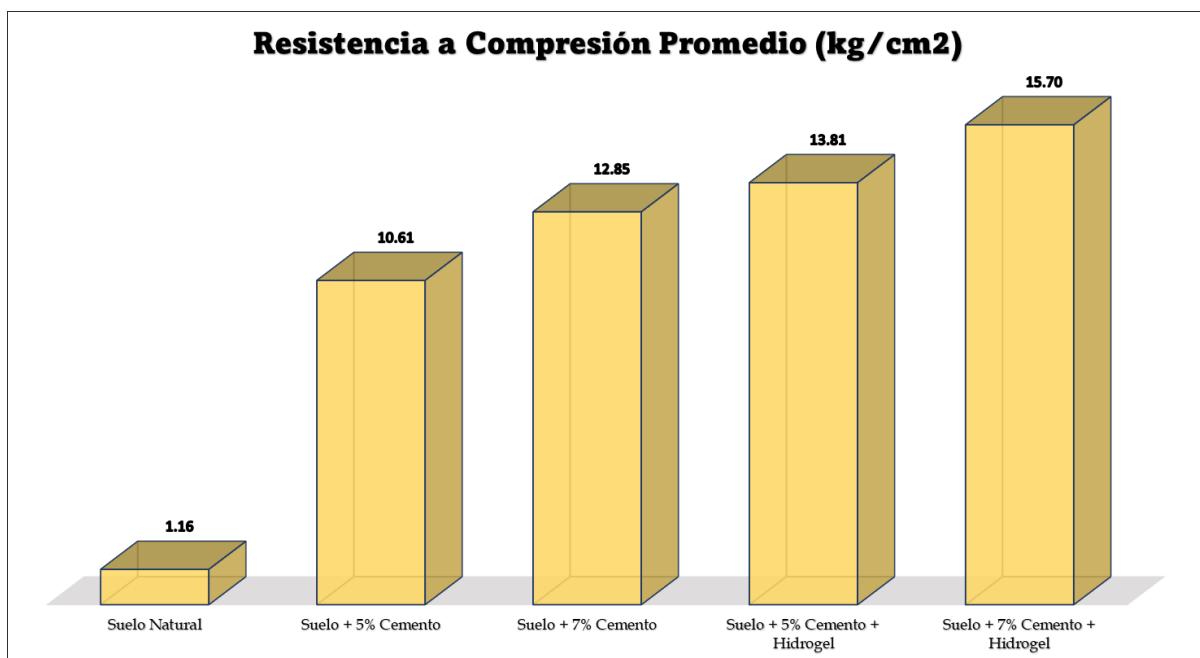
Fuente: Propia.

4.2. Resistencia a Compresión

Tabla 75. Resumen de Resultados del Ensayo a Compresión.

Muestras	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
Suelo Natural	1.16
Suelo + 5% Cemento	10.61
Suelo + 7% Cemento	12.85
Suelo + 5% Cemento + Hidrogel	13.81
Suelo + 7% Cemento + Hidrogel	15.70

Figura 95. Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión.



Fuente: Propia

Se observa una clara relación del aumento de la resistencia a compresión con la adición de cemento portland tipo IP en 5% y 7%, a su vez con la aplicación del hidrogel logra un impacto mayor incrementando aún más la resistencia.

Comparando los resultados obtenidos, el hidrogel logra un incremento de alrededor del 30% a comparación de un suelo cemento al 5%, de igual forma sucede con 7% de cemento, logrando un impacto de aumento en alrededor del 22% en relación con un suelo cemento sin hidrogel.



4.3. Índice de CBR (laboratorio)

Tabla 76. Resultados del Ensayo de CBR a 0.1" de penetración y 95% MDS.

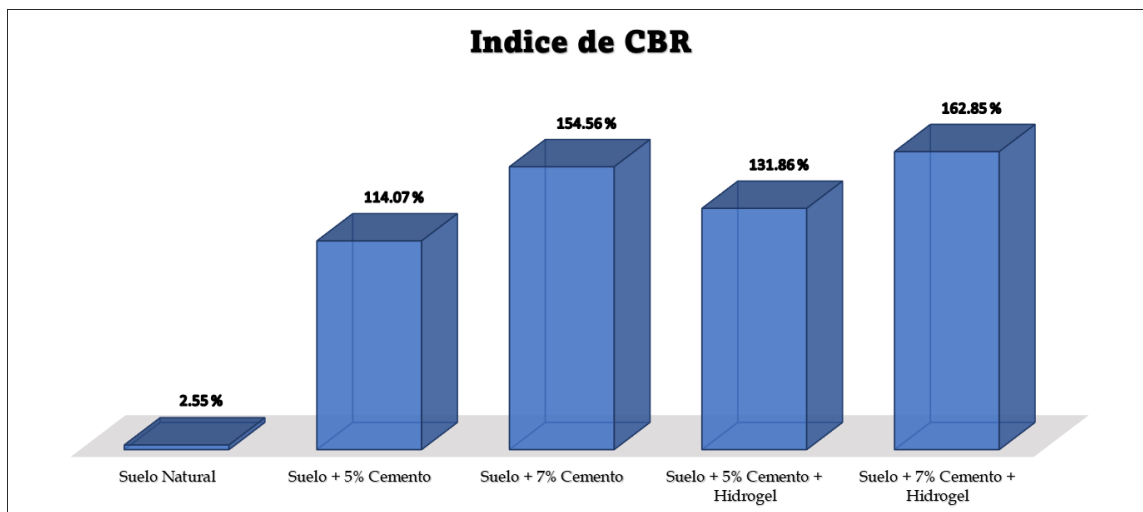
Muestras	CBR (%) 0.1" al 95% de la DMS
Suelo Natural	2.55
Suelo + 5% Cemento	114.07
Suelo + 7% Cemento	154.56
Suelo + 5% Cemento + Hidrogel	131.86
Suelo + 7% Cemento + Hidrogel	162.85

Fuente: Propia.

Para el caso de 5% y 7% de cemento con hidrogel el CBR se incrementó, en menor medida en comparación de un suelo cemento logrando valores de 154.56% y 162.85%.

Ahora, si comparamos los resultados del cemento con y sin el hidrogel hay un incremento del casi 40% del CBR para el 5% y un crecimiento del 12% del CBR para el 7% con respecto al suelo cemento sin hidrogel.

Figura 96. Gráfica comparativa del CBR a 0.1" de penetración en las distintas muestras.



Fuente: Propia.

Así mismo, como observamos en el gráfico los valores de CBR para el suelo con cemento al 7% y el suelo con 5% de cemento con hidrogel son próximos. Con ello, podemos suponer que con un contenido de cemento de 5% adicionado con hidrogel podemos lograr un CBR similar o próximo al que resulta de un suelo con 7% de cemento.



4.4. Variación de Expansión

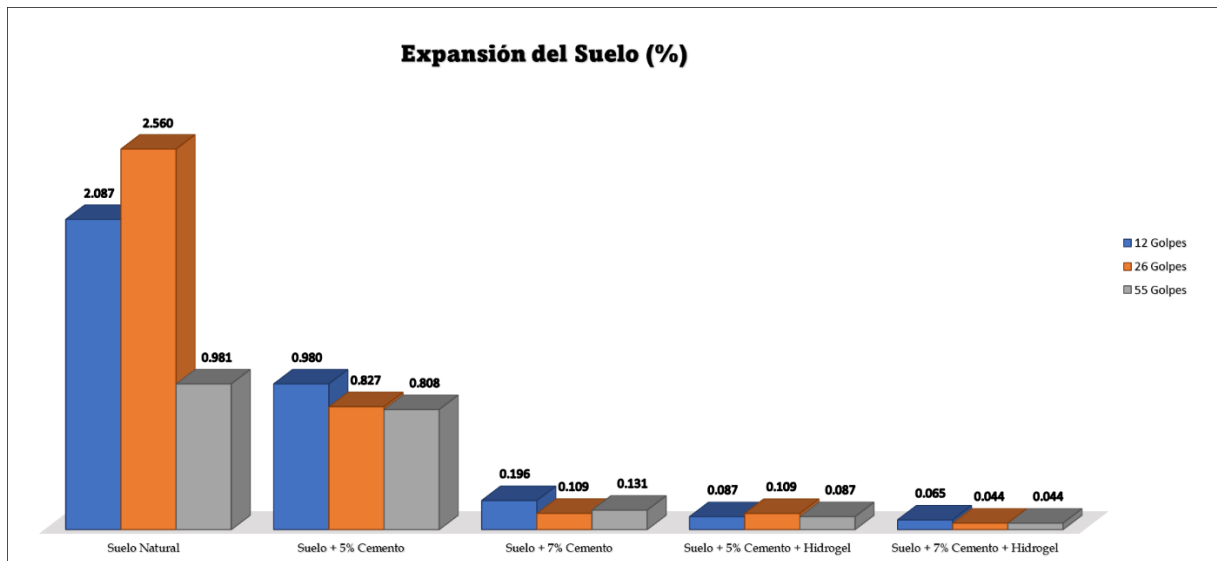
Tabla 77. Resultados de Expansión.

Muestras	Expansión (%)		
	12 Golpes	25 Golpes	56 Golpes
Suelo Natural	2.087	2.560	0.981
Suelo + 5% Cemento	0.980	0.827	0.808
Suelo + 7% Cemento	0.196	0.109	0.131
Suelo + 5% Cemento + Hidrogel	0.087	0.109	0.087
Suelo + 7% Cemento + Hidrogel	0.065	0.044	0.044

Fuente: Propia.

Con la adición de cemento al 5% se reduce en promedio 54% de la expansión del suelo natural, con el 7% se reduce aún más, llegando a mitigar el 93% de la expansión del suelo natural. Con 5% de cemento e hidrogel la reducción de la expansión aumenta pero en menor medida llegando al 95%, para el 7% logra una reducción igual con el suelo cemento al 7% pero sin hidrogel.

Figura 97. Gráfica comparativa de la expansión en las distintas muestras.



Fuente: Propia.



4.5. Costo de Estabilización con Cemento

Tabla 78. Resumen de Costos con Respecto al Tipo de Muestra.

MUESTRA	COSTO
Suelo + 5% Cemento	S/ 28,606.80
Suelo + 7% Cemento	S/ 35,808.14
Suelo + 5% Cemento + Hidrogel	S/ 39,305.07
Suelo + 7% Cemento + Hidrogel	S/ 45,867.41

Fuente: Propia.

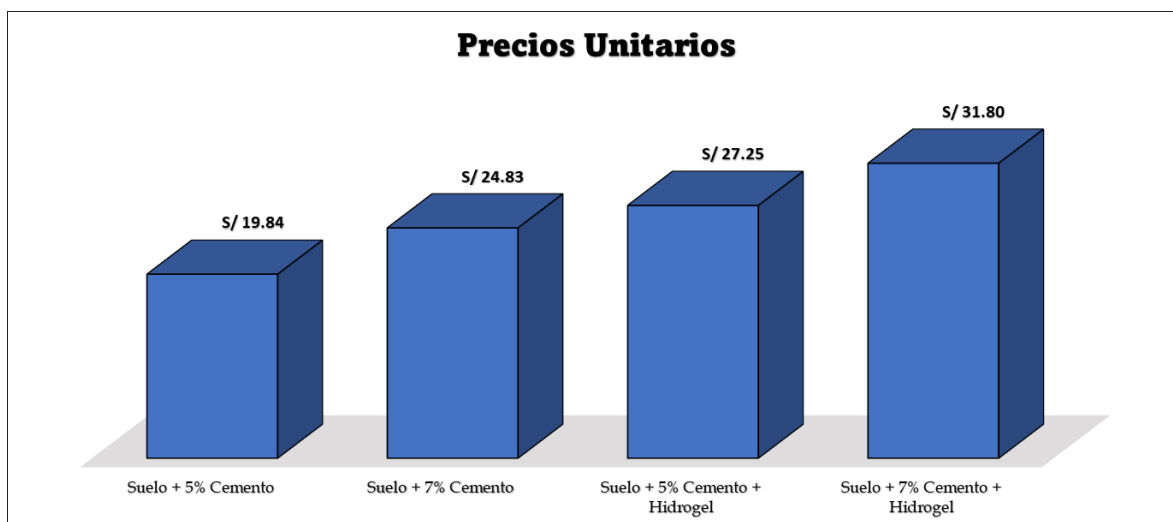
Con respecto al costo, podemos observar un claro incremento en función a la adición de cemento ya sea en 5% y 7%. Lo mismo sucede para el caso del hidrogel, incrementando aún más el costo del m² de suelo estabilizado, para el 5% y 7%, S/ 7.67 y S/ 6.97 respectivamente.

Tabla 79. Resumen de Precios Unitarios para Cada Tipo de Muestra.

MUESTRA	P.U.
Suelo + 5% Cemento	S/ 19.84
Suelo + 7% Cemento	S/ 24.83
Suelo + 5% Cemento + Hidrogel	S/ 27.25
Suelo + 7% Cemento + Hidrogel	S/ 31.80

Para el precio unitario hay un aumento del precio en 37.40% y 28.09% respectivamente para 5% y 7% con respecto a cada m² de suelo estabilizado.

Figura 98. Gráfica comparativa de Precios Unitarios.



Fuente: Propia



Capítulo V: Discusión

a) Contraste de resultados con referentes al marco teórico.

Discusión 01: ¿Por qué se reemplazó el agua por hidrogel en la influencia de las propiedades físico-mecánicas de un suelo obtenido en la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante?

En la etapa de proyecto, la investigación estaba enfocada en la adición de hidrogel en estado seco en porcentaje de 1%, 2% y 3% en función a la masa del suelo, al realizar pruebas de Proctor Modificado los resultados no fueron satisfactorios, ya que teniendo como referencia la densidad máxima seca para el suelo natural fue de 1.862 gr/cm³ y comparando con la adición del hidrogel en 1% y 3% el resultado fue de 1.678 gr/cm³ y 1.410 gr/cm³ respectivamente, logrando una reducción considerable en la densidad (ANEXO 03). Por lo que, se tomó la decisión de reformular la aplicación del hidrogel, ya no en un estado seco sino en estado hidratado, pero con la diferencia de que ya no estaría en cantidades variables sino en función al contenido de humedad óptimo requerido para cada muestra.

Discusión 02: ¿Por qué se utilizó cemento portland tipo IP como estabilizante del suelo obtenido en la APV. Sacsaccata – San Sebastián a nivel de subrasante?

Ya que cemento portland tipo IP tiene una amplia disponibilidad en el mercado, proporciona una mejora en las propiedades mecánicas y a su vez, según (EuroSoilStab, 2002) indica que la reacción que produce el cemento no depende de los minerales del suelo, sino de la reacción del propio cemento con el agua presente en el suelo. Es por ello que el hidrogel juega un papel importante al encapsular el agua y transferir la humedad de manera gradual al cemento.

Discusión 03: ¿Hay alguna relación con respecto a los resultados obtenidos según los antecedentes de la investigación?

Según el primer antecedente con la adición de cemento en 6%, 7.2% y 8.4% con aditivo AID obtiene una densidad máxima en un rango promedio de 1.6 gr/cm³, para el caso del CBR presenta una tendencia creciente 9.1%, 10.6% y 12.6%, para la resistencia a compresión hay un incremento en relación con la adición del cemento 6 kg/cm², 8 kg/cm² y 7.5 kg/cm².

En comparación con el antecedente, se presenta una mayor densidad máxima seca en promedio con la adición de cemento de 1.890 gr/cm³ la cual es superior. Para el caso del CBR hay una



gran diferencia ya que en la investigación se logra CBR de 103.84% y 154.32%. A su vez, para la resistencia a compresión. Podríamos suponer que la diferencia de los resultados a pesar de tener contenidos de cemento similares radica en el tipo de suelo ya que el antecedente es A-7 y el suelo de esta investigación es un A-6 (5).

Para el segundo antecedente de una arcilla de alta plasticidad con la adición de 10%, 15% y 20% de cemento, da como resultado una densidad máxima en un rango de 1.83 gr/cm³, para el CBR varía desde 105.4% a 129.3%, pero es proporcional al incremento del cemento. Con respecto a la expansión no ocurre una relación con el incremento del cemento ya que la expansión se queda en un rango de 2.90% a 4.20%.

En la investigación con hidrogel, el incremento de cemento logra 1.890 gr/cm³ y 1.897 gr/cm³ de densidad máxima seca, la cual es próxima al del antecedente. Para el caso del CBR también se presentan resultados similares o próximos 103.84% y 154.32%. En la expansión hay un cambio drástico con respecto al resultado, este es menor al 1% y este se va reduciendo aún más con el incremento del cemento e hidrogel, pero en menor medida. Lo más resaltante que podríamos suponer es que se logra similares o mayores resultados con menor cemento, pero la diferencia radica en el tipo de suelo ya que en el antecedente presenta una arcilla de alta plasticidad y el nuestro un suelo limoso de baja plasticidad.

En comparación con el tercer antecedente de un suelo limoso de baja plasticidad con la adición óptima de almidón al 8.8% resulta una densidad máxima seca de 1.805 gr/cm³, y para la adición óptima de terrasil al 1.4% obtuvo una densidad máxima seca de 1.881 gr/cm³. Con almidón al 8.8% logra un CBR de 8.07% y con 1.4% de terrasil óptimo logra un CBR de 23.63%.

En comparación con el antecedente, los valores de densidad máxima seca son similares o próximos a los obtenidos en esta investigación, a pesar de contar con diferentes suelos. Con respecto al CBR, hay una vasta diferencia en resultados debido a que en el antecedente solo hace uso del polímero, pero no con la adición de cemento es por ello por lo que surge la gran diferencia en valores. Para almidón logra 8.07%, en nuestro caso para el 5% de cemento supera los 100% de CBR y para el terrasil 23.63%, aun así, sin acercarse al valor que se obtuvo en la investigación.



Discusión 04: ¿Cómo se determinó los porcentajes de cemento e hidrogel?

En primer lugar, los porcentajes de cemento se determinaron en recomendación de libros y reglamentos que indican rangos recomendados, lo cuales varían de 2% a 12% para el caso del manual de carreteras y según (De la Fuente Lavalle, 2004) 7% a 12%. Teniendo como base estos rangos se determinó usar un rango medio, pero con más énfasis al manual de carreteras, ya que, si se eligiera un mínimo el hidrogel no tendría gran impacto en el suelo cemento y con ello un limitado desempeño, más aún, con suelos finos e inestables. Por otro lado, si se eligiera el máximo dentro del rango este sería de elevado costo y no sería muy viable en la investigación. Es por esto por lo que se eligió 5% y 7% de cemento.

Para el caso del hidrogel hidratado es muy dependiente del contenido de humedad óptimo ya que varía con respecto a cada tipo de muestra, pero el punto de inflexión radica en que proporción de hidrogel se debería ser mezclado con agua para que este sea hidratado. Se hicieron pruebas preliminares para determinar la cantidad de agua que debería requerir un 1gr de hidrogel, teniendo en consideración la ficha técnica proporcionada por la empresa Oregon Chem Group S.A.C. con RUC: 20604539383 da un rango de absorción de 250 ml. – 400ml., con ello se pudo experimentar la absorción del hidrogel cada 50 ml. comenzando con 250 ml. hasta llegar a 400ml. Habiendo observado (Figura 12, Pág. 24) las diferentes reacciones y teniendo las siguientes consideraciones:

- El hidrogel hidratado no debería tener una consistencia muy seca, ya que, si esta sería mezclada con el suelo y sometida a un ensayo en este caso CBR la muestra mezclada con hidrogel sería propensa a absorber más agua y por lo tanto se haría más porosa, con ello aumentaría su volumen y su estructura ya no sería estable.
- El hidrogel hidratado no debería tener dentro de su estructura agua suelta, ya que perdería el enfoque que tiene la investigación, puesto que la investigación está dirigida a la sustitución total del agua y no de forma parcial.

Dicho lo anterior, la consistencia que cumplía fue la de 300 ml.



b) Interpretación de los resultados encontrados en la investigación.

Discusión 05: ¿Por qué la densidad del suelo disminuye y a su vez incrementa el contenido de humedad óptimo al añadir hidrogel?

El hidrogel llamado también poliacrilato de sodio tiene como principal característica la absorción de agua con alrededor 350 veces su tamaño. Teniendo en cuenta esta característica, si comparamos con referente al volumen de agua en estado líquido y el hidrogel hidratado en estado de gel (Figura 11, Pág. 23) este es mayor en alrededor de 10% a 20% aproximadamente, lo cual, si lo traducimos en el mezclado con el suelo, este tendrá mayor volumen, pero sin tener mayor variación en el peso, ya que para cada gramo de hidrogel se necesita 300ml de agua. Por consiguiente, la reducción de la densidad máxima seca será afectada por el aumento de volumen producto del hidrogel hidratado.

Discusión 06: ¿Por qué el CBR es mayor con la adición de hidrogel a comparación de un suelo cemento sin la adición de hidrogel?

Primera suposición, teniendo en cuenta que la principal característica del hidrogel es la absorción de agua, dicha característica genera una estrecha relación con el cemento, para que este no pierda de manera agresiva su humedad, dicha humedad ayudaría en el correcto fraguado en etapas iniciales y por consiguiente prolongaría el curado. Esto no sucede en caso del ensayo de Proctor modificado ya que al ser un ensayo “instantáneo” no logra que el cemento fragüe otorgando beneficios al suelo con referencia a sus propiedades mecánicas.

Segunda suposición, en el proceso de mezclado (ver Anexo 06 “Ensayo CBR”, Pág. 196) se observa la diferencia del agua e hidrogel hidratado, por una parte, el agua vertida es inmediatamente absorbida por solo un sector de la muestra y al ser mezclado las partículas ya saturadas transmiten la humedad a las otras secas haciendo que el cemento reaccione con el agua. En el caso del hidrogel hidratado pasa algo diferente, al verterla en la mezcla, la humedad superficial es inmediatamente absorbida por el suelo, pero gran parte sigue latente y al mezclarlo con el hidrogel hidratado poco a poco transfiere esa humedad almacenada al suelo seco logrando una mejor homogenización de la humedad en toda la muestra y haciendo que el cemento reaccione adecuadamente en toda la muestra sin la carencia de humedad.



c) Comentario de la demostración de la hipótesis.

Discusión 07: ¿La incorporación de hidrogel en las mezclas de suelo cemento mejoran las propiedades físico y mecánicas?

Según los resultados obtenidos, mejoran en la resistencia y reducen el cambio volumétrico para la adición de hidrogel. Por otro lado, la densidad se ve reducida en menor medida a comparación del suelo cemento, debido a las posibles causas ya descritas con anterioridad.

d) Aporte de la investigación.

Discusión 08: ¿Qué aporte brinda la investigación a la Ingeniería Civil?

Da a conocer una alternativa complementaria a la ya conocida estabilización de suelo con cemento a nivel de subrasante, con el fin de incrementar aún más las propiedades mecánicas del suelo cemento por sí, logrando así mayores resultados. Así mismo, da a conocer un polímero llamado hidrogel, aplicado en la industria que puede complementar a materiales como el cemento en las diferentes aplicaciones de esta.

e) Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación.

Discusión 09: ¿El uso del hidrogel puede aplicarse en otros ámbitos de la construcción?

Si, debido a la principal característica del hidrogel es la absorción de agua, podría aplicarse a diseños de concreto mejorando en la etapa de fraguado, a su vez prologará la humedad durante más tiempo para mejorar el curado y en su adición para la trabajabilidad del concreto.



Glosario

CBR: California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, subbase y base de pavimentos.

Clasificación de suelos AASHTO: Son considerados mediante distintos criterios: su evolución, composición, capacidad de uso en agricultura y textura, entre otros. Las partículas minerales que forman el suelo tienen diferentes grandezas y se llaman arena, limo y arcilla, de mayor a menor

Contenido de humedad: Relación expresada como porcentaje, del peso de agua en masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

El precio unitario: se saca de cada material, donde se obtiene directamente de cotizaciones directas del mercado de estos materiales.

Granulometría: Permite conocer la medida de los granos de los sedimentos. Mediante el análisis granulométrico se puede obtener información importante como: su origen, propiedades mecánicas y el cálculo de la abundancia de cada uno de los granos según su tamaño dentro de la escala granulométrica.

Límites de atterberg: son parte de los estudios de suelos normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos, es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, SUCS)

Proctor Modificado: Se emplea para determinar la relación densidad seca – humedad de compactación de los materiales a utilizar en explanadas y en capas de firmes, y como referencia para el control de calidad de la compactación en obra.

Curado: Es un proceso que consiste en mantener la humedad del concreto por períodos más largos, con el objetivo de permitirle alcanzar las propiedades de resistencia y durabilidad necesarias para las que fue diseñado.

Hidrogel Hidratado: Consiste en hidratar el hidrogel previo al ensayo o manipulación con un contenido de agua determinado.



Conclusiones

Conclusión N 01:

Se acepta de manera parcial la Hipótesis General, “La influencia de la adición de hidrogel como sustituto del agua mejorará las propiedades físico-mecánicas de un suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante”.

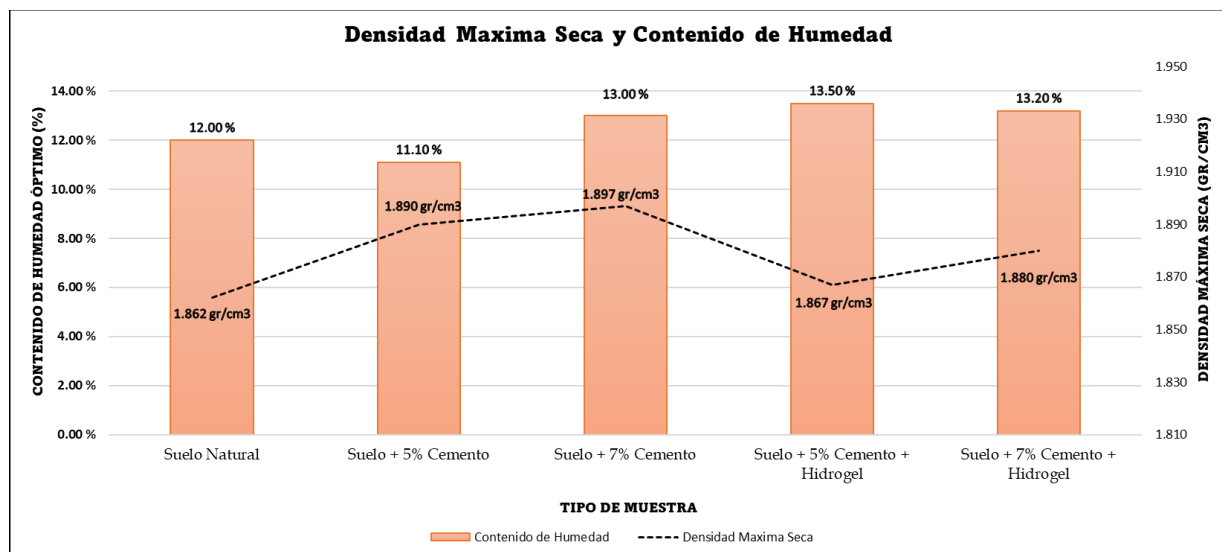
Ya que no se cumplen con las afirmaciones planteadas inicialmente sobre el incremento en la compactación y la reducción de costos de estabilización. Por otro lado, el hidrogel influye positivamente en el incremento de la capacidad de soporte CBR, reduce la expansión y aumenta la resistencia a la compresión.

Conclusión N 02:

Se rechaza la Sub Hipótesis 01, “La incidencia del Hidrogel como sustituto del agua aumentará la compactación de un suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante”.

Ya que la densidad máxima seca con la adición de hidrogel se ve reducida en comparación al suelo estabilizado con cemento portland tipo IP al 5% y 7%. Teniendo en cuenta que los contenidos de humedad óptimos con hidrogel son próximos al suelo cemento con 7% en un rango no mayor al 14%.

Gráfica de Resultados de Ensayo Proctor Modificado. (Figura 94, Pág. 159)





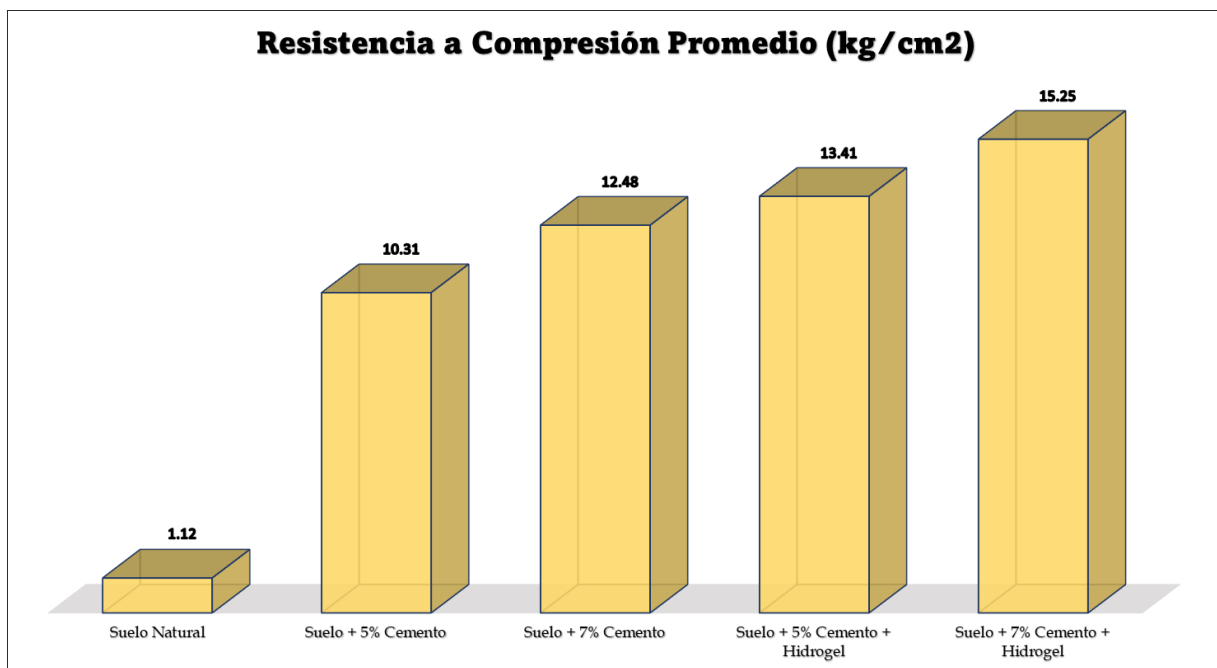
Esto podría deberse al incremento de volumen del hidrogel al ser hidratado, ya que el agua por si presenta un menor volumen a comparación del hidrogel hidratado. Por lo tanto, la mezcla presentaría mayor volumen con un mismo peso lo cual se traduciría en una reducción en la densidad máxima seca.

Conclusión N 03:

Se acepta la Sub Hipótesis 02. “La influencia de la adición de hidrogel como sustituto del agua aumentará la resistencia a la compresión de un suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante”.

Esto se debe a que la resistencia a compresión con la adición de hidrogel resulta ser mayor o superior a comparación del suelo adicionado con solamente cemento portland tipo IP en 5% y 7%.

Gráfica Comparativa de Resistencia a Compresión. (Figura 95, Pág.160)



Se tiene la suposición, de que el hidrogel hidratado tiene mayor impacto durante periodos de tiempo más largos (curado de 7 días) contribuyendo al cemento para que no pierda su humedad interna, ya que el hidrogel encapsula el agua y distribuye de manera progresiva, dicha humedad ayuda en un correcto fraguado en etapas iniciales y por consiguiente prolongaría el curado durante más tiempo de manera interna.

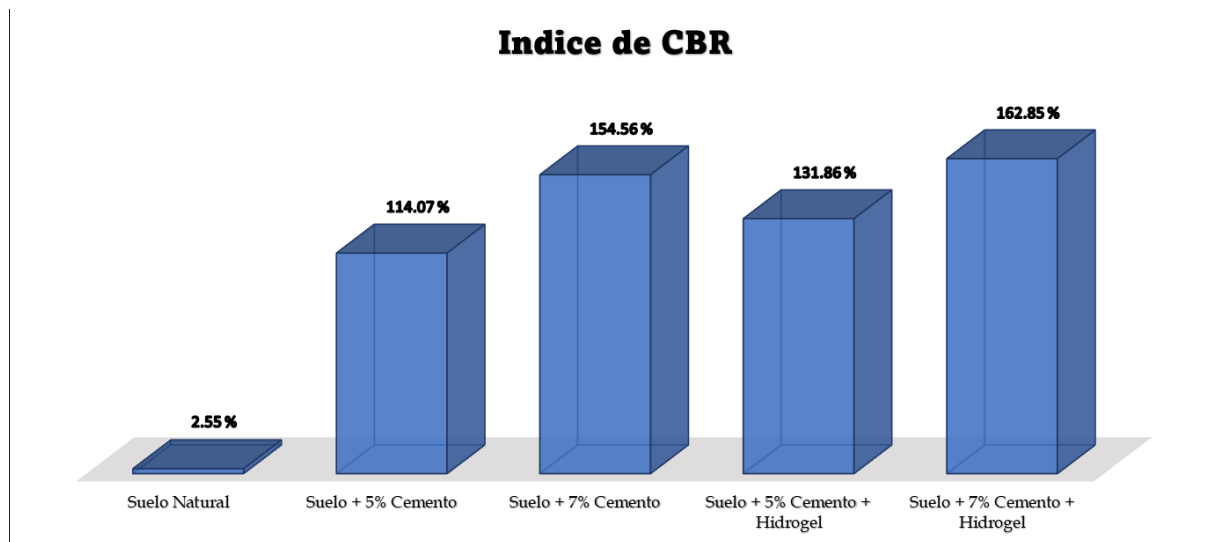


Conclusión N 04:

Se acepta la Sub Hipótesis 03, “La incidencia del hidrogel como sustituto del agua mejorará la capacidad de soporte CBR del suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante”.

Ya que la capacidad de soporte CBR con la adición de cemento portland tipo IP en 5% y 7%, con la incorporación de hidrogel resulta mayor a comparación de solamente suelo con cemento portland tipo IP en 5% y 7%.

Gráfica comparativa del CBR en las distintas muestras. (Figura 96, Pág. 161)



Podríamos suponer que se debe a la mejor distribución de humedad al ser mezclada. Ya que, al mezclar con agua este se concentra en solamente en saturar un sector de la mezcla. Para el caso del hidrogel, el humedecimiento es de manera progresiva ya que el agua está encapsulada en el hidrogel, por lo que la humedad llega en mayor proporción a la mezcla seca restante y con ello se logra que el cemento reaccione de mejor manera y durante un periodo de tiempo más prolongado debido a que no carece de humedad en su reacción.

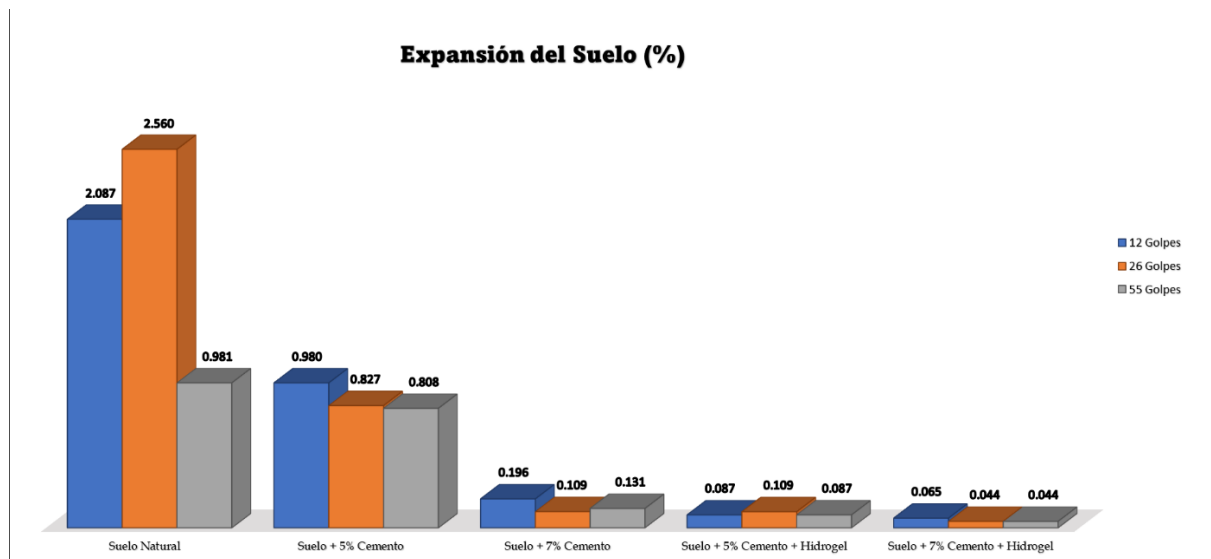


Conclusión N 05:

Se acepta la Sub Hipótesis 4, “La influencia de la adición de hidrogel como sustituto del agua disminuirá la variación de expansión del suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante”.

Puesto que la incorporación de hidrogel en las muestras con cemento portland tipo IP en 5% y 7%, reduce aún más la expansión en comparación a las muestras que solamente fueron mezcladas con cemento portland tipo IP en 5% y 7%.

Gráfica comparativa de la expansión en las distintas muestras. (Figura 97, Pág. 162)



Podríamos suponer que la reducción de la expansión se debe al cemento principalmente y al encapsulamiento del agua producto del hidrogel en los periodos de tiempo que estuvo sumergido la muestra, ya que al estar totalmente saturado no deja absorber más agua y por lo tanto el volumen no se incrementa.

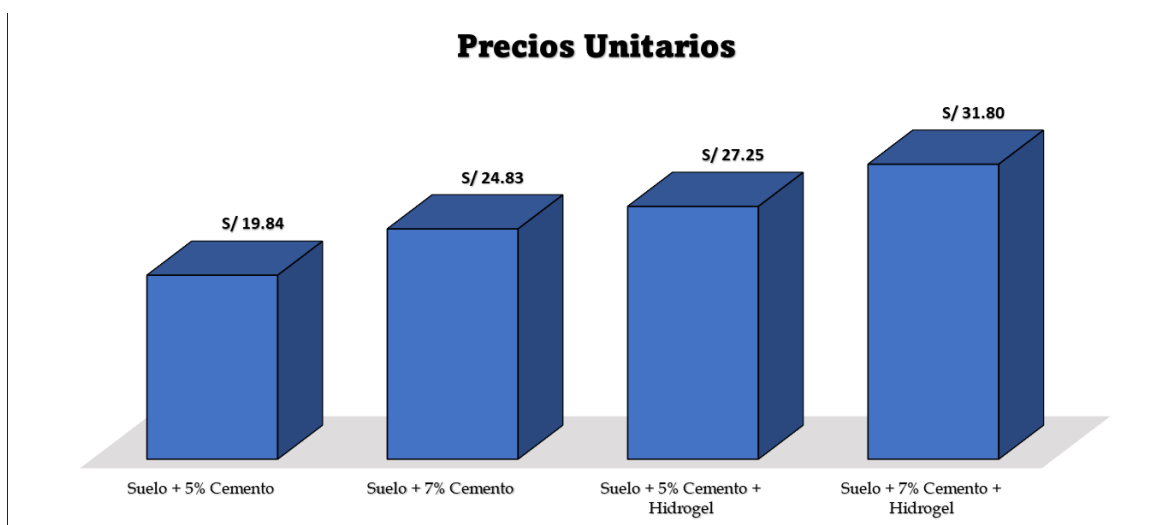


Conclusión N 06:

Se rechaza la Sub Hipótesis 05: “La influencia de la adición de Hidrogel como sustituto del agua reducirá el costo del suelo obtenido de la APV. Sacsaccata – San Sebastián estabilizado con cemento portland tipo IP a nivel de subrasante”.

Puesto que a nivel de costo, la estabilización de suelo con cemento portland tipo IP adicionando con hidrogel resulta mayor a comparación de una estabilización con solamente cemento portland tipo IP en 5% y 7%.

Tabla comparativa del costo. (Figura 98, Pág. 163)



Esto se debe principalmente al contenido de humedad óptimo alto, ya que el hidrogel está estrictamente relacionado con la cantidad de agua que se necesita para lograr la densidad máxima seca. En otras palabras, mayor contenido de humedad mayor adición de hidrogel.



Recomendaciones

Recomendación 01.

Se recomienda profundizar la investigación enfocándose en otro tipo de suelo y en una determinada propiedad que refleje un ensayo en específico, con el fin de lograr menor variación de resultados y confiabilidad.

Recomendación 02.

Se recomienda utilizar el hidrogel de manera hidratada, ya que de esta forma se mitiga en gran medida las variaciones de volumen que surgen a consecuencia de la absorción del agua. Esto se debe a que en la etapa de proyecto de tesis la adición del hidrogel en seco no dio buenos resultados con respecto a la densidad, es por ello que se opta en usar el hidrogel de manera hidratada; cuya experiencia se detalla en la discusión 01 (Pág. 164).

Recomendación 03.

Se recomienda involucrar otras propiedades como son la permeabilidad y durabilidad dentro otra investigación con un diseño de suelo cemento.

Recomendación 04.

Se recomienda como futura investigación el reemplazo del hidrogel (poliacrilato de sodio) con el poliacrilato de potasio, con el fin de evaluar su influencia y las ventajas económicas que trae esta, ya que dicho polímero es usado en la agricultura a gran escala y por lo tanto refleja un costo menor.

Recomendación 05.

Se recomienda hacer un diseño de suelo cemento, con el fin de determinar el contenido de cemento óptimo para la estabilización

Recomendación 06.

Se recomienda usar el hidrogel hidratado en ensayos o pruebas que relacionen estrictamente con el cemento, un claro ejemplo sería en el diseño de mezcla utilizando el hidrogel hidratado y no el agua.



Referencias

- A. Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. (O. Fernández Palma, Ed.) Colombia: Person Educación.
- Alva Hurtado, J. E. (2021). *Suelos Expansivos y Colapsables*. Obtenido de <https://www.jorgealvahurtado.com/files/Suelos%20Expansivos%20y%20Colapsables.pdf>
- Asociación Nacional Técnica de Estabilizados de Suelos y Reciclado de Firmes. (2008). *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal*. Madrid, España.
- Borja S., M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.
- Campos Silva, A. R. (2017). Estudio Del Proceso De Hidratación En Cementantes Compuestos Mediante El Uso De Poliacrilato De Sodio Como Método De Curado Interno. (*Tesis de Posgrado*). Universidad Autónoma De Nuevo León, Nueva león.
- Castillo Gonzales, J. F. (15 de Agosto de 2021). Análisis comparativo de los diferentes polímeros para mejorar las propiedades del suelo nativo mediante la estabilización de suelos en la localidad de Mocupe. *Tesis Doctoral*. Chichayo, Perú.
- Castro Cuadra, A. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante*. Lima.
- Castro Gonzales, M. A., & Navarro Pereyra, J. D. (01 de Junio de 2021). Propuesta de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante la adición de cemento portland para disminuir el cambio volumétrico provocado por las condiciones climáticas en la Av. Padre Salas, Villa Rica, Oxapampa, Pasco. *Tesis de Pregrado*. Lima, Perú.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Monterey: Limusa.
- De la Fuente Lavalle, E. (2004). *Suelo Cemento Usos propiedades y aplicaciones*.
- Duque Escobar, G., & Escobar Potes, C. E. (2002). *Mecánica de los suelos*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.



- Equiservicios Industriales. (2016). *Estabilización de Suelos para Pavimentos*. Huila.
- EuroSoilStab. (2002). *Development of Design and Construction Methods to Stabilize*. European Commission.
- F. Rivera, J., Aguirre Guerrero, A., Mejía de Gutiérrez, R., & Orobio, A. (10 de Junio de 2020). Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente. *Sena*. Obtenido de http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/2530/3417#content/citation_reference_23
- Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., & Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mac Graw Hill Education.
- Gómez de Santos, C. (Abril de 2019). Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas [Tesis Doctoral]. Madrid, España.
- Gonzáles de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Interamericana Editores S.A.
- Hidalgo Benavides, D. I. (22 de Noviembre de 2016). Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de sub-rasante. *Tesis de Pregrado*. Ambato, Ecuador.
- Ingles, O., & Metcalf, J. (1972). *Soil Stabilization: Principles and Practice*. Londres, Inglaterra.
- Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación, Universidad Francisco Gavidia. (Mayo de 2019). *Nanotecnia*. Obtenido de https://nanotecnia.ufg.edu.sv/frm/newsletters/Nanoboletin_Mayo-2019.pdf
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (Agosto de 2016). *Ingeniería de Pavimentos*. Lima.
- Johnson, A., & Sallberg, J. (1960). *Factors that influence field compaction of soils*.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos*. Limusa.



- López Lara, T., Hernández Zaragoza, J. B., Horta Rangel, J., Coronado Márquez, A., & Castaño Meneses, V. M. (Enero de 2010). *Revista Iberoamericana de Polímeros. Polímeros para la Estabilización Volumétrica de Arcillas Expansivas*. México.
- M. Das, B. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Mexico D.F.: Cengage Learning Editores,.
- Marquez, J. J. (2006). *Mecánica de Suelos y Estudios Geotécnicos en Obras de Ingeniería*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: MTC.
- Ministerio de Vivienda y Saneamiento. (14 de Agosto de 2018). *Estabilizacion de Suelos y Taludes. Norma CE.020*. Lima, Perú.
- Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa*. Neiva.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá: Stella Valbuena de Fierro.
- MTC - Oficina de Estadística - OGPP. (2021). *Estadística - Infraestructura de Transportes - Infraestructura Vial*. Lima. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial>
- Pariguana Begazo, M., & Gonzales Gutierrez, L. H. (Julio de 2019). *Reciclaje Químico del Polímero Súper Absorbente de Pañales Desechables Usados*. Arequipa, Perú.
- Puma Quispe, E. D., & Molina Villena, R. (25 de Enero de 2020). *Cusco, pistas en mal estado son un peligro latente para conductores*. Obtenido de Reporteobligado: <https://reporteobligado.com/cusco-cusco-pistas-en-mal-estado-peligro-latente-para-conductores>
- Ravines Merino, M. A. (2010). *Pruebas con un Producto Enzimático como Agente Estabilizador de Suelos para Carreteras. (Tesis de Pregrado)*. Universidad de Piura,



Piura.

Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima, Perú: Capítulo peruano ACI.

Suarez de Castro, F. (1979). *Conservacion del Suelo*. San José: IICA.

Syed Zuber, S. Z., Kamarudin, H., & Ai Bakri Abdullah, M. M. (2013). Review on Soil Stabilization Techniques. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Enero. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/246547479_Review_on_Soil_Stabilization_Techniques

Toirac Corral, J. (Octubre de 2008). El suelo cemento como material de construcción. *Ciencia y Sociedad*, 24.

Vásquez Concha, M. D. (2010). Pavimentos no Tradicionales para Carreteras de Selva Baja Con Bajo Volumen de Tránsito. Lima.

Ventura Martel, C., & Alarcón Mestanza, A. L. (Marzo de 2018). Suelos arcillosos mejorados con cemento y aditivo con-aid, para la estabilizacion de la subransate, camino vecinal ruta pa-7001, pasco, 2018. *Tesis de Pregrado*. Lima, Oxapampa, Peru.