

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Efecto de la adición de polímero bicomponente, en las
propiedades físicas y mecánicas de arcillas expansivas
del sector de Ccapac Modo - Cusco, 2021**

Miguel Angel Yanqui Quispe

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Cusco, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Msc. Ing. Augusto García Corzo

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento principal corresponde a mi Madre, por haber demostrado mediante su gran esfuerzo el ejemplo a seguir con trabajo y cooperación con los demás.

Del mismo modo a mi Padre, por ser el impulso mediante sus consejos y su loable manifestación de perseverancia e integridad.

Un gran agradecimiento a la infinita paciencia provista por mis Hermanos.

A mi Esposa por el amor, fe y esperanza inspirada por Dios y que me motiva a diario.

Y sin dejar de lado, ni considerando menos importante a mis Maestros y Asesor de tesis, por compartir conmigo y transferir sus conocimientos a mi vida.

Pero por sobre todo a Dios, por permitirme sonreír después del cansancio y con salud poder lograr mi objetivo , el cual confie en sus manos desde el principio.

DEDICATORA

A Dios por permitirme tener el apoyo y la fuerza para poder concluir la carrera.

A mis padres por su gran esfuerzo de concederme la oportunidad de estudiar
y por su constante apoyo y paciencia a lo largo de mi vida.

Desde lo más profundo a mis Hermanos por sus consejos de sabiduría y a
mis Maestros y Asesor de tesis

A mi disciplinada Esposa, por ser la razón de mi perseverancia y el ejemplo
que cada día me motiva a corregirme en el propósito de ser una mejor
persona, Gracias por estar aquí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORA.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I	17
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	17
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.1.1. PROBLEMA GENERAL.....	19
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.	20
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	20
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.	21
1.3.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	21
1.3.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	21
1.3.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	22
1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.4.1. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	22
1.4.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	23
1.4.3. DELIMITACIÓN TEMPORAL.	23
1.5. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES.....	23
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.	23

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	23
1.6. VARIABLES.....	24
1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE:.....	24
1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES.....	24
1.7. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE	25
CAPÍTULO II	26
MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	26
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	26
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	29
2.2. BASES TEÓRICAS	33
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	66
CAPÍTULO III	71
METODOLOGÍA.....	71
3.1. MÉTODO, Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	71
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	71
3.2.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	72
3.2.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	73
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	73
3.3.1. POBLACIÓN.....	73
3.3.2. MUESTRA	76
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	77
3.4.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	78
3.4.1.1. INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS	78
3.4.1.2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN – INSTRUMENTOS DE INGENIERIA	78
3.4.1.3. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	78
3.4.1.4. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS	83

3.4.1.5. TOMA DE DATOS	97
3.4.1.6. BASE DE DATOS DESARROLLADO EMPLEANDO LOS ENSAYOS DE LABORATORIO	107
CAPÍTULO IV.....	109
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	109
4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .	109
4.1.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO (LL)	109
4.1.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LÍMITE PLÁSTICO (LP).....	111
4.1.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)...	112
4.1.4. RESUMEN DEL ANÁLISIS.....	113
4.1.5. RESULTADOS DEL LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, MEDIANTE LA VELETA TIPO TORVANE.....	114
4.1.6. RESUMEN DEL ANÁLISIS.....	116
4.1.7. RESULTADOS DEL LOS ENSAYOS DEL MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE EXPANSIÓN DE SUELOS.....	117
4.1.8. RESUMEN DEL ANÁLISIS.....	119
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	121
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	140
CONCLUSIONES.....	146
RECOMENDACIONES.....	150
RECOMENDACIÓN 1.....	150
RECOMENDACIÓN 2.....	150
RECOMENDACIÓN 3.....	151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
ANEXOS	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Correspondencia generada de los promedios del índice de plasticidad con el potencial de expansión de las arcillas.....	18
Tabla 2. Matriz de operacionalización	25
Tabla 3. Dimensiones de partículas.	34
Tabla 4. secuencia de mallas para el análisis granulométrico para suelos según MTC E107	34
Tabla 5. Escalas del suelo de acuerdo al IP.....	37
Tabla 6. Clasificación SUCS para suelos gruesos.	40
Tabla 7. Clasificación SUCS para suelos gruesos.	41
Tabla 8. Clasificación SUCS para suelos finos.	41
Tabla 9. Aditivos Consolid, Conservex y Solidry.	47
Tabla 10. Correlaciones de factor por tamaño de la veleta tipo torvane.	58
Tabla 11. Diseño de investigación.....	72
Tabla 12. Coordenadas del Sector Ccapac Moqo.....	73
Tabla 13. Localización del punto de toma de muestra	75
Tabla 14. Referencias normativas de los ensayos aplicativos para la presente investigación.....	80
Tabla 15. Procedimientos.....	79
Tabla 16. Análisis granulométrico por tamizado mecánico según la MTC E107	97
Tabla 17. Determinación de los límites de Atterberg.....	98
Tabla 18. Clasificación de suelos –SUCS	99
Tabla 19. Análisis granulométrico por sedimentación MTC E – 107 - 200	103
Tabla 20. Determinación del potencial de expansión del suelo.....	104
Tabla 21. Determinación de la resistencia al corte.....	105
Tabla 22. Proporciones de polímero líquido y sólido para las muestras.	107
Tabla 23. Proporciones de polímero líquido y sólido, polímero bi - componente para las muestras.....	108
Tabla 24. Resumen de resultados de los ensayos para calcular el Límite líquido.	110
Tabla 25. Resumen de resultados de los ensayos para calcular el Límite plástico.	111

Tabla 26. Resumen de resultados de los ensayos para calcular el IP.	112
Tabla 27. Resultados de los ensayos para calcular la resistencia al esfuerzo cortante	115
Tabla 28. Resultados de los ensayos para calcular el potencial de expansión de los suelos	118
Tabla 29. Resumen de los resultados	120
Tabla 30. Análisis estadístico del polímero bicomponente en relación del ip.	121
Tabla 31. Prueba de normalidad	124
Tabla 32. Índice de plasticidad	126
Tabla 33. Análisis estadístico del polímero bicomponente en relación a la expansión.....	127
Tabla 34. Prueba de normalidad	131
Tabla 35. Análisis estadístico del polímero bicomponente en relación al esfuerzo cortante.	134
Tabla 36. Prueba de normalidad	138
Tabla 37. resultados discusión 1	140
Tabla 38. resultados discusión 2	142
Tabla 39. Resultados discusión 3.....	143
Tabla 40. Resultados discusión 4.....	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Daño ocasionado por la arcilla expansiva a una edificación.	18
Figura 2: Curva de granulometria de un suelo e interpretación de la curva de acuerdo a la proporción de materiales	35
Figura 3: Curva granulométrica de distintos tipos de suelos	35
Figura 4: Límites de Atterberg.	36
Figura 5: Carta de Casagrande (Suelos finos y orgánicos).....	42
Figura 6: Límites de Atterberg y Estados de Consistencia de un Suelo	44
Figura 7: Horno para determinar el contenido de humedad de los materiales	53
Figura 8: Cálculos	54
Figura 9: Dimensiones del equipo de casa grande para determinar el limite plástico.	55
Figura 10: Equipo para la determinación del esfuerzo cortante Veleta tipo torvane..	58
Figura 11: Cálculos Muestreo y Espécimen	59
Figura 12 Características del equipo de determinación del potencial de expansión – consolidación.....	61
Figura 13 Piedra porosa para el ensayo de expansión.	62
Figura 14: Ubicación en Mapa.....	74
Figura 15: Ubicación en Mapa en vista satelital	80
Figura 16: GPS, el cual nos determinó a georeferenciar el lugar de muestreo	75
Figura 17: Fotografía 1 y Fotografía 2 Extracción de muestra del sector Ccapac Moqo.	79
Figura 18: Balanza para el pesado de las cazuelas con las muestras de suelos a una precisión de 0.01g	80
Figura 19: Horno de Temperatura de 110°C.	81
Figura 20: Aparato de globo con Cono y Placa.	81
Figura 21: Procedimiento para realizar el ensayo de Densidad In Situ, con sus respectivas fotos.	82
Figura 22: Balanza para el pesado de las cazuelas con las muestras de suelos a una presición de 0.01g	84
Figura 23: Horno de Temperatura de 110°C.	84

Figura 24: Procedimiento para realizar el ensayo de Contenido de Humedad, con sus respectivas fotografías.....	85
Figura 25 y Figura 26: Preparacion del material para los ensayos de laboratorio.....	88
Figura 27 y Figura 28: Secado de las muestras y cuarteo	88
Figura 34 y Figura 35: Balanza de precisión	89
Figura 36 y Figura 37: Equipo Casagrande.....	89
Figura 38 Figura 39 : Ranurador	90
Figura 40: Horno de Temperatura de 110°C.....	90
Figura 41: Procedimiento para realizar el ensayo de Límite Líquido.....	91
Figura 42: Procedimiento de recolección de datos.....	93
Figura 43, Figura 44 y Figura 45: Equipo Torvane.....	94
Figura 46, Figura 47: Balanza de precisión.....	95
Figura 48: Horno de Temperatura de 110°C.....	95
Figura 49: Procedimiento del ensayo de Resistencia al Esfuerzo Cortante.....	96
Figura 50: Carta de plasticidad de casa grande (según astm D-2487-93)	100
Figura 51: Diagrama de suelos SUCS	101
Figura 52: Diagrama de graduación de suelos grueso.....	102
Figura 51: Determinación de la granulometría del material fino (arcilla y limo)	103
Figura 52: Determinación del potencial de expansión del suelo bajo el método A..	104
Figura 55: Determinación de la resistencia al corte bajo el método de la veleta tipo torvane.	105
Figura 56: Fórmula de método de 1 punto.	109
Figura 57: Determinación de la tendencia del IP en relación al Polímero bicomponente.....	113
Figura 58: Fórmula para el cálculo del esfuerzo cortante según las divisiones del dial del instrumento tipo Torvane.	114
Figura 59: Determinación de la tendencia del esfuerzo cortante en relación al Polímero bicomponente	116
Figura 60: Fórmula para el cálculo según el uso del dispositivo.	117
Figura 61: Determinación de la tendencia de la expansión en relación al Polímero bicomponente.....	119
Figura 62: Histograma.....	125
Figura 63: Diagrama de dispersión	126
Figura 64: Histograma Prueba de normalidad.....	131

Figura 65: Resumen de prueba de hipótesis.....	132
Figura 66: Diagrama de dispersión de la prueba de normalidad.....	133
Figura 67: Histograma polímero bicomponente en relación al esfuerzo cortante....	138
Figura 68: Prueba porcentajes de adición de Polímero sólido mas líquido.....	139
Figura 69: Diagrama de dispersión de polímero bicomponente en relación al esfuerzo cortante.....	139
Figura 70: Análisis de resultados del ip en relación al polímero bicomponente	147
Figura 71: Análisis de resultados del esfuerzo cortante en relación al polímero bicomponente.....	148
Figura 72: Análisis de resultados del potencial de expansión en relación al polímero bicomponente.....	149

RESUMEN

Las arcillas expansivas en el sector Capac Moqo, San Sebastian - Cusco, son un constante tema de interés, pues a menudo generan retos de ejecución respecto al desarrollo de infraestructura planteado por los ingenieros, retos que son abordados para disminuir las consecuencias de las reacciones de los suelos expansivos. Ante ello se propone el desarrollo de la estabilización química mediante el POLÍMERO Bicomponente – Consolid, en la dosificación propuesta en la metodología de la presente tesis.

La metodología con un enfoque experimental aplicativo realizada mediante pruebas de muestreo, granulometría, Índice de Plasticidad, Resistencia al esfuerzo cortante, Índice de expansión. Los resultados obtenidos para el IP fueron de una variación de reducción de 11.47%, en el caso de la Resistencia al esfuerzo cortante, se evidencio un incremento en la resistencia de 0.19 kg/cm² comparado con los resultados del espécimen patrón, en el caso de la Expansión, se pudo reducir un 1.28% siendo este el resultado mas bajo respecto a la expansión del material. Se pudo llegar a las conclusiones de estabilización con respecto a los índices mas bajos alcanzados de IP después de añadir el polímero bi- componente, llegando hasta 44% a partir de 55.47% de la muestra inicial. De la misma manera en la Resistencia al Esfuerzo cortante, el mayor índice fue de 0.47 kg/cm² partiendo de una resistencia de 0.28 kg/cm² de la muestra inicial. Y para el caso del Potencial de Expansión, el menor alcanzado fue de 3.9% respecto a la muestra inicial con una expansión de 5.18%.

Palabras claves: Arcillas Expansivas, POLÍMERO bi-componente, Consolid, Estabilización química, propiedades físicas y mecánicas.

ABSTRACT

Expansive clays in the Capac Moqo sector, San Sebastian - Cusco, are a constant topic of interest, as they often generate implementation challenges regarding the development of infrastructures posed by engineers, challenges that are addressed to reduce the consequences of the reactions of expansive soils. Given this, the development of chemical stabilization by means of the Bicomponent polymer - Consolid is proposed, in the dosage proposed in the methodology of this thesis.

The methodology with an applicative experimental approach carried out by means of sampling tests, granulometry, Plasticity Index, Shear stress resistance, Expansion index. The results obtained for the IP were of a reduction variation of 11.47%, in the case of the resistance to shear stress an increase in the resistance of 0.19 kg / cm² was evidenced compared with the results of the standard specimen, in the case of the Expansion, could be reduced by 1.28%, this being the lowest result regarding the expansion of the material. Stabilization conclusions could be reached with respect to the lowest IP indices achieved after adding the two-component polymer, reaching up to 44% from 55.47% of the initial sample. In the same way, in Shear Strength Resistance, the highest index was 0.47 kg / cm² starting from a resistance of 0.28 kg / cm² of the initial sample. And in the case of the Expansion Index, the lowest reached was 3.9% compared to the initial sample with an expansion of 5.18%.

Key words: Expansive Clays, Bi-component Polymer, Consolidate, Chemical Stabilization, Physical and Mechanical Properties.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de decisiones para generar respuestas sobre todo en el emplazamiento de obras de ingeniería, como es en el caso del sector Ccapac Moqo, es necesario contar con un estudio que permita obtener las propiedades físicas y mecánicas del suelo, cuando se le añaden polímeros para su mejoramiento en la estabilización de esa manera se justifica la presente investigación, de modo que se refleje la eficiencia con una apropiada precisión de resultados, teniendo en cuenta que el comportamiento de las arcillas especialmente expansivas son distintas en las diferentes latitudes de nuestra región. Por ello, este trabajo de investigación tiene como objetivo principal “Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en las correspondientes propiedades denominadas como físicas y mecánicas arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021. Para lo cual, se plantea en una población de las arcillas altamente expansivas del sector Ccapac Moqo – Cusco, proponiendo como Objetivo General, Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente en las propiedades físicas y mecánicas de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo. Generando solución al peligro de las consecuencias a causa de las reacciones de las arcillas expansivas de la zona, hecho que justifica la presente investigación de manera teórica y práctica. Es así, que el muestreo por conveniencia se realizará mediante el análisis de los resultados por los ensayos ejecutados de determinación del Límite líquido así como también el límite plástico, con su correspondiente Índice IP de plasticidad y por otro lado la determinación de la resistencia al ensayo del esfuerzo cortante, mediante veleta de corte tipo Torvane y la determinación del Índice de Expansión.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se sabe que las arcillas expansivas, constituyen con frecuencia inconvenientes contextualizados en el desarrollo de la ingeniería civil. Hechos que a lo largo de la historia permiten definir la necesidad de un estudio mediante la mecánica de suelos que permita obtener mayor eficiencia en las obras de ingeniería civil y se restrinjan los daños típicos. (1).

Según la investigación ingenieril, se conforman como suelos arcillosos, las partículas obtenidas a partir de muestra del suelo inferior a 2 μm micras, caracterizado por su capacidad de expansión o retracción respecto a la humedad. (1).

De la experiencia en el desarrollo de obras de ingeniería, frecuentemente tenemos: Grietas, consecuencia del asentamiento, dados en varias direcciones (retracción o expansión). Elementos estructurales de obra deformados, rotos y expuestos a fallo. Esto último, trae como consecuencia, el desenlace en daños y hasta la desgracia de las obras civiles planteadas por los ingenieros.

En ese sentido, se esclarece de manera fehaciente y lo cual ha sido corroborado a lo largo de la historia de la ingeniería, que las arcillas expansivas son un peligro para la cimentación, y dicho peligro se multiplica aún más en periodos de sequías, lo mismo que genera un efecto de repercusión en los periodos cuando al retornar el agua mediante fenómenos climatológicos, sus consecuencias en los suelos provocan diferentes tipos de daños estructurales en los suelos, y por ende en las obras de ingeniería que se soportan sobre ellos.



Figura 1: Daño ocasionado por la arcilla expansiva aún edificación. Fue extraído de *Ingeniería y Construcción*. Ingeniería y Construcción [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://facingyconst.blogspot.com/>

Por otro lado, es conocido que la expansividad de las Arcillas está directamente vinculada a la plasticidad de las mismas, conforme se aprecia en la siguiente tabla, la cual relaciona el potencial de la expansión de las arcillas así como el índice de plasticidad.

Tabla 1. Correspondencia generada de los promedios del índice de plasticidad con el potencial de expansión de las arcillas.

METODO SEED, WOODWARD AND LUNDGREN	
POTENCIAL DE HINCHAMIENTO %	GRADO DE EXPANSIÓN
0 - 1.5	BAJO
1.5 -5	MEDIO
5 - 25f	ALTO
>25	MUY ALTO

NOTA: Tomada de COT ÁLCEGA, Alberto. Geotecnia para ingeniería civil y arquitectura. 2002.

Por su lado, López Lara y otros, han demostrado, la factibilidad de la estabilización de las arcillas utilizando polímero mediante la aplicación de sus soluciones basados en un enfoque experimental clásico a través de ensayos

en los límites de consistencia, potencial de expansión en arcillas y resistencia al corte.

La presente investigación plantea el uso del polímero bi - componente para lograr aproximar mediante análisis experimental su efecto sobre la plasticidad, resistencia y potencial de expansión en arcillas como es el caso, sobre el estudio realizado en el sector de Ccapac Moqo, Cusco.

Con la presente investigación, se pretende alcanzar un mejor conocimiento del comportamiento de las arcillas, para así poder resolver los problemas prácticos de obra, aplicando un enfoque de análisis de las propiedades de las arcillas, para su solución.

Lo afrontado en el sector Ccapac Moqo, generaría beneficios significativos en el abordaje de obras de ingeniería, ya que se han podido apreciar hasta la fecha, grietas en los suelos y fisuras en las estructuras debido al cedimiento de la cimentación en la parte central o a los costados de muros construidos. Esto debido, a que en la parte superior de la zona, existe una pequeña laguna derivada de un manantial en la parte superior de la montaña, la misma que va abasteciendo de agua para riego en muchos casos y en otros, genera filtraciones que afectan directamente a las edificaciones de la zona.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el efecto de la adición de polímero bi-componente, en las propiedades físicas y mecánicas de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

- ¿Cuál es el efecto de la adición de polímero bi-componente, en los límites de consistencia de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021?
- ¿Cuál es el efecto de la adición de polímero bi-componente, en el potencial de expansión de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021?
- ¿Cuál es el efecto de la adición de polímero bi-componente, en la resistencia al esfuerzo cortante de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL.

- Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en las propiedades físicas y mecánicas de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- A. Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en los límites de consistencia de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021.
- B. Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en el potencial de expansión de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021.

- C. Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en la resistencia al esfuerzo cortante de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

1.3.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

El desarrollo de lo presentado en esta investigación pretende obtener datos resaltantes de las propiedades analizadas del suelo, como son las características físicas y mecánicas, mediante ensayos de laboratorio estandarizados, sobre un suelo anteriormente no abordado en la Region de Cusco, el cual existe en la zona alta de la carretera Cusco – Quillahuata, mas precisamente en el sector Ccapac Moqo. El aporte como profesionales inmersos en la construcción, propone generar respaldo y afrontar mediante decisiones precisas, una evaluación de calidad a través de lo resultante en los ensayos ejecutados.

Se lograra precisar los efectos del polímero bi – componente en la obtención de valores indicativos lo que permitirá la toma de decisiones de proporciones necesarias para lograr un manejo óptimo de las arcillas del sector Ccapac Moqo, garantizando su utilidad y productividad, asi como también evitando daños.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Se desarrollan e identifican las principales teorías que sustentan los estudios de arcillas expansivas y su manejo; con lo cual, por medio de la presente investigación, se contribuirá al desarrollo de la literatura

científica, sobre todo al aplicarse a una nueva población como son las arcillas del sector Ccapac Moqo – Cusco.

1.3.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Los resultados obtenidos de las propiedades analizadas, los cuales podrían considerarse confiables dentro de las características mecánicas, como de las características físicas del suelo y en el laboratorio donde se realizaron los ensayos, lo cual nos permitirá estar preparados en caso se presente en el campo de acción, un suelo con las características como las que se detallan en el presente trabajo de investigación. Se determinarán características y efectos a partir de ensayos sencillos pero convencionales y estandarizados sin tener que abordar toda la población del universo involucrado; así como también los resultados de los índices óptimos en las proporciones que garanticen la calidad apropiada del suelo para su manejo, permitiendo evitar inversiones innecesarias en polímero bi – componente u otro aditivo que aporte en la estabilización.

1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.

El estudio se circunscribe al efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas del material cuando se añade aditivo, lo cual es estudiado mediante la resistencia al esfuerzo cortante del material; así mismo incluye el estudio de la plasticidad a través del límite líquido y determinación del potencial de expansión de los suelos.

1.4.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL.

La presente investigación se lleva a cabo en la Región de Cusco desarrollado en el ámbito territorial donde se presentan este tipo de suelos, concretamente en el sector Capac Moqo, del distrito de San Sebastián – Cusco, en la región Cusco.

1.4.3. DELIMITACIÓN TEMPORAL.

Se desarrolla durante los primeros meses (6) del año.

1.5. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.

La adición de polímero bi-componente, mejora las propiedades físicas y mecánicas de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo - Cusco 2021

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.

- La adición de polímero bi-componente, altera los límites de consistencia de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021.
- La adición de polímero bi-componente, reduce el potencial de expansión, de las arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021.
- La adición de polímero bi-componente, incrementa la resistencia al corte con veletas de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021.

1.6. VARIABLES

1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE:

- Adición de polímero bi-componente.

1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES.

- Plasticidad de la arcilla
- Potencial de Expansión
- Resistencia al corte de las arcillas.

1.7. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE

Tabla 2. Matriz de operacionalización

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO DE VARIABLE / ESCALA DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
• Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en las propiedades físicas y mecánicas de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021.	VI: POLÍMERO BI-COMPONENTE	Aditivo estabilizador formado por monómeros y polímeros aceleradores de la penetración	DOSIS	%	VARIABLE CUANTITATIVA / ESCALA DE RAZÓN	%
A. Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en los límites de consistencia de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021.	VD - 1: PROPIEDADES FÍSICAS	Condiciones físicas de los materiales, que determinan el destino de su uso según sus características.	CONSISTENCIA	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	VARIABLE CUANTITATIVA / ESCALA DE RAZÓN	%
B. Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en el potencial de expansión de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021.			EXPANSIÓN	POTENCIAL DE EXPANSIÓN	VARIABLE CUANTITATIVA / ESCALA DE RAZÓN	%
C. Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en la resistencia al esfuerzo cortante de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021.	VD - 2: PROPIEDADES MECÁNICAS	La proporción de los componentes que determina características de importancia para el ingeniero.	RESISTENCIA	ESFUERZO CORTANTE	VARIABLE CUANTITATIVA / ESCALA DE RAZÓN	Kg/cm ²

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El progreso de trabajos de ingeniería, desempeñan un importante aporte en una sociedad respecto a su desarrollo económico y tecnológico, debido a que permiten una conexión cultural entre los pueblos. Es por eso y por asuntos particulares que según el lugar donde se lleven a cabo, deben ser abordados con calidad especialmente durante el diseño hasta la planificación y ejecución de las obras. Es así, que en la realización de control de calidad, puede alcanzarse logros satisfactorios que se reflejarán en la sociedad, y la atención de sus necesidades; mediante un adecuado estudio de las características del suelo, y sus propiedades.

En ese sentido, se plantean los siguientes antecedentes de la investigación sobre el tema que en esta oportunidad es expuesto en la presente.

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.

ROJAS PEREZ (2), EN LA ASPIRACIÓN DE LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, SUSTENTÓ EN SU CASA DE ESTUDIOS, LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA LA INVESTIGACIÓN MEDIANTE TESIS DENOMINADA: ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA EXPANSIVIDAD EN SUELOS BENTONÍTICOS.

Tuvo como objetivo: Analizar el desarrollo de cambios volumétricos en suelos bentoníticos analizados en la susceptibilidad mediante los ensayos de laboratorio.

La metodología desarrollada fue mediante un enfoque cuantitativo – con un diseño de investigación experimental, se caracterizo mediante hidrómetro su granulometría y se determino los Límites de Atterberg.

Como parte final, se muestran que los resultados mostraron, en el caso del ensayo de granulometria por hidrometro, se obtuvo una pendiente leve por la uniformidad armónica de las partículas contenidas en la muestra. Ensayo: límite líquido 413,0 límite plástico 30,7 índice de plasticidad 382,3 así también para el ensayo: determinación del potencial de expansión, para el caso de la muestra de arcilla bentonita en condiciones de Volumen de agua (ml), 84 potencial de expansión (%) 663,6 – 627,3 – 645,6. Por lo que se concluye que: Mediante la tabla No. 1, de Chen, Holtz, el LL, para la Bentonita, el límite genera un resultado muy alto, correlacionado al índice de plasticidad. Por su expansividad es de tipo IV, (expansividad muy alta).

GARZON MARTINEZ (3) EN LA ASPIRACIÓN DE LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, SUSTENTÓ EN SU CASA DE ESTUDIOS, LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA LA INVESTIGACIÓN MEDIANTE TESIS DENOMINADA: DESARROLLO DE OBTENCIÓN DE LL, LP E IP, MEDIANTE EL PENETRÓMETRO DE CONO, CONSIDERANDO LOS DISPOSITIVOS EXISTENTES DE LA MISMA CATEGORÍA.

El objetivo principal de esta investigación fue determinar índice de plasticidad en un suelo utilizando el penetrómetro de cono de caída. La metodología desarrollada fue de tipo: Aplicada, con un enfoque cuantitativo donde se realizaron pruebas de laboratorio en que se determinaron los límites líquido y plástico de una muestra de bentonita mediante el penetrómetro de cono descendente, copa Casagrande y rollos de material. Esto se hizo con el fin de comparar los resultados obtenidos por los diferentes métodos.

En la última parte se presentan los resultados, el límite líquido calculado por el método británico del penetrómetro de cono de caída, arrojó valores mínimo y máximo de 268 y 272 respectivamente, en comparación con el límite líquido calculado por el método tradicional de Casagrande fue menor,

ya que los valores teóricos para este método se encuentran entre 281 y 313, lo que indica que los parámetros son bajos.

Para la determinación del límite plástico, el método del doble peso arrojó resultados poco cercanos a los resultados teóricos, 99-126, Casagrande 75 lo que deja como consecuencia que para la determinación de dicho límite es recomendable continuar utilizando los métodos tradicionales como rodillos o al menos para materiales altamente plásticos como bentonita. A través de más investigaciones o el uso de otros materiales, será posible determinar si este método es óptimo o no.

Considerando esto, se concluye que: La principal ventaja que se tiene al realizar ensayos similares y de manera simultánea, es la relación que existe entre los datos obtenidos, por eso en la mayoría de ellos se obtuvo una buena correlación y aunque el tiempo que se demoró la realización de los ensayos no se considero, todo estuvo regido y cumplido a cabalidad por las respectivas normas y métodos propuestos.

INFANTE MERCHAN (4), EN LA ASPIRACIÓN DE LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, SUSTENTÓ EN SU CASA DE ESTUDIOS, LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DE COLOMBIA LA INVESTIGACIÓN MEDIANTE TESIS DENOMINADA: COMPORTAMIENTO DE SUELOS EXPANSIVOS EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES.

Tuvo como objetivo Identificar el comportamiento de cimentaciones superficiales bajo suelos expansivos, mediante,el modelado de diferentes alternativas que mitiguen el impacto de un suelo expansivo en la estructura. La metodología desarrollada fue que. En el desarrollo, es posible controlar el esfuerzo total, puesto que los resultados de los ensayos pueden interpretarse en términos de esfuerzos efectivos cuando la muestra se encuentra estable volumétricamente. Por otro lado, las condiciones de borde iniciales y finales deben ser interpretadas en términos de esfuerzos efectivos y de succión.

Como parte final, se muestran los resultados los cuales demostraron que, al elegir un suelo con un elevado potencial expansivo se realizaron diferentes modelos de suelo, modificando las concentraciones de caolín y

bentonita, simulando cambios de humedad. Encontrando que la mejor concentración fue 20% de caolín y 80% de Bentonita. Se obtuvieron resultados de límite líquido 212, Límite Plástico 141, índice de plasticidad 71, Humedad natural 60 El suelo se utilizado en el modelo se le agrego el agua requerida para obtener una humedad del 60% la cual es la deseada para la modelación. Por lo que se concluye que los ensayos previos de clasificación e identificación de potencial de expansión dan una aproximación mas concreta del fenómeno; por medio de esta información anticipada podemos tomar decisiones para evitar daños estructurales.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.

(MARTINEZ CONDOR, 2016) EN LA ASPIRACIÓN DE LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, SUSTENTÓ EN SU CASA DE ESTUDIOS, LA UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS – LIMA - PERU LA INVESTIGACIÓN MEDIANTE TESIS DENOMINADA: COMPARACIÓN ECONÓMICA DE RESULTADO Y MANTENIMIENTO ENTRE APLICACIÓN DE ADITIVO: PROES Y CONSOLID PARA MEJORA DE SUELOS BLANDOS PARA CARRETERAS SIN PAVIMENTAR EN LA SELVA PERUANA (5).

Su objetivo fue: Estudiar la estabilización de suelos, utilizando diferentes métodos, específicamente químicos, que presentan diferentes agentes estabilizantes en uso como el cloruro de sodio, cloruro de magnesio, Proes, Consolid entre otros. De los mencionados, centrandose en Proes y Consolid. Los que serán comparados económicamente, considerando los costos para rehabilitación, de mantenimiento rutinario y mantenimiento periódico, comparando la resistencia al corte para afrontar cargas móviles, preservando el bienestar de los beneficiarios de la vía y otros.

La metodología desarrollada fue el enfoque cuantitativo, ya que se calculará las superioridades técnicas, económicas como tambien ambientales por medio de proyectos ya realizados (estadísticos), se recabaran datos y se determinara que ensayos permitiran validar la investigación.

Como parte final, se muestran los resultados, los cuales indican que la dosificación óptima fue la de 5% de sustitución, que fue la que logró mejorarlos. En segundo lugar, la prueba de Corte Directo registró que la cohesión y Angulo de fricción para esta muestra (Alterada 1) eran de 0.4 kg/cm². Finalmente, a causa de que esta muestra presentara los mejores resultados en cuanto a parámetros de resistencia al corte.

por lo que se concluye que: El estabilizador químico confiere mejores propiedades al suelo, desarrolla incremento en su resistencia a los esfuerzos cortantes y mejora el confort durante el transporte por carretera. El tiempo de circulación, con buen mantenimiento, es de 4 y 3 años para los aditivos Proes y Consolid, respectivamente.

GÓMEZ CORNEJO (6), EN LA ASPIRACIÓN DE LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, SUSTENTÓ EN SU CASA DE ESTUDIOS, LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO LA INVESTIGACIÓN MEDIANTE TESIS DENOMINADA: COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA DE TIERRA CRUDA ELABORADOS CON TIERRA DE LOS SECTORES TAMBILLO - CUSCO Y PETROPERÚ - SAN JERÓNIMO, ESTABILIZADOS CON EL SISTEMA CONSOLID, CUSCO 2018.

Esta investigación tuvo como objetivo: Determinar las características físico-mecánicas de las elementos de mampostería, elaboradas con tierra cruda de la zona de Tambillo del distrito de Cusco y de la zona de Petro Perú del distrito de San Jerónimo de la ciudad de Cusco, estabilizadas con sistema CONSOLID.

La metodología desarrollada en esta investigación fue del tipo *cuantitativa*, porque se describió y analizó un hecho real de forma tangible, observable y medible para dar un aporte científico, mediante el mayor número posible de especímenes a investigar. De acuerdo a Sampieri (2014). El método que se utilizó fue *hipotético -deductivo*, pues como lo afirma Bernal (2010), “El método hipotético-deductivo es un procedimiento que parte de ciertas afirmaciones como hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, mediante la presunción de conclusiones que deben confrontarse con los

hechos” (Bernal, 2010). Como parte final, se obtuvieron los resultados del LL= 26, LP= 17, IP= 9 para el suelo del Distrito de Cusco así como también LL= 19.6, LP= 0.0, IP= 19.6 para el suelo del Distrito de San Jerónimo – PetroPeru resultados del suelo sin la dosificación de aditivo CONSOLID. La resistencia máxima de las unidades de albañilería fabricadas con suelo del sector de Tambillo del distrito de Cusco, supera a la resistencia de los adobes, establecido en la Norma-Técnica-Peruana E.080 según la que la resistencia mínima es de 10.2 kg-f/cm² para un adobe tradicional. Por otro lado, la unidad de albañilería con la mayor resistencia registrada, elaborada con suelo del sector de PetroPerú (distrito de San Jerónimo) fue de 10.79 kg-f/cm² y supera a la resistencia del adobe especificado en la Norma E.080 donde indica que la resistencia mínima es de 10.2 kg-f/cm² para un adobe tradicional. Por lo que se concluye que la investigación da a conocer a la población en general y, principalmente, a la población de las zonas rurales alto andinas, que existen otras alternativas en la construcción de viviendas que no necesariamente representan un alto costo en su elaboración. Dentro de las conclusiones se tiene que: Esta unidad estabilizada con el sistema CONSOLID, demuestra tener una óptima resistencia a compresión y una mejor durabilidad que las unidades de tierra cruda estabilizadas con paja (adobe).

QUISPE PUSARI (7) , EN LA ASPIRACIÓN DE LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, SUSTENTÓ EN SU CASA DE ESTUDIOS, LA UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS LA INVESTIGACIÓN MEDIANTE TESIS DENOMINADA: ESTUDIO PRÁCTICO DE MEJORA DE LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO EXPANSIVO, ESTABILIZADO CON VIDRIO EN POLVO RECICLADO Y FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LA CIUDAD DE TALARA, DEPARTAMENTO DE PIURA.

Esta investigación tuvo como objetivo principal estudiar de manera experimental, para demostrar que el uso de polvo de vidrio reciclado y la fibra de polipropileno se complementa logrando una gran mejora en el comportamiento de incrementar la resistencia al corte de un suelo

expansivo, a comparación del uso de otros aditivos, como el cemento, cal y caucho reciclado, entre otros.

La metodología desarrollada fue que: La siguiente investigación es de nivel descriptivo, debido a que se explicará paso a paso el procedimiento de los ensayos, con observaciones detalladas, que se aplicará a las muestras de suelo. Para este caso, la investigación posee un diseño experimental, a causa de que se realizaron ensayos de laboratorio con las muestras de suelo arcilloso en conjunto con los materiales de polvo de vidrio y fibras de polipropileno.

Como parte final, Se obtuvieron los resultados para la muestra inalterada (0% sustitución): Se registro un índice de Plasticidad que asciende a 22.7%, la muestra se caracteriza con un potencial de expansión medio. se puede determinar que nuestra muestra de arcilla tiene un potencial expansivo de grado medio, debido a que nuestro LL es igual a 45.4%, como nuestro IP es igual a 22.7%. Para la muestra alterada 1 (5% sustitución) se obtuvieron los siguientes resultados: N° golpes 25, LL 41.7, LP 24.7 IP 17.0, Luego, se trabaja con la Muestra Alterada 2, la cual posee un 6% de porcentaje de sustitución. N° golpes 25, LL 37, LP22.0, IP15.0. Para la muestra alterada 3 (7.5% sustitución) se obtuvieron los siguientes resultados: N° golpes 25, LL 40.1, LP22.9, IP17.2. A continuación, se ha determinado la máxima resistencia al corte, en el caso de haber tenido: 0% de sustitución se recaba la máxima resistencia al esfuerzo cortante: 1.332 kg/cm², para 6% de sustitución: 1.600 kg/cm², para 7.5% de sustitución: 1.751 kg/cm². por lo que se concluye que: 1. La identificación visual que se realizó en la muestra extraída sirvió para confirmar que el suelo es netamente arcilloso, se sometió a una cantidad de agua significativa para observar el comportamiento plástico. Por otro lado, con el registro del LL, LP e IPa la muestra, se pudo comparar estos datos con los criterios de expansividad de Rodríguez Ortiz, Holtz y Gibbs, y en función a la norma colombiana NSR-98, y de esa manera determinar que se trataba de una arcilla medianamente expansiva. 2. Los estabilizantes que se usaron se determinaron tomando como antecedentes diversos artículos, paper, tesis, etc. Las dosificaciones, se establecieron con respecto a investigaciones pasadas y tomando en consideración las propiedades que cada ingrediente

proporcionaba al suelo. Es decir, se logró demostrar con datos numéricos a través de ensayos de mecánica de suelos que el polvo de vidrio y la fibra de polipropileno mejoraron al suelo en estado natural en cuanto a la resistencia al corte. 3. Los ensayos que se realizaron demostraron que las propiedades de resistencia al corte mejoraron, usando las dosificaciones de 5%, 6% y 7.5%. Incluso, se obtuvo que la expansividad se redujera tomando como referencia los criterios de expansión de los autores estudiados.

2.2. BASES TEÓRICAS

PROPIEDADES DEL SUELO

Propiedades físicas del suelo

De acuerdo a lo especificado en la norma E.050 de suelos y cimentaciones, indica de que para poder obtener las características de las propiedades del suelo, deben ser realizados ensayos de laboratorio y ensayos en el lugar o in situ. Como coincide lo mencionado (8) en mecánica de suelos, se debe, mediante ensayos de laboratorio conocer las características y propiedades del suelo, de ese modo podremos calcular y predecir el comportamiento de un suelo.

a. Humedad natural del suelo

Según Zotarelli, Lincoln (9), el contenido de agua presente en el suelo, el cual debe ser expresado como porcentaje calculado de la relación del peso de agua obtenido en una masa dada a partir del suelo entre el peso de sus partículas sólidas

b. Análisis granulométrico del suelo

Se define como la obtención de cómo se distribuyen las partículas el cual debe ser expresado (10), en porcentaje respecto al peso total debido a que el suelo tiene partículas de diferentes tamaños. Se tienen los métodos generalmente usados para determinar esta distribución como por ejemplo: análisis granulométrico tamizando las partículas con diámetro superior a

0.075mm así como también el análisis hidrométrico el cual es utilizado respecto a partículas que tienen diámetro inferior a 0.075mm. (Pag. 23.)

Del mismo modo, la norma técnica peruana (NTP 339.128, 2006), indica que es la distribución de partículas de un determinado suelo realizado a través de los tamices con medidas estandarizadas. Es importante mencionar que dicha distribución permitirá clasificar los suelos mediante los sistemas de clasificación conocidos. El análisis realizado permitirá clasificar en función de las partículas habiendo evidenciado las dimensiones de las mismas (11).

Tabla 3. Dimensiones de partículas.

DIMENSIONES DE PARTÍCULAS		
TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO DE PARTÍCULAS (mm)	
GRAVA	75 - 4.75	
ARENA	ARENA GRUESA: 4.75 - 2.00	
	ARENA MEDIA: 2.00 - 0.425	
	ARENA FINA: 0.425 - 0.075	
MATERIAL FINO	LIMO	0.075 - 0.005
	ARCILLA	MENOR A 0.005

Nota: Tomada de: Ingeniería y Construcción. *Ingeniería y Construcción* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://facingyconst.blogspot.com/>

Tabla 4. Secuencia de mallas para el análisis granulométrico para suelos según MTC E107

Tamiz N°	Diam.(mm)
4"	100
2"	50
1"	25
3/8"	8,75
4	4,750
10	2,000
20	0,840
40	0,425
60	0,250
100	0,150
200	0,075
bandeja	0,000

Nota: Tomada de: Ingeniería y Construcción. *Ingeniería y Construcción* [en línea]. consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://facingyconst.blogspot.com/>

Según la realización de análisis representativo de datos se logra graficar en papel semilogarítmico, el porcentaje acumulado de pesos en escala aritmética y el tamaño de apertura del tamiz expresado en escala logarítmica por medio de la cual se puede definir a la curva con que se distribuyen los tamaños de las partículas (10) (pág. 35).

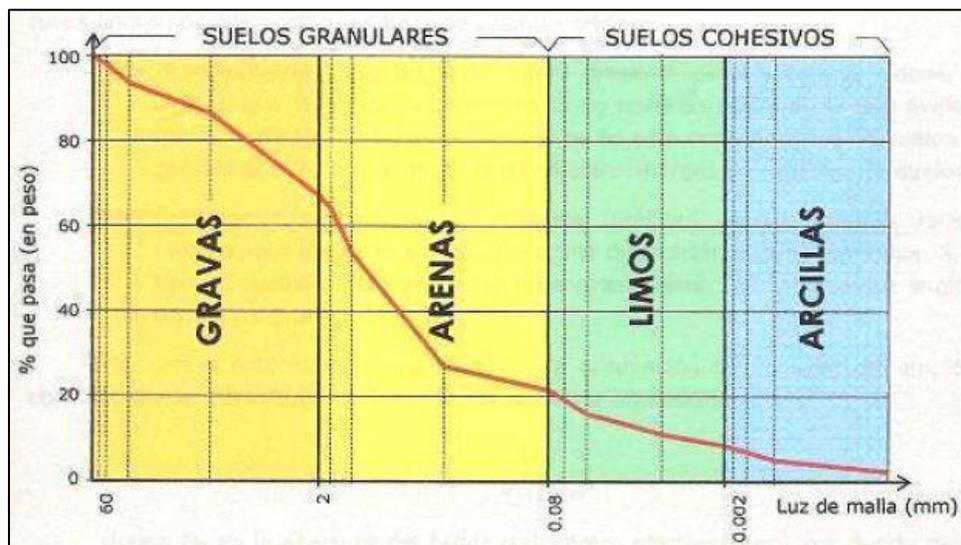


Figura 2: Curva de granulometría de un suelo e interpretación de la curva de acuerdo a la proporción de materiales. Tomada de: BAÑÓN, Luis; BEVIÁ GARCÍA, José Francisco. Manual de Carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento. Caminos II, 2000.

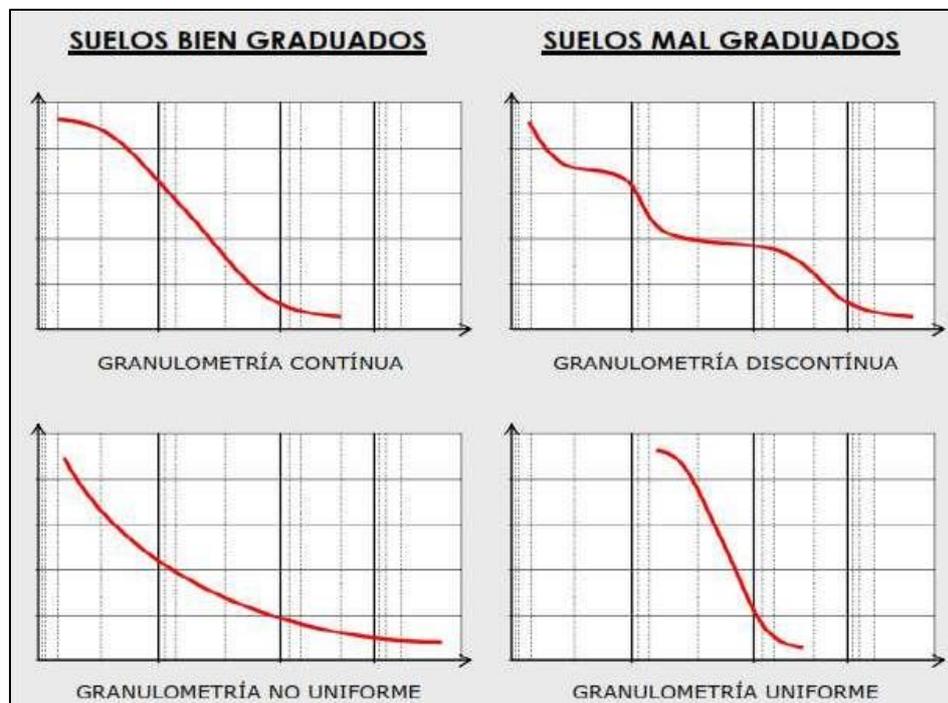


Figura 3: Curva granulométrica de distintos tipos de suelos. Tomada de: BAÑÓN, Luis; BEVIÁ GARCÍA, José Francisco. Manual de Carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento. Caminos II, 2000.

c. Consistencia del suelo

Lo que permite definir la teoría respecto a la consistencia del suelo desarrollada por Albert Atterberg(1900) quién menciona que de acuerdo a la incorporación de diferentes cantidades de humedad en el grano fino, lo que por medio de un contenido de humedad muy bajo hace que el comportamiento en el suelo sea como un sólido que se resquebraja muy fácilmente. Sin embargo (12) si el contenido de humedad fuese muy alto este suelo lograría fluir como un líquido. Es lo que permite dividir en 4 estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido (pág. 64).

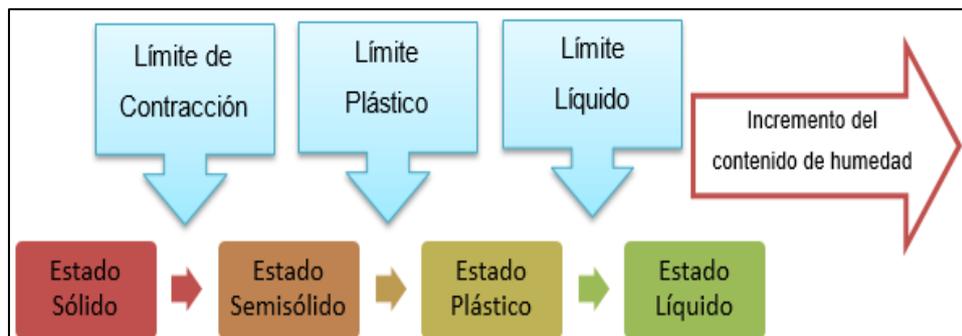


Figura 4: Límites de Atterberg. Tomada de: LIQUIDO, Limite; PLÁSTICO, LÍMITE; DE FLUIDEZ, DIAGRAMA. Límites de Atterberg. ESTABILIZACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TALUDES EN CARRETERAS, CASO "IIRSA NORTE TRAMO N° 1 KM 45+ 690–KM 45+ 830", 2015.

• Límite líquido

Se define según la norma técnica Peruana (NTP 339.129, 2006), Como la representatividad de la humedad en el suelo la cual permitirá hallar el límite del estado líquido y del Estado plástico. Esta misma humedad nos permitirá generar su determinación de Límite del comportamiento como fluido, es decir el límite líquido, al colocar una masa del suelo en la cazuela de Casagrande, la que mediante un ranurador especializado es separado por la mitad y luego se debe dejar caer la cazuela desde una altura de 1 cm. De ese modo se debe hacer llegar un contacto entre las dos fracciones del suelo hasta cerrar la ranura en contacto de 1.3 cm, lo cual debe ser generado con 25 golpes de la cazuela contra la base. Para realizar el cálculo se harán pruebas con diferentes contenidos de humedad lo que por medio del método gráfico se logra determinar la

humedad cuando se den 25 golpes en un gráfico de escala semilogarítmica (humedad versus número de golpes).

- **Límite plástico**

Se refiere como el contenido de humedad calculado a partir del suelo, mediante el cual el rollito de 3 mm de diámetro debe soportar su estiramiento hasta que se rompa o resquebraje, la muestra con la que se realizará dicho espécimen será el suelo pasante por la malla N° 40. Así también, es necesario mencionar que la diferencia de la sustracción de Límite Líquido con el límite plástico es denominado el Índice de Plasticidad del suelo. (NTP 339.129, 2006)

- **Índice de plasticidad**

Se refiere al comportamiento de una muestra de suelo con respecto a su contenido de humedad, es lo que indica que el suelo se podrá trabajar de modo que permitirá resistir deformaciones sin llegar a fallar.

Tabla 5. Escalas del suelo de acuerdo al IP

IP	CARACTERÍSTICAS
IP > 20	SUELOS MUY ARCILLOSOS
20 > IP > 10	SUELOS ARCILLOSOS
10 > IP > 4	SUELOS POCO ARCILLOSOS
IP = 0	SUELOS EXENTOS DE ARCILLAS

Nota: Tomada de Ingeniería y Construcción. *Ingeniería y Construcción* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://facingyconst.blogspot.com/>

- **Fenómeno de Expansión**

Se considera el proceso producido como un fenómeno en cuanto un suelo no saturado es humedecido y cuando absorbe agua entre sus partículas este logra incrementar su volumen. Este fenómeno se genera debido a la relajación de esfuerzos grandes posibilidades de colapso, todo esto puede hacerse realidad y depende de cómo está compuesta

la estructura del suelo. En términos generales su expansión esta asociada a terrenos arcillosos con características plásticas y con densidades secas altas y también que sufren presiones bajas del exterior. Contradictoriamente a lo presenciado de manera habitual en el colapso. (Barrera B & Garnica A, 2002, pág. 47).

- **Potencial de expansión de Suelos**

Es una propiedad física de los suelos que puede evaluarse en las estructuras constructivas donde existe hinchamiento del suelo cuando aumenta su cantidad de agua y se retraen cuando la disminuye.

Debe distinguirse el término "potencial de expansión", de la "expansión" de acuerdo de donde proviene dicha pérdida de agua. Las arcillas expansivas producen empujes verticales y horizontales afectando las cimentaciones, empujando muros y destruyendo pisos y tuberías enterradas. En las vías se presentan ascensos y descensos que afectan su funcionamiento. También, estos suelos expansivos se retraen y los taludes fallan. (Barrera B & Garnica A, 2002, pág. 48).

La expansión de suelo a través de la experiencia de los ingenieros geotecnistas, ha demostrado que es factor importante en el diseño de la cimentación de cualquier estructura, y sobre todo para la prevención de la inestabilidad en el horizonte de su vida útil. (Barrera B & Garnica A, 2002, pág. 48).

- **Suelos gruesos**

Se denominan y clasifican las gravas como también las arenas, en este caso sí más del 50% de la porción gruesa es retenida por la malla N° 4 es posible clasificarla en el grupo de gravas (G), de no ser así pertenecería al grupo de arenas (S).

De los ya mencionados cada uno se subdivide en otros cuatro grupos: GP, GP, GW, GC, SW, SP, SM, SC siendo el caso para las gravas y arenas, debiendo considerarse lo dicho porque éstos permiten presentar porcentajes de finos. Así también los símbolos de GW y GP hacen referencia a gravas bien graduadas así como también a gravas mal graduadas y también para el caso de aquellas que tengan signos que son GM lo que dicta grava limosa y GC a una grava arcillosa.

En el caso de las arenas SW, SP, SM y SC las que corresponden a arenas bien graduadas, arenas mal graduadas, arenas limosas y arenas arcillosas respectivamente (13) (pág. 92).

- **Suelos finos**

Los suelos finos considerados limos y también arcillas, se agrupan dentro de tres grupos con LL por debajo del 50% así como también los que superaron el 50% y un solo grupo para aquellos suelos finos muy orgánicos. Si en caso el suelo tuviese un LL inferior al 50%, estamos hablando de que si tiene compresibilidad media o baja, se colocará del símbolo L después de los prefijos M, C y O. De tal manera que se obtengan los grupos ML, CL, LO los que al denominarse limos y arcillas inorgánicas de baja compresibilidad y limos orgánicos de baja

compresibilidad según corresponde. Así también las turbas que sabemos, que son suelos altamente orgánicos serán considerados con el símbolo Pt. (13) (pág. 93).

Para considerar los elementos esenciales de SUCS - SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS, el cual fue propuesto principalmente por Arturo Casagrande en 1942. Luego el mismo se incluyó a su metodología del cuerpo de ingenieros de Estados Unidos en la construcción de aeropuertos. En la actualidad este sistema es utilizado mayormente en casi todos los países después de Estados Unidos realizando mínimas modificaciones (*J. Bowles, 1981*). En el sistema SUCS se clasifican según la tabla.

- W: Suelo Bien graduado
- P: Suelo Mal graduado
- L: Suelo con baja plasticidad (límite líquido menor que 50%).
- H: Suelo con alta plasticidad (límite líquido mayor que 50%).

Tabla 6. Clasificación SUCS para suelos gruesos.

El material se considera grueso si se retiene más del 50%		Nº 200	Se considera fino si se retiene más del 50%
ES RETENIDO		0.075 mm	PASA
GRAVA	ARENA		LIMO O ARCILLA
Sí más del 50% de la fracción gruesa queda retenida en tamiz Nº 4	Sí más del 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz Nº 4		EL SUELO ES:
			LIMO (M)
			ARCILLA (C)
			ORGANICO (O)

Nota: Tomada de DAS, Braja M.; SHUKLA, Sanjay K. Earth anchors. J. Ross Publishing, 2013, p. 61 (12)

Tabla 7. Clasificación SUCS para suelos gruesos.

Divisiones Mayores			Símbolo del grupo	Nombre del grupo
Suelos granulares gruesos. El 50% o más se retuvo en el tamiz nº200 (0.075 mm)	Grava < 50% de la fracción gruesa que pasa el tamiz n.º 4 (4.75 mm)	grava limpia menos del 5% pasa el tamiz nº200	GW	grava bien graduada, grava fina a gruesa
			GP	grava pobremente graduada
		grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200	GM	grava limosa
			GC	grava arcillosa
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz n.º 4	Arena limpia menos del 5% pasa el tamiz nº200	SW	Arena fina a gruesa.
			SP	Arena pobremente graduada
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200	SM	Arena limosa
			SC	Arena arcillosa

Nota: Tomada de DAS, Braja M.; SHUKLA, Sanjay K. Earth anchors. J. Ross Publishing, 2013, p. 66 (12)

Tabla 8. Clasificación SUCS para suelos finos.

Divisiones Mayores			Símbolo del grupo	Nombre del grupo
Suelos de grano fino. Más del 50% de la muestra pasa el tamiz No.200 (0.075 mm)	Limos y arcillas. límite líquido < 50	inorgánico	ML	limo
			CL	arcilla
		orgánico	OL	Limo orgánico, arcilla orgánica
	Limos y arcillas. límite líquido ≥ 50	inorgánico	MH	limo de alta plasticidad, limo elástico
			CH	Arcilla de alta plasticidad
		orgánico	OH	Arcilla orgánica, Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos			Pt	turba

Nota: Tomada de DAS, Braja M.; SHUKLA, Sanjay K. Earth anchors. J. Ross Publishing, 2013, p. 124 (12)

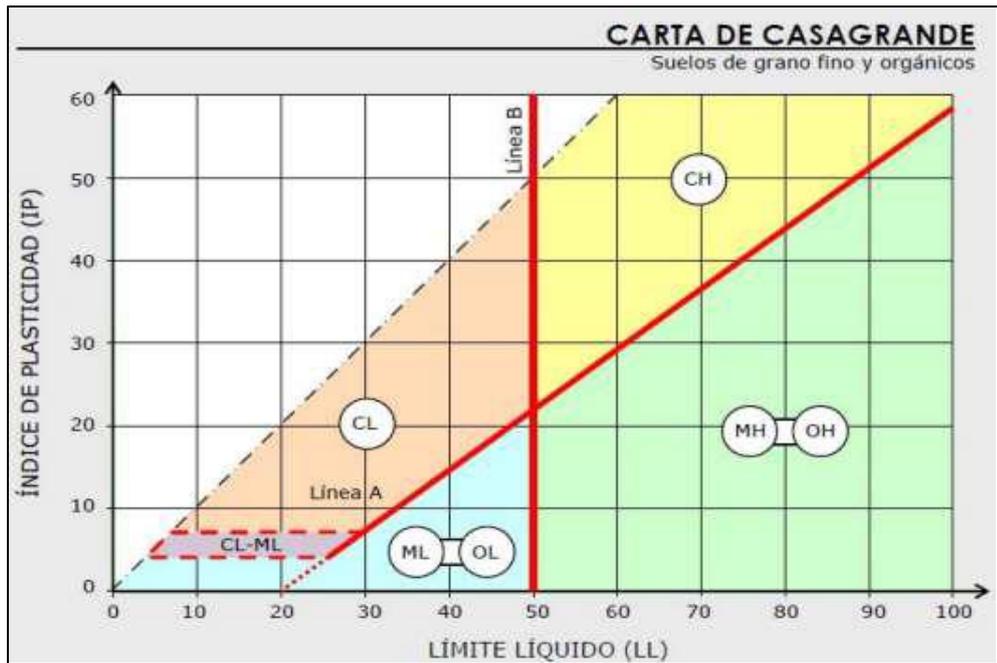


Figura 5: Carta de Casagrande (Suelos finos y orgánicos). Tomada de DAS, Braja M.; SHUKLA, Sanjay K. Earth anchors. J. Ross Publishing, 2013, p. 79 (12)

Propiedades mecánicas del suelo

2.2.1.1. Compactación de suelos

Esta relacionada con la comparación de suelos respecto a la resistencia y deformabilidad así como también estabilidad. Todo esto hace que sea una propiedad importante que es influenciada por la presencia de la humedad, Por lo cual se trata de realizar mejoras en sus características propias de los suelos, todo en el ámbito del desarrollo de infraestructura para las carreteras (Montejo, 2002 pág. 476)

- **Suelos arcillosos**

Según Pinzón Rodríguez, A. M., Rodríguez Daza, E. A., & Castañeda Martín, P. A. (14). En su edición: Acondicionamiento de la escuela la Cascada de la vereda la Cascada del Municipio de Mesetas Meta. El término *arcilla* es empleado 1. Analizado en el sentido petreo siendo un tipo de roca por sí misma, 2. Abarcando el sentido mineralógico, es el conjunto que componen los minerales y que comparten sus características químico - estructurales, 3. Dentro del sentido

granulométrico, se considera material arcilloso en caso de que el tamaño de grano de sus partículas sea inferior a 0.005 mm.

- **Naturaleza de los suelos arcillosos**

Como afirma Crespo (13). Las arcillas son partículas en estado sólido que tienen una masa con la propiedad de convertirse en plástica, es decir, que puede moldearse al mezclarse con agua y como menciona Juárez y Rico (2005) se tiene que los agentes que descomponen de manera química genera un producto final como lo es la arcilla, tomando como punto de partida diversos minerales especialmente silicatos los cuales provienen de rocas ígneas y metamórficas. Es diferente del caso de suelos gruesos, las arcillas en su comportamiento mecánico están influidas por su estructura en general así como también por su constitución mineralógica.

Los suelos caracterizados por ser cohesivos como son las arcillas de acuerdo con Kraemer. (2004), tienen en sí mismas una gran capacidad para absorber agua, esto se manifiesta en las grandes variaciones de volumen cuando se cambia la humedad. Demostrándose que los suelos cohesivos tienen la capacidad de hincharse y contraerse y esto puede presentar pérdida de capacidad resistente.

- **Arcilla expansiva.**

El principal agente en estos casos es la humedad, generando grietas profundas. Favoreciendo la mezcla de materiales de horizontes profundos (estratos horizontales del suelo), las grietas se rellenan con materiales externos, ya que cuando la arcilla se vuelve a hidratar, expulsa materiales más profundos debido a la falta de espacio y lo mismo es reiterado durante años. Este fenómeno genera suelos de tipo vertisoles el cual es formado por la mezcla de minerales de color normalmente negro, es así que donde hay gran cantidad de minerales

de arcilla expansiva, muchas de ellas montmorillonitas, en el proceso genera grietas durante las estaciones de sequía (15).

Berry y Reid (1993) Indican que determinada masa de arcilla se considera remodelada si se ha alterado su integridad hasta el nivel de modificar su estructura original. Considerando en términos generales tenemos que la resistencia remodelada claramente se identifica inferior a la correspondiente de una muestra inalterada. Esta pérdida de la resistencia es atribuida al proceso de ruptura de la adhesión electroquímica que tienen las partículas, así como a la redistribución de parte del agua, la cual ha sido absorbida y después del fenómeno es convertida en agua libre. Ameratunga *et al.* (2016)

- **Métodos de estabilización de suelos**

La estabilización para el MTC (16), El proceso de estabilización del suelo tiene como objetivo mejorar e incrementar su resistencia así como su durabilidad y su permeabilidad al agua entre otros (p. 118)..

- **Estabilización Química**

Existen diferentes métodos de estabilización química como por ejemplo: *Estabilización mediante la aplicación de sales o cloruros*. La norma técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004, 2011. Indica que muchas veces se aplican cloruros en la elaboración de mezclas con el suelo de modo que se pueda tomar como aceptable en el proceso de compactación de modo que se haga más lenta la velocidad en que se evapora la humedad de la mezcla durante el proceso de compactación.

Sabemos que el cloruro es un material que tiene una característica higroscópica, atrae la humedad del aire y de otras partes generando muchas veces demasiada humedad y también generando superficies jabonosas.

- **Estabilización de suelos con resinas y polímeros.**

En la presente investigación nos enfocaremos en el uso de materiales de estabilización de suelos con polímeros, la cual ha tenido

como característica principal generar una estructura impermeable al agua, existen otros polímeros y resinas sintéticas que desarrollan otro tipo de comportamientos, pero nos centraremos en el ya mencionado. Gran cantidad de productos comerciales caen en esta clasificación y sus resultados son variables según el tipo de suelo y los elementos que constituyen el aditivo, (17). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. Revista Iberoamericana de polímeros.

- **Polímeros, tipos y usos.**

Palabra polímero está compuesta por "poli" que significa muchos y "meros" que significa parte. La instancia que constituye solamente una unidad del polímero es denominado "monomero". La cantidad de unidades monómeras contenidos en el polímero es denominado de grado de polimerización". (Ravines Merino, 2010)

- **Usos de los polímeros.**

Tenemos por ejemplo: Los estabilizadores de suelos son productos de distintas procedencias, especialmente están destinados para impermeabilizar y estabilizar suelos naturales y permitir su uso como elemento estructural. El empleo permite aprovecharlos, pues sí no son aptos para su uso en el desarrollo de infraestructura de ingeniería y al mismo tiempo su costo unitario permite ser afrontado a una escala menor respecto especialmente a costos. En los beneficios de su uso dependiendo de la duración y de dónde se aplique, se logra menor gasto en lo que corresponde a mano de obra también se reduce el uso de maquinaria y combustible, en consecuencia el flete y Transporte de materiales se benefician; optimizando los tiempos para evitar incumplimientos o retrasos en las entregas.

Los efectos que genera el aditivo una vez aplicado en el suelo es reducir su capacidad de retener y absorber agua por medio de la densificación de la estructura generando menor presencia de aire y otorgando mayor capacidad de escurrimiento al modificar la tensión superficial de los elementos componentes del suelo a estabilizar.

- **El polímero bi - componente.**

Es indicado para desarrollar trabajos referentes a construcción y también relleno, utilizado para reparar desperfectos en la mayoría de materiales según la necesidad. El material bi-componente, está conformado por un aditivo y también un endurecedor que se mezclan para su aplicación. Como indica Escriche Rodrigo, D. (2019). “Diseño e implantación de un protocolo de Mantenimiento de una dosificadora de aditivo bi – componente”.

También afirma (Ravines Merino, 2010) “Los polímeros se usan generalmente en estabilización de suelos, para darles una mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil”.

- **Sistema CONSOLID**

CONSOLID Este sistema de estabilización se diferencia de otros métodos porque torna la estabilización en un estado irreversible del suelo. Eren & Filiz, M. (2009).

Este sistema de estabilización de suelos cohesivos y semi cohesivos es aplicado especialmente en los mencionados, debido a que tienen la posibilidad de volver a petrificarse durante tiempo prolongado. El sistema fue acelerando procedimientos catalíticos generando reacciones de estabilización. Se basa aplicándolo en el suelo y mezclando sus dos componentes: el Consolid 444 que es el componente líquido y el Solidry que es el componente en polvo (5).

El sistema CONSOLID Favorece la compactación y regula la humedad del suelo, independizando el estado de cada una de las variaciones climáticas como la lluvia o la sequía. (Manual CONSOLID, 2016).

	CONSOLID 444	SOLIDRY
Presentación	líquido de color blanco	polvo muy fino de color blanco
Envase	tambores de 200 litros	bolsas de 30 kg.
Aplicación	con regador de agua común	en forma manual
Preparación	listo para usar, debiéndose agregar al agua del regador	listo para usar
Conservación	en tambores bien cerrados	en lugar seco

Figura 9. Aditivos Consolid, Conservex y Solidry. Tomada de: Sistema CONSOLID. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <http://www.globalenvironmentdevelopment.net/consolid/index.php/sistema-consolid/default.htm>

- **Uso de CONSOLID en obra**

Dosificación del estabilizador.

La dosificación es expresada mediante la cantidad de producto estabilizador calculado de acuerdo a su aplicación por metro cúbico de material compactado.

La dosificación apropiada será suministrada por el fabricante de manera general y también estará sujeta a los resultados de ensayos de laboratorio para cada suelo en particular. (TDM 2012)

Dilución.

Sí generará la relación de dilución entre el producto o la proporción de estabilizador y agua que surgirá de acuerdo a las consideraciones del suelo donde se aplicará, considerar el contenido de humedad inicial del suelo, las condiciones de evaporación y el equipo de riego (TDM 2012).

Riego.

El desarrollo de la operación de riego deberá ser tal que:

- a) Se logró controlar la cantidad de producto dosificado en la disolución de agua (TDM, 2012, p. 9).
- b) Lograr tener distribución de agua y de producto incorporado de manera uniforme en todo el ancho del camino a aplicar. Se aplicará pasadas sucesivas de riego mientras se mezcla con una

motoniveladora y otro maquinaria adecuada para este proceso (TDM, 2012, p. 10).

Componente Líquido C444

El Consolid 444. Este componente el que logra la numeración irreversible de las partículas y conforman el suelo. Se forman complejas estructuras moleculares que se desempeñan mediante procesos catalíticos. Entonces se logra reducir la tensión superficial del agua que circunda por las partículas del suelo generando así mayor compactación entre ellas. Pero de mayor resistencia a las deformaciones y también disminuye la saturación capilar del suelo. (*Consolid Productos Viales*).

Componente sólido SOLIDRY - SD

Funciona como producto complementario y refuerza la protección contra el agua generando bloqueo capilar y permitiendo que el agua que se encuentra en la superficie no logre penetrar la capa tratada. Este componente se aplica especialmente a suelos de alta plasticidad reduciendo su índice plástico de modo que pueda ser tratado fácilmente. Impermeabiliza el suelo eliminando su sensibilidad al agua y mediante su aplicación; respecto al suelo tratado actúa sobre la carga iónica de las partículas generando su unión y evitando la entrada de agua (*Consolid Productos Viales, 2012*).

Estabilización con el sistema CONSOLID

“Este procedimiento puede ser definido como la modificación de las propiedades del suelo en sus comportamientos mecánicos y características físicas, de modo que transforma el suelo en un material apto para la construcción. El desarrollo de esta modificación se logra mediante la aplicación del polímero cuya acción mejora las propiedades mediante la aceleración de componentes naturales de atracción de partículas que generen compactación. Es por ello que

se recomienda su uso cuando el suelo se toma como material de construcción y también tiene problemas de estabilidad” (18).

Rangos de dosificación del sistema CONSOLID

Se aplican los valores de C-444 el cual en su presentación es un líquido soluble en agua y SD el cual en su presentación es un polvo para su aplicación en el suelo seco según corresponde. A partir de los ensayos y estudios que el fabricante realizó, se tiene los datos provistos por el fabricante para su aplicación, (J. Aguirre, 2012) estos son:

Tabla 1. Dosificación del polímero bicomponente

Componente Líquido	C-444	0,4 Hasta 1	l/m³
Componente Sólido	SD (Solidry)	2 lHasta 4	kg/m ²

Nota: Tomada de: Sistema CONSOLID. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <http://www.globalenvironmentdevelopment.net/consolid/index.php/sistema-consolid/default.htm>

- **Ensayos de campo.**

Los ensayos que se realizan en campo son los que permiten la ventaja de que la muestra no se encuentra en un estado alterado y las condiciones para la práctica se asemejan más a la realidad, además, que permiten tener una opción más cercana respecto a la toma de decisiones en el momento y en el lugar. Pero muchas veces no se cuenta con una metodología apropiada cuando se requiere, asimismo en caso de que pueda realizarse el ensayo mediante la mano de obra experta también los costos pueden incrementarse por el transporte y el alquiler de los equipos.

- **Ensayos de laboratorio.**

Son desarrollados con la ventaja de que pueden ser más rigurosos en cuanto al cumplimiento de los procedimientos, pero sin embargo existe la dificultad de la toma y transporte de la muestra, también las

pruebas de laboratorio son un poco más costosas y por lo tanto la obtención de resultados es influenciado directamente por el tiempo.

Métodos de análisis físicos de suelos

- **Ensayos Físicos.**

Los ensayos físicos se emplean para poder conseguir características primordiales del suelo, como son las propiedades mecánicas, las cuales a su vez se relacionan directamente con la composición del mismo, más aún cuando se trata de suelos arcillosos, en estos casos, el índice de plasticidad nos provee información. Sin embargo, en este caso para tener un índice de la expansividad de los materiales muestreados empleamos ensayos de determinación del contenido de humedad, en función de la norma ASTM D2216. La determinación del LL en función de la norma ASTM D4318 y el Método de prueba estándar para calcular la resistencia al corte de suelos cohesivos mediante el dispositivo de corte de veleta manual tipo Torvane en función de la norma ASTM D8121. Todos estos ensayos fueron aplicados a las muestras dispuestos por conveniencia y asimismo a una muestra de suelo arcilloso del Sector Ccapac Moqo – San Sebastián. Cusco, dosificando el aditivo bi - componente CONSOLID.

- **Cantidad mínima de suelo para ensayos de laboratorio**

Para llevar a cabo los ensayos de análisis mencionados en suelos cohesivos, la cantidad mínima de muestra requerida como se detalla en las normas referidas, debe ser de 65g de material que pase por el tamiz N° 40. a fin de que sea una proporción suficiente para poder ser considerada representativa, dicha información fue constatada en el Manual de Ensayo de Materiales MTC (11). Esta cantidad es la mínima requerida para los ensayos que serán desarrollados en la presente investigación.

- **Límites de Atterberg**

El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916). Son utilizados para poder caracterizar el comportamiento de los suelos finos, se basa en que mediante el concepto un suelo de grano fino sólo puede permanecer en cuatro estados de consistencia según la cantidad de humedad que posee. En el punto que un suelo arcilloso es mezclado con una cantidad excesiva de agua, éste podría fluir como un semi líquido de modo que si es secado gradualmente éste podrá comportarse como un material plástico, semisólido o sólido, esto dependiendo de su contenido de agua. este porcentaje de humedad con el que el suelo cambia su estado de líquido a un estado plástico es lo que se denomina límite líquido - LL. del mismo modo el porcentaje de agua cambia desde un estado plástico hasta un estado semisólido y este último para luego cambiar a un estado sólido, a esto se denomina límite plástico - LP (10).

- **Resistencia de los suelos**

Abordando el tema de la resistencia de los suelos, en el caso de la mecánica de suelos debemos tratar la estabilidad de taludes, erosión, drenaje, compactación (E McKyes, 1989). A partir de allí que los conceptos como equilibrio y el estado crítico de los suelos para lo cual se aplican teorías y modelos desarrollados con base en principios mecánicos del suelo respecto a esfuerzos y deformaciones y otros más meticulosos manejados con elementos finitos matemáticos y cálculos diferenciales. Cada uno con sus propios parámetros no funciona el problema a solucionar. (Brinkgreve, 2005).

- **Resistencia al Corte del suelo y su medición**

Diferencia de otros materiales, el suelo tiene un tipo de falla particular conocido como la falla por corte para el cual existen diversos ensayos para medir la resistencia del suelo al corte que forman parte de la práctica habitual en el estudio de la mecánica de suelos.

- **Ensayo de corte de suelos cohesivos mediante dispositivo de veleta manual tipo Torvane**

De toda la metodología existente respecto al corte de los suelos, es probablemente el de la veleta el más accesible cuando se trata de medir la resistencia de las arcillas. Por su simplicidad, velocidad y bajo costo además de la información que se puede adquirir mientras se realiza su procedimiento. (Biscontin & Pestana, 2017)

El procedimiento se encuentra descrito en la norma ASTM 2573. indicando en ésta la normal velocidad de la rotación y teniendo en cuenta el objetivo de evitar la disipación de presiones de poros y determinar la resistencia al corte no drenado del suelo

Del mismo modo, siguiendo los protocolos de realización procedimental respecto a los ensayos de laboratorio y de lo requerido para la mejor apreciación de las evidencias y la precisión de los resultados obtenidos, se coloca la información de las variables, concretamente las normas estandarizadas en las cuales se respalda la presente investigación, las mismas que se detallan y servirán de bibliografía para sustentar también la discusión de sus resultados y aspectos proyectados en la aspiración de los logros de mejora sobre el suelo estudiado.

ASTM D-2216

PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS EN LABORATORIO.

Alcance

Se desarrolla este método en donde la reducción de masa por medio del secado se deberá por la pérdida de agua, el mismo que será calculado usando la balanza para comparar.

En suelos cohesivos los límites de consistencia dependen del contenido de humedad e influyen en sus indicadores.



Figura 6: Horno para determinar el contenido de humedad de los materiales. Tomada de: ASTM D145 - 25 Specification for Coal-Tar Pitch for Roofing, Damp-Proofing and Waterproofing (Withdrawn 1937). *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/WITHDRAWN/D145.htm>

Muestreo y Espécimen

La preservación y transporte de muestras se debe desarrollar según la práctica ASTM 4220 evitando el contacto directo como la luz del sol y que puedan ser almacenados de modo que se minimice la condensación.

Selección del espécimen de prueba

Se seleccionaran especímenes representativos de las condiciones de humedad de el material en su totalidad y dependiendo del propósito o aplicaciones de la prueba. La masa mínima del espécimen seleccionado para ser representativo como una muestra completa no debe ser menor de 20 g.

$$W_h = \frac{W_{SH} - W_{SS}}{W_{SS}}$$

Donde:

W_h = Contenido de Humedad

W_{SH} = Peso del suelo Húmedo

W_{SS} = Peso del suelo seco

Figura 7: Cálculos. Tomada de: ASTM D145 - 25 Specification for Coal-Tar Pitch for Roofing, Damp-Proofing and Waterproofing (Withdrawn 1937). *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/WITHDRAWN/D145.htm>

Informe:

El reporte debe incluir:

- Codificación de la muestra con el número de prueba, etc.
- Se debe indicar si el espécimen tiene más de un tipo de material.
- Aclarar si la temperatura en la que se ha secado es diferente a más menos 110 grados centígrados.
- Determinar si cualquier material particular fue excluido del espécimen de la prueba.

El procedimiento del ensayo será detallado en el cuerpo del capítulo de Metodología – Técnicas y Procedimientos de recolección de datos, donde se procesaron las muestras.

ASTM D 4318

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS.

Alcance

Se ejecutarán sobre la porción de muestra que contribuya al total que pase el tamiz N° 40. No deben permitirse el secado de las muestras antes del ensayo.

El método de un punto utiliza datos desde dos tanteos contenido de agua x un factor de corrección para determinar el límite líquido.

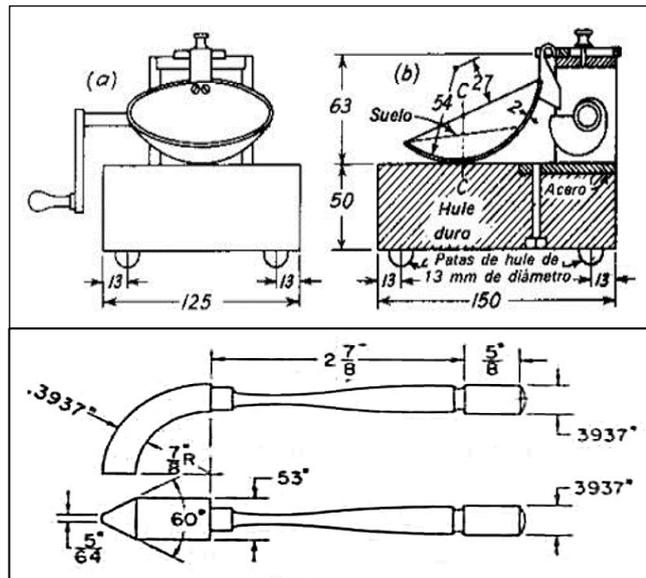


Figura 8: Dimensiones del equipo de casa grande para determinar el limite plástico. Tomada de: ASTM D4318 - 17e1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D4318>

Muestreo y Espécimen

Las muestras deben ser organizadas según el método de preparación para determinación del contenido de humedad y al mismo tiempo deben mantener su contenido de humedad natural anterior a la preparación.

Selección del espécimen de prueba

Se deberá proporcionar 100 a 200 g de material que pase el tamiz de 425 μm (N° 40). De modo que la muestra que fluya libremente y pueda ser reducida por los métodos de cuarteo. Las muestras permitan ser remezcladas con la ayuda de una espátula y se pueda obtener una porción representativa extraída dos veces con la cuchara.

Cálculos

$$LL = W_N \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{\tan\beta}$$

Donde:

LL = Limite Liquido

W_N = Contenido de humedad

N = Numero de golpes

$\tan\beta$ = Pendiente de la línea de flujo

Nota: Tomada de: ASTM D4318 - 17e1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D4318>

El límite líquido, LL, será promedio de los valores de límite líquido del ensayo, redondeado al número entero más cercano. Si la diferencia es mayor de un punto porcentual, se repite la prueba.

Informe:

El reporte debe incluir lo siguiente:

- Información que permita identificar la muestra y aclaración de procedimientos en especial de selección del espécimen usado como remoción de lentes de arena de la muestra y otros
- El reporte de que la muestra ha sido secada al aire y si fue al aire libre o durante la preparación.
- El modo que sea redondeado el LL permitiendo la cifra porcentual y en caso de que no haya sido posible realizar las pruebas el reporte como no plástico NP.

El procedimiento del ensayo Limite líquido de un punto – Método B será detallado en el cuerpo del capítulo de Metodología – Técnicas y Procedimientos de recolección de datos, donde se procesaron las muestras.

ASTM D8121

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA APROXIMACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS COHESIVOS MEDIANTE DISPOSITIVO DE VELETA MANUAL TIPO TORVANE.

Alcance

El presente método de prueba describe la aproximación de resistencia al esfuerzo cortante de suelos cohesivos utilizando una cizalla de veleta de mano.

El dispositivo se compone de un resorte de torsión calibrado, escala de medición y de tres veletas. Normalmente, el dispositivo incluye tres tamaños de veleta.

El método de veleta de corte manual proporciona un rápido método de medición de como se presenta la resistencia frente al procedimiento de corte no drenado aproximado de un suelo considerado como cohesivo de grano fino, ya sea en el campo o en laboratorio.

Esta norma no complementa ni reemplaza a ASTM D4648.

Suelos cohesivos con apreciables cantidades de limo o arena fina puede experimentar cierto grado de drenaje durante el cizallamiento y afectar negativamente los resultados. La presencia de materiales gruesos o suelos heterogéneos dentro del volumen de prueba afectará adversamente los resultados y puede impedir el uso de este método de prueba.

Los parámetros físicos son utilizados para evaluar la calidad de la muestra, ayudar en la planificación de programas de pruebas de laboratorio, y para clasificar la consistencia.

Aparato

Dispositivo de cizallamiento torsional: Veleta tipo Torvane, es un dispositivo mecánico que consta de un resorte calibrado, unido a una escala de medición y equipado con una o varias veletas intercambiables.

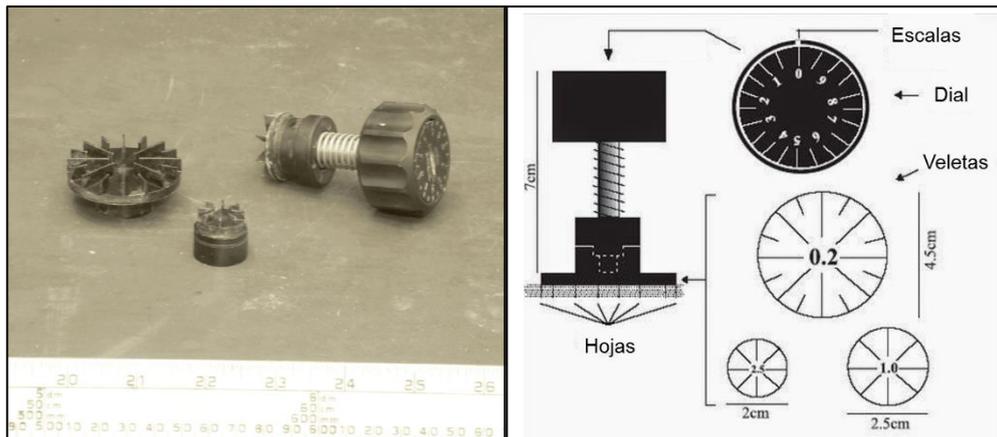


Figura 9: Equipo para la determinación del esfuerzo cortante Veleta tipo torvane. Tomada de: ASTM D8121 / D8121M - 19 Standard Test Method for Approximating the Shear Strength of Cohesive Soils by the Handheld Vane Shear Device. *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D8121.htm>

Escala de medición: La escala de medición debe medir en kilogramos por centímetro cuadrado 0,01 [kgf/cm²].

Veleta (s): las veletas están fabricadas con material rígido, como acero mecanizado o aluminio, o plástico moldeado por inyección o impreso en 3D. Cada veleta debe tener hojas a lo largo de la cara de la veleta. La profundidad de la hoja afecta al factor multiplicador de la veleta la cual es proporcionada por el fabricante:

Tabla 9. Correlaciones de factor por tamaño de la veleta tipo torvane.

TAMAÑO	SUELO	FACTOR	DIMENSION
Estándar	Mixtos	1	[2,5 cm]
Pequeña	Rígidos	2,5	[2,0 cm]
Grande	Blandos	0,2	[4,5 cm]

Nota: Tomada de ASTM D8121 / D8121M - 19 Standard Test Method for Approximating the Shear Strength of Cohesive Soils by the Handheld Vane Shear Device. *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D8121.htm>

La lectura en la escala es multiplicada por el factor de la veleta específica para obtener la medida correcta de fuerza.

Muestreo y Espécimen

Con una espátula, cree una superficie plana en el extremo de un anillo de confinamiento o un área de prueba. La superficie debe estar preparada con mínima perturbación. Si se producen molestias, el usuario debe preparar una superficie alternativa si es posible o documentar la perturbación observada en el registro de datos.

$$\frac{X}{10} * F = \tau (\text{kg/cm})^2$$

Donde:

X = Lectura del dial

F = Factor de la veleta

τ = Resistencia al esfuerzo cortante

Figura 10: Cálculos Muestreo y Espécimen. Extraído de: ASTM D8121 / D8121M - 19 Standard Test Method for Approximating the Shear Strength of Cohesive Soils by the Handheld Vane Shear Device. *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D8121.htm>

Si se realizaron varias determinaciones a la misma ubicación, se calcula el promedio de las lecturas.

Informe:

El reporte debe incluir:

- Información general como: Número de ensayo, nombre de proyecto, nombre del operador y fecha.
- Información de identificación de la muestra, como el número de perforación o prueba, número de muestra, intervalo de profundidad de la muestra y la ubicación.
- Cualquier proceso especial de selección o preparación, como remoción de grava u otros materiales, o identificación de su presencia.
- Si se realizó una determinación del contenido de agua, se notificará con precisión de acuerdo con el método de prueba D2216.
- El tamaño de la veleta, el factor multiplicador de la veleta.

- Informe la lectura del dial.
- Reporte la resistencia a la corte calculada.

El procedimiento del ensayo de determinación del esfuerzo cortante mediante veleta Torvane, será detallado en el cuerpo del capítulo de Metodología – Técnicas y Procedimientos de recolección de datos, donde se procesaron las muestras.

ASTM D 4546

MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN

Alcance

El método de ensayo puede ser usado para determinar: La magnitud del hinchamiento, potencial de expansión o asentamiento bajo una presión vertical conocida.

Requiere que la muestra de suelo se encuentre lateralmente confinado y al mismo tiempo cargado axialmente en un consolidómetro con acceso a agua libre.

Método A: La muestra es inundada y se permite hincharse verticalmente a la presión de asiento hasta que se complete el hinchamiento primario. La muestra es cargada después que termina el hinchamiento primario, hasta obtener el valor inicial de la relación de vacíos /altura.

Utilizado para medir: a) el hinchamiento libre, b) porcentaje de levantamiento para presiones de confinamiento vertical superior a la presión de hinchamiento, y c) presión de hinchamiento.

Importancia y uso.

Puede ser usado para desarrollar estimaciones de Levantamiento o asentamiento que será orientado mediante determinadas condiciones que se generan con cargas y diferenciando la humedad final. Habiendo determinado el porcentaje de humedad y su relación de

vacíos lo que debería ser representativo. Seleccionar el método de ensayo así como la carga y su determinada secuencia de saturación lo que va simular el comportamiento en cualquier construcción y post construcción, juntamente con sus efectos de humedecimiento y secado así como sus cambios en condiciones propias de carga.

Las muestras de ensayo preparadas en laboratorio deberán reproducir el contexto del suelo in situ, o el suelo después del proceso de compactación en campo lo más aproximado como sea posible, debido a que las variaciones en peso unitario y contenido de humedad, puede alterar de manera significativa la medida del levantamiento y presión de hinchamiento.

Estos métodos de ensayo se aplican a muestras inalteradas o remodeladas, o ambos.

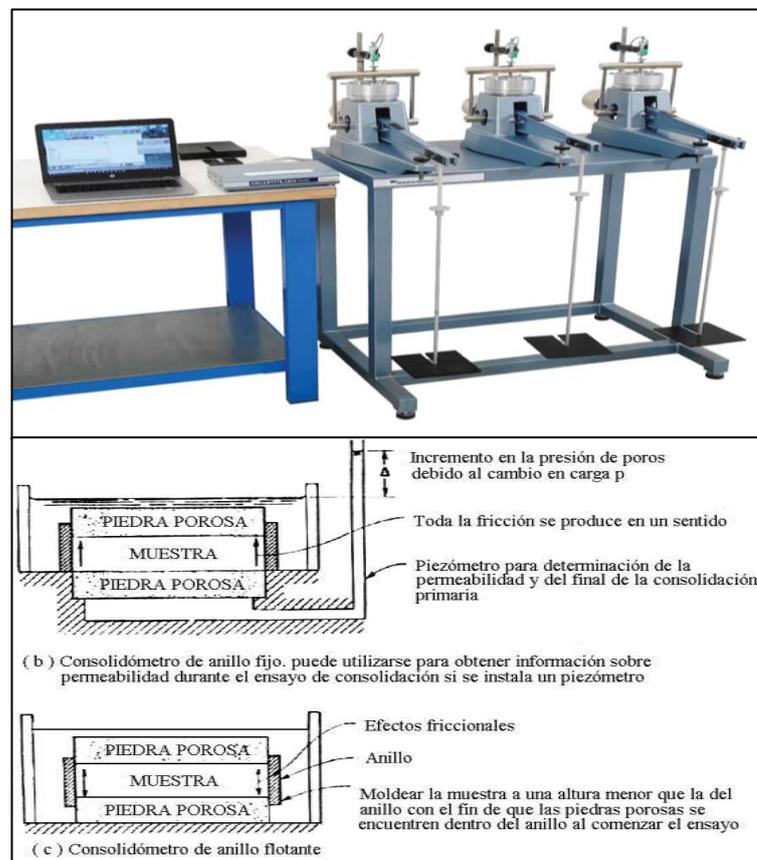


Figura 11 Características del equipo de determinación del potencial de expansión – consolidación. Tomada de: ASTM D4546 - 21 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils. *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D4546.htm>

Piedras porosas. Deben tener una textura de grano suave y fina para no interferir con el suelo en caso de que el papel filtro no sea utilizada y también permitirá reducir falsos desplazamientos que se hayan generado por el asentamiento de la muestra. Se puede secar las piedras porosas al aire.

Estas piedras pueden fijarse cerca del anillo del dispositivo y de este modo evitar extrusiones funcionamientos frente a las presiones verticales. Las dimensiones apropiadas de las piedras están descritas en el método de ensayo ASTM D-2435.



Figura 12. Piedra porosa para el ensayo de expansión. Tomada de: ASTM D4546 - 21 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils. *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D4546.htm>

Hoja de aluminio, papel toalla humectante ó membrana plastica.

Utilizada para minimizar la evaporación de la muestra antes de saturarla

Muestreo y espécimen

1. Para el ensayo se puede usar muestras no disturbada ó compactadas en laboratorio, prepare las muestras compactadas en laboratorio para reproducir el relleno compactado tan similar como sea posible.
2. Disponer la muestra segun el método D2435. Tal como se muestra en el Método de prueba D 3877 puede ser añadido al consolidómetro para acomodar el hinchamiento de la muestra.

Tome precauciones para minimizar el disturbamiento de la muestra ó cambios de humedad y peso unitario mientras se transporta y prepara las muestras. Evite vibración, distorsión y compresión de la muestra.

Propiedades asociadas al suelo

Primero se debe determinar el contenido de humedad o seguidamente del peso unitario seco y el peso unitario humedo, nuevo y volumen y relación de vacíos iniciales según el método D2435. Seguidamente se debe determinar la gravedad específica según el método D854.

Los límites de consistencia de acuerdo al método D4318. La distribución del tamaño de partículas correspondientes al suelo en caso de suelos mayormente granulares en concordancia con el método D422. Al mismo tiempo estos ensayos serán utilizados para la identificación y correlación de los resultados de los ensayos sobre diferentes muestras de suelo.

Cálculos

1. Primeramente se deberá calcular la relación de vacíos inicial o altura, seguidamente contenido de humedad, luego peso unitario seco y húmedo, y finalmente el grado de saturación, según el Método de Prueba D 2435.

Respecto a los cálculos de la relación de vacíos o también porcentaje de levantamiento, se basaron en la última lectura de cada incremento o descenso del hinchamiento. Esta relación de vacíos o porcentaje de levantamiento se deberán graficar versus el logaritmo de la presión vertical.

2. Se deberá considerar el porcentaje de levantamiento relativo a una altura inicial H_0 , el cual ha sido observado de una presión vertical terminada, σ , Puede ser usada en aplicaciones prácticas, la relación de vacíos versus la presión vertical dispuesta en escala aritmética.

3. Los puntos datos del gráfico de e versus $\log_{10} \sigma$ puede ser usado para lograr analizar las cuantificaciones de hinchamiento y asentamientos del espécimen o muestra ensayada.

4. Método A

El hinchamiento libre a la presión de asiento referida a la relación de vacíos e_0 , está dada por la siguiente expresión.

$$\frac{\Delta h}{h_0} * 100 = \frac{e_{se} - e_0}{1 + e_0} * 100 = \left(\frac{Y_{d0}}{Y_{dse} - 1} \right) * 100$$

Donde:

Δh = Cambio en la altura de la muestra

H_0 = Altura inicial de la muestra

e_{se} = Relación de vacíos después de estabilizado el hinchamiento a la presión σ_{se}

e_0 = Relación de vacíos inicial

γ_{d0} = Peso unitario seco a la relación de vacíos e_0

Expresión de cálculo. Tomada de: ASTM D4546 - 21 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils. *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D4546.htm>

NOTA – La Figura 2 (Método A) ilustra el hinchamiento libre a la presión de asiento $\sigma_{se} = 1$ kPa (20 lbf/pie²).

$$\frac{\Delta h}{h_0} * 100 = \frac{0.908 - 0.785}{1.000 + 0.785} * 100 = 6.9\%$$

Expresión de cálculo. Tomada de: ASTM D4546 - 21 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils. *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D4546.htm>

El porcentaje de levantamiento de 6.9% podría leerse directamente desde la coordenada derecha (Método A) para $e_{se} = 0.908$, punto 4.

El porcentaje de levantamiento a la presión vertical, σ sobre la presión de hinchamiento σ_{sp} , referida a e_0 ó a una presión vertical apropiada inicial σ_{v0} es como sigue: (Método A):

$$\frac{\Delta h}{h_0} * 100 = \frac{e - e_0}{1 + e_0} * 100 = \left(\frac{Y_{d0}}{Y_{ds}} - 1 \right) * 100$$

Donde:

e = Relación de vacíos a la presión vertical

γ_d = Peso unitario seco a la relación de vacíos e

Expresión de cálculo. Tomada de: ASTM D4546 - 21 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils. *ASTM International - Standards Worldwide* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D4546.htm>

Podría ser graficada con el peso unitario seco, γ_d , versus el logaritmo de la presión aplicada, σ , en vez de la relación de vacíos e versus el logaritmo de σ , si es que no se determinó la gravedad específica. El hinchamiento para cualquier cambio en peso unitario seco dentro de los límites de los resultados de la prueba, podrían ser determinados de una manera similar a la descrita anteriormente.

Informe:

1. El reporte debe incluir lo requerido en el método de ensayo D2435 y también se deberá incluir:

1.1 Todos los procedimientos de comerciales incluyendo cambios y registro de datos.

1.2 La cifra del porcentaje de levantamiento σ_{sp} ó presión de hinchamiento corregida σ'_{sp} . El índice de compresión C_c , é el índice de hinchamiento C_s , corresponderán ser reportados si es que son evaluados.

1.3 El tipo de agua utilizada en la saturación de la muestra.

El procedimiento del ensayo de determinación del esfuerzo cortante mediante veleta Torvane, será detallado en el cuerpo del capítulo de Metodología – Técnicas y Procedimientos de recolección de datos, donde se procesaron las muestras.

El procedimiento del ensayo, será detallado en el cuerpo del capítulo de Metodología – Técnicas y Procedimientos de recolección de datos, donde se procesaron las muestras.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Plasticidad.**

Maureira, F. (2016). La plasticidad es una cualidad propia de los materiales plásticos. Se define como propiedad mecánica de las sustancias que pueden sufrir deformaciones permanentes al ser sometidas a una tensión que va por encima de su límite elástico. Julián Pérez Porto y Ana Gardey. RAE 2008.

- **Plasticidad de los Suelos.**

Vergara, L. M. D., Quintero, H. A. Á., & Amaya, R. J. G. (2020) Se conoce como la propiedad que representa a los suelos cuando se le dispensa cierto grado de humedad sin disgregarse, es por eso que se define la plasticidad de un suelo como la capacidad de ser moldeable al respecto a su contenido de humedad y depende principalmente de sus elementos finos. Esta característica no se puede apreciar mediante el análisis granulométrico es por eso que se recurre a determinar los límites de Atterberg

- **Plasticidad de las arcillas.**

Solórzano, C., Zambrano, D., Vacca, H., & Larrahondo, J. (2019). Propiedad de los materiales arcillosos para soportar deformaciones instantáneas, sin que varíen en su volumen, se agrieten o se desintegren.

- **Límites de Atterberg.**

Sánchez Romero, F. J. (2019). Los **límites de Atterberg**, límites de plasticidad o **límites** de consistencia, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo.

- **Resistencia**

Según Addleson (2001, 91). La resistencia de un material es la capacidad que tiene para soportar cargas sin llegar a deformarse. Depende de la resistencia inherente del material que se mide por medio de las propiedades mecánicas de este y lo otro a tener en cuenta es cómo se aprovecha esa propiedad según las dimensiones y forma un material y la aplicación de las cargas o las fuerzas sobre él.

- **Resistencia de los suelos.**

Coronado, J. G. (2017). La resistencia al esfuerzo cortante es definido como el máximo esfuerzo que se puede aplicar a un suelo y que éste puede soportar sin fallar ante el esfuerzo de cizallamiento. Se pueden realizar ensayos de resistencia al esfuerzo cortante en un análisis de estabilidad como: la resistencia no drenada Y la resistencia drenada.

- **El ensayo de corte de suelo mediante veleta tipo torvane.**

De La A Aspiazu, H. I. (2017). Esta veleta consiste en una cabeza circular con una serie de violetas que se encuentran ordenadas radialmente en el contorno de una circunferencia. Se introducen en el suelo y se aplica un torque por medio de un resorte calibrado hasta que la garcilia llega a fallar ante el cizallamiento. La lectura muestra la resistencia al esfuerzo cortante.

- **Polímeros.**

Según la etimología griega, son macromoléculas formadas por la vinculación de otras moléculas llamadas monómeros. Según la cantidad de componentes intervinientes se denomina polímero bi – componente en el caso de la utilización de 2 componentes, por ejemplo, el sistema CONSOLID el cual consiste en un componente líquido y en un componente sólido. (Manual CONSOLID, 2017)

- **Ensayo de determinación del potencial de expansión**

La realización de este ensayo tiene como objeto describir la identificación de suelos mediante su índice de expansibilidad o cambio de volumen como consecuencia de variaciones en su contenido de humedad. En caso de tener pérdidas de humedad se generan contracciones y en caso de tener humedecimiento se genera expansión que puede llegar a ser inadmisibles. En cualquiera de los dos casos es el contenido de agua lo que genera estos cambios y posibles daños en las estructuras de ingeniería soportadas en ellos. Verón, S. R. (2005).

- **Potencial de expansión**

Es el cambio que se genera de manera relativa sobre un suelo lo cual es expresado desde una condición seca al aire hasta lograr una condición bajo los efectos de la humedad y pueden llegar a ser saturada. Según el método se puede calcular el porcentaje de hinchamiento mediante la lectura final restando lo indicado en la lectura inicial esto mismo dividido entre la altura inicial de la muestra y todo multiplicado por 100. Verón, S. R. (2005).

- **Arcilla expansiva.**

El principal agente en estos casos es la humedad, generando grietas profundas. Las arcillas expansivas son las que se encuentran más susceptibles a sufrir grandes cambios de volumen en relación directa con el cambio de humedad del suelo. Mitigar los efectos de estas arcillas en las obras de ingeniería son por lo general un gran desafío para la ingeniería geotécnica ya que al experimentar expansión con la humedad y contracción al secarse se generan grietas profundas, lo cual favorece la mezcla de materiales ya que al rellenarse dichas grietas con material del exterior, la arcilla vuelve a hidratarse y expulsa parte del material más profundo por la falta de espacio. (John D. Nelson, Debora J. Miller, Expansive Soils: Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering John Wiley & Sons. 1992)

- **Fenómeno de Expansión**

Este proceso se genera cuándo determinado suelo no saturado entra en proceso de humedecimiento y durante la absorción del agua entre sus partículas va aumentando su volumen, dicho fenómeno toma lugar debido a que se presenta la relajación de esfuerzos y por lo general ocurre en colapsos pero todo esto dependiendo de las características del suelo y su estructura, sin embargo este fenómeno está asociado a lugares donde el suelo corresponde a terrenos arcillosos y se define la plasticidad alta y también presentan densidades secas altas; al mismo tiempo es coherente que presentan cargas y presiones exteriores bajas lo cual es contrario a lo normalmente conocido en caso de colapso. (Barrera B & Garnica A, 2002, pág. 47).

- **Métodos de estabilización de suelos**

La estabilización para el MTC (2008, p. 118) La estabilización de un suelo, es un proceso que tiene por objeto mejorar su resistencia, su durabilidad, su permeabilidad al agua, etc.

- **Estabilización Química**

La Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109 – 2004 (11), 2011, indica que la estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio. Los estabilizadores químicos consideran una amplia variedad de tipos, entre los cuales se encuentran sales, productos enzimáticos, polímeros y subproductos del petróleo. Los estabilizadores químicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo al tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de

suelo tratado. (Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109 – 2004.

Existen diferentes métodos de estabilización química como por ejemplo *estabilización con Sales (Cloruros)*. La Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109 – 2004 (11), 2011 menciona que en algunas ocasiones se emplea los cloruros en la elaboración de mezclas de suelos agregándose con el objeto de hacer expedito el proceso de compactación, haciendo más lenta la velocidad de evaporación de la humedad de la mezcla durante la compactación.

- **Estabilización de suelos con resinas y polímeros.**

Que es en el que nos enfocaremos en la presente investigación. El uso de estos materiales en la estabilización de suelos ha tenido por objeto principal, formar una estructura impermeable al agua; ciertas resinas sintéticas aumentan la resistencia mecánica del suelo mejorando su cohesión.

En algunos casos, la resistencia al esfuerzo cortante se reduce en tanto que la compactación se mejora en forma notable; es así como a estos materiales se les conoce más como "agentes que mejoran la compactación" que como estabilizantes. Un gran número de productos comerciales caen dentro de esta categoría y su efectividad es muy variable, dependiendo del tipo de suelo y los elementos constituyentes del aditivo. López-Lara, T., Hernández-Zaragoza, J. B., Horta-Rangel, J., Coronado-Márquez, A., & Castaño-Meneses, V. M. (2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 11(3), 159-168.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO, Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

(Hernandez Sampieri, y otros, 2010), Afirman que el método científico es el conjunto de procedimientos y técnicas utilizadas para resolver y formular problemas de investigación mediante la prueba de hipótesis. Con base en ello el método es CIENTIFICO, con un enfoque CUANTITATIVO, ya que usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, a fin de establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es experimental, sustentado teóricamente en que “La Concepción tiene como esencia la experimentación manipulando de manera intencional una acción para poder evaluar sus resultados” (19)., es así que la investigación desarrollará la manipulación de la variable (adición de polímero bi-componente en diferentes proporciones) para determinar el efecto en las variables dependientes (propiedades físicas y mecánicas de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco).

Para el caso presente se desempeña la investigación experimental y el tipo de diseño es Cuasi - Experimental, el cual se desarrolla con los Grupos Experimentales no aleatorios que recibirán el tratamiento de prueba (GE01 hasta GE24) distribuidos en un numero de 24 con sus respectivas dosis de polímero bi-componente y un Grupo Control (GC).

Ademas la variable independiente (POLÍMERO bi-componente) es manipulado intencionalmente y los grupos son equivalentes, ya que la

influencia del polímero bi-componente en esos grupos, son medidos en las propiedades físicas y mecánicas de las arcillas del sector Ccapac Moqo, obteniéndose así las variables dependientes (IP – Esfuerzo – Potencial de Expansion).

Tabla 10. Diseño de investigación

Donde:	GE 01	0,2 (%)	O1	X1	O2
	GE 02	0,4 (%)	O3	X2	O4
• X = Variable experimental	GE 03	0,6 (%)	O5	X3	O6
	GE 04	0,8 (%)	O7	X4	O8
	GE 05	1 (%)	O9	X5	O10
• O1 – O49 = Mediciones Pre – Test de la Variable Dependiente.	GE 06	1,2 (%)	O11	X6	O12
	GE 07	1,4 (%)	O13	X7	O14
	GE 08	1,6 (%)	O15	X8	O16
	GE 09	1,8 (%)	O17	X9	O18
	GE 10	2 (%)	O19	X10	O20
• O2 – O50 = Mediciones Post – Test de la Variable Dependiente.	GE 11	2,2 (%)	O21	X11	O22
	GE 12	2,4 (%)	O23	X12	O24
	GE 13	2,6 (%)	O25	X13	O26
	GE 14	2,8 (%)	O27	X14	O28
	GE 15	3 (%)	O29	X15	O30
• GE 01 – GE 24 = Espécimen + polímero bi-componente.	GE 16	3,2 (%)	O31	X16	O32
	GE 17	3,4 (%)	O33	X17	O34
	GE 18	3,6 (%)	O35	X18	O36
	GE 19	3,8 (%)	O37	X19	O38
	GE 20	4 (%)	O39	X20	O40
• GC = Muestra patrón sin adición de polímero bi-componente.	GE 21	4,2 (%)	O41	X21	O42
	GE 22	4,4 (%)	O43	X22	O44
	GE 23	4,6 (%)	O45	X23	O46
	GE 24	4,8 (%)	O47	X24	O48
	GC	0 (%)	O49	-	O50

Nota: Tabla de mediciones construida a partir del diseño de la investigación

3.2.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Nivel de Investigación Explicativo, ya que tiene relación causal; no sólo persigue describir o acercarse a un problema, sino que intenta encontrar las causas del mismo. Existen diseños experimentales y no experimentales (20).

3.2.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación aplicada: También conocida como práctica o empírica, caracterizada por buscar la aplicación, conocimientos adquiridos y respaldados en el marco teórico. Está vinculada con la investigación básica. En la investigación aplicada o empírica, lo que le interesa al investigador, primordialmente, son las consecuencias prácticas (20).

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. POBLACIÓN

(Borja S., 2012), La población es definida como los elementos que serán el objetivo de estudio. A partir de esa definición tenemos que la población serán los suelos clasificados que se enmarcan dentro de las características de la muestra tomada in-situ.

La población para la presente investigación está definida como las arcillas expansivas del sector Ccapac Moqo.

La muestra alterada se obtuvo de la prolongación de la calle Intiraymi, sector Ccapac Moqo cuya localización se emplaza en las siguientes coordenadas:

Tabla 11. Coordenadas del Sector Ccapac Moqo

Extremo Norte	Longitud Oeste	71°56'00.7"W
	Latitud Sur	13°31'28.5"S
Extremo Sur	Longitud Oeste	71°56'00.8"W
	Latitud Sur	13°31'39.8"S
Extremo Este	Longitud Oeste	71°55'57.9"W
	Latitud Sur	13°31'31.9"S
Extremo Oeste	Longitud Oeste	71°56'00.9"W
	Latitud Sur	13°31'36.5"S

Nota: tomada de: Portal del Estado Peruano - Portal de Transparencia Estándar - PTE. *Portal del Estado Peruano - Portal de Transparencia Estándar - PTE* [en línea]. [consultado el 29 de octubre de 2021]. Disponible en: https://www.transparencia.gob.pe/enlaces/pte_transparencia_enlaces.aspx?id_entidad=10947&id_tema=5&ver=#.YXtPHFXMLIU



Figura 13: Ubicación en Mapa. Portal del Estado Peruano. Disponible en: https://www.transparencia.gob.pe/enlaces/pte_transparencia_enlaces.aspx?id_entidad=10947&id_tema=5&ver=#.YXtPHFXMLIU, (22)



Figura 14: Ubicación en Mapa. Portal del Estado Peruano. Disponible en: https://www.transparencia.gob.pe/enlaces/pte_transparencia_enlaces.aspx?id_entidad=10947&id_tema=5&ver=#.YXtPHFXMLIU, (22)

ruta: C. Intiraymi – C.P. Quillahuata (Long. 760m)

En la actualidad el Sector Ccapac Moqo del distrito de San Sebastián cuenta con producción agrícola y desarrollo de viviendas. A la fecha este sector posee un camino vecinal que se encuentra deteriorado, lo que dificulta la dinamicidad del flujo comercial de productos agrícolas hacia los mercados. Cabe mencionar que el tránsito en todo sentido se agrava más aun en el periodo de precipitaciones, que al no contar con un sistema adecuado de drenaje pluvial y la poca resistencia a la permeabilidad que ofrece el material afirmado, hacen que esta vía se torne de difícil tránsito.

De acuerdo a la visita realizada se observó que los pobladores del lugar por medio de una labor comunitaria realizan mantenimiento, por lo que notamos que los pobladores de la zona hacen intentos por salvaguardar dicha vía y minimizar su deterioro.

La zona de extracción de la muestra según las especificaciones de ASTM D2488 se encuentra ubicada en la prolongación de la calle Intiraymi específicamente en el sector Ccapac Moqo, la vía considerada tiene aproximadamente 760 m de longitud, considerando el inicio desde la Av. de la Cultura hasta el punto final de la Calle Intiraymi, donde se emplaza el sector Ccapac Moqo.

Tabla 12. Localización del punto de toma de muestra		
	Longitud Oeste	71°56'01.8"W
Coordenadas	Latitud Sur	13°31'20.1"S



Figura 15: GPS, el cual nos determino a georeferenciar el lugar de muestreo

Una vez situado el punto de ubicación. Se realizo la extracción de la muestra a fin de lograr los siguientes objetivos:

- A partir de la excavación emplazada en el sector Ccapac Moqo – Intiraymi - Cusco.
- Obtener una muestra significativa (Aprox 25 kg) de suelo a estudiar.
- Clasificar la muestra y proporcionar según el diseño muestral.

- Aplicar la dosis de polímero bi-componente.
- Realizar los ensayos de experimentación.
- Recabar los resultados y analizarlos estadísticamente.
- Explicar los resultados analizados mediante estadística descriptiva.
- Proceder mediante discusión de resultados comparativos.
- Generar conclusiones y recomendaciones.

3.3.2. MUESTRA

Para el diseño muestral se realizó: El Muestreo no probabilístico por conveniencia. Esta es una técnica ampliamente utilizada para el muestreo no probabilístico y también calificada como no aleatorio, se utiliza para disponer muestras según la permisibilidad y la facilidad de acceso, según la disposición de los integrantes que pueden conformar parte de la muestra. Apropiadamente en determinado intervalo de tiempo o según la especificación práctica en un elemento de estudio en particular”. Casal, J., & Mateu, E. (2003). En ese sentido la muestra para la presente investigación ha sido determinada en 25 porciones de suelo, conformándose cada una según la proporción de la norma ASTM D – 2487 la cual indica una cantidad mínima del espécimen requerido para el ensayo de dimensiones de 100 g (0.25 lb) considerando el uso del tamiz No. 4. Recomendado para mayor precisión en la caracterización. ASTM D2487, I. (2013). Es por ello que se estableció la proporción de cada porción por 130 g del espécimen.

Una vez proporcionado se realizarán 25 ensayos de (LL) y (LP) para determinar su (IP) según la norma ASTM D4318 y 25 ensayos de resistencia al esfuerzo cortante mediante veleta tipo Torvane según las indicaciones de la norma ASTM D – 8121, así también se realizarán 25 ensayos de potencial de Expansión de acuerdo con ASTM - D4829.

- **Criterios de evaluación de muestra**

Se realizó un muestreo por conveniencia como esta definido en la metodología de la presente, en este caso se decidió en base a los datos ya conocidos de la población, los cuales formaran parte de la muestra y cumplen con los requerimientos para ser procesados por la metodología del presente estudio.

- **Criterio de inclusión de las muestras**

Se hicieron ensayos para conocer el Límite Líquido, potencial de Expansion y Resistencia al Esfuerzo Cortante; para entrar en contexto de toma de decisiones respecto a dosificación de polímero con respecto a las propiedades Físicas y Mecánicas de los especímenes.

- **Criterio de inclusión de polímero**

El polímero utilizado en esta investigación es CONSOLID. La adición del polímero se hará en porcentajes de peso detallados en las tablas descriptivas. Colocando la cantidad añadida de 0,1% de ambos componentes del aditivo, lo cual conforma la dosis apropiada para generar efectos según los antecedentes y que puedan ser analizados en la investigación.

- **Criterio de inclusión de agua**

Se utiliza agua potable común, de uso humano tomada de la provision de servicio publico.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se recaba la información en dos fases, la primera fase será la recopilación bibliográfica a través de fichas bibliográficas digitales, lo cual permitirá correcto citado de las fuentes bibliográficas. Bunge (2000).

La principal técnica de recolección de datos será la observación permitiendo la plena comprensión de la realidad del fenómeno. Bunge (2000), complementada a través de los instrumentos de registro de medición manual.

Se hará una recolección de datos transcrita manual y digital a fin de facilitar las fases posteriores de depuración, tratamiento y corrección de datos.

3.4.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1.1. INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS

Las guías de observación nos permiten la recolección y registro de datos de los ensayos realizados, se utilizaron fichas de recolección de datos e instrumentos de ingeniería.

3.4.1.2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN – INSTRUMENTOS DE INGENIERIA

Los instrumentos de recolección, medición en ingeniería empleados en esta investigación son:

- **EQUIPOS DE ENSAYO – CONTENIDO DE HUMEDAD**
- **EQUIPOS DE ENSAYO - LÍMITE LÍQUIDO**
- **EQUIPO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA CALCULAR LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE MEDIANTE VELETA MANUAL, TIPO TORVANE.**
- **EQUIPO DE DETERMINACIÓN DE POTENCIAL DE EXPANSIÓN**

3.4.1.3. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

- **Practica Estándar para Preservar y Transportar Muestras de Suelo ASTM D 4220.**

Resumen

Para muestras intactas, naturalmente formadas o elaboradas en el campo, para determinaciones de densidad; consolidación, ensayos de permeabilidad y ensayos de cortante con o sin medición de esfuerzo–deformación y cambio de volumen, para incluir ensayos dinámicos y cíclicos.

Procedimiento

Registrar la zona de la cual se va a extraer la tierra con la cual se hará la investigación y con ayuda de picos y palas levantar la cantidad de muestra necesaria para realizar la investigación, en el vehículo trasladar lo extraído. Es importante mencionar, que la muestra recogida es de tipo alterada, la cual será sometida a los ensayos en laboratorio para su posterior análisis en gabinete.

Identificar las muestras con rótulos y etiquetas, y marcando previo al transporte de ellos como sigue:

Tabla 13. Procedimientos

Nombre	Muestra PATRÓN
Fecha	mar-21
Muestra - Localización	Quillahuata - Intiraymi
Profundidad	1
Embarque	Vehiculo - camioneta
Información del ensayo	ASTM 4220

Nota – Una persona calificada puede ser un ingeniero, geólogo, científico de suelos, técnico de suelos, o persona responsable designada por el director del proyecto.

Equipos y Materiales

- Suelo del lugar de investigación.
- Palas.
- Picos.
- Camioneta para el traslado de la muestra y herramientas

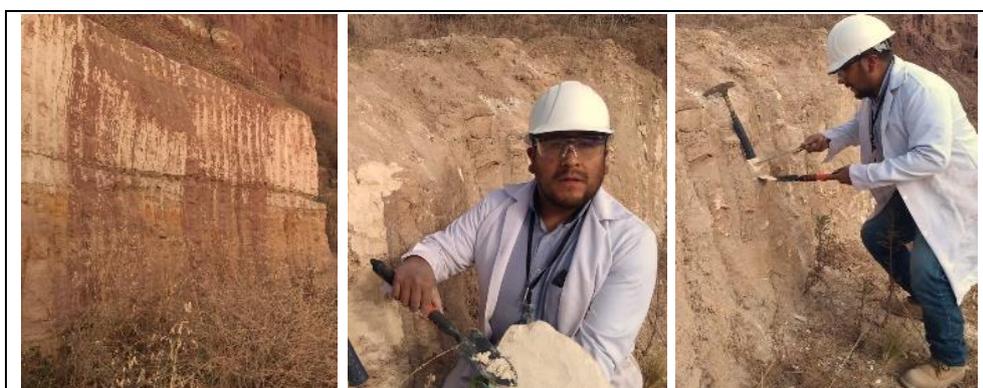


Figura 16: Extracción de muestra del sector Ccapac Moqo.

NTP-339.144-1999 MÉTODO STANDAR PARA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD INSITU

EQUIPOS.

- ✓ Balanza de precisión.
- ✓ Horno de Temperatura de 110°C.
- ✓ Aparato de globo con Cono y Placa Base metálica.
- ✓ Equipos diversos: pico, cincel, cuchara, cepillos; bolsa de plástico, cubos con tapas, etc.

Balanza de precisión.

Por medio de ellas se determinará el peso de un cuerpo y se utilizará una de características estandarizadas y sensibilidad adecuada



Figura 17: Balanza para el pesado de las cazuelas con las muestras de suelos a una precisión de 0.01g

Horno de Temperatura de 110°C.

Nos permitirá disipar la humedad contenida en un cuerpo de modo que se pueda corregir los pesos que contengan y se hayan podido modificar o incrementar por el contenido de humedad, contará con un circulante de aire, controlado termostáticamente para temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 18: Horno de Temperatura de 110°C.

Aparato de globo con Cono y Placa Base metálica.

Se suministra un conjunto de cono de arena con válvula, una base de metal con orificio central y un tarro de arena de plástico de 5 L de capacidad.



Figura 19: Dispositivo de globo con Cono y Placa.

ENSAYO – DENSIDAD IN SITU.

<p>Prepare la superficie de forma que esté nivelada. Dependiendo del contenido de humedad y textura del suelo, siempre y cuando el área de prueba no se deforme.</p>	
	<p>Montar la placa y el aparato de globo de goma en el lugar de prueba. Tomar una lectura inicial en el indicador de volumen y registrar. La placa de base permanecerá en su sitio hasta el fin de la prueba.</p>
<p>Utilizando diversas herramientas, cavar un agujero dentro de la placa. De modo que el suelo alrededor del borde no se altere</p>	
	<p>El agujero de prueba debe mantenerse libre de obstáculos, ya que pueden afectar la precisión y colocar todo el suelo removido del agujero de prueba en un recipiente hermético para la posterior determinación de masa y el contenido de humedad.</p>
<p>Después de cavar el agujero, colocar el aparato sobre la placa de base. Registrar la lectura en el indicador de volumen. La diferencia entre las lecturas inicial y final es el volumen del agujero de prueba, V_h.</p>	
	<p>Determinar la masa de todo el suelo húmedo removido del agujero de prueba. Mezclar todo el suelo a fondo y determinar el contenido de humedad.</p>

Figura 20: Procedimiento para realizar el ensayo de Densidad In Situ, con sus respectivas fotos.

3.4.1.4. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de la información obtenida durante los trabajos de laboratorio se hará mediante hojas de cálculo electrónicas a partir de lo cual en principio se depurarán los datos comprobando si existen mediciones atípicas.

Luego, para el análisis de datos pasará a una fase estadística donde se efectuarán los cómputos pertinentes para determinar los principales datos descriptivos estadísticos de las mediciones.

La interpretación de la información se hará primero en base a las hipótesis planteadas por la presente investigación, las cuales deben estar también alineadas a los objetivos. Asimismo, se pretende hacer una discusión de resultados, comparándolos con los resultados de otros investigadores, cabe señalar que la interpretación de datos se hará de la mano con el ingeniero asesor de la presente investigación.

En resumen, se ejecutará:

- Análisis documental de bibliografía.
- Análisis de data preliminar
- Observación estructurada de la realidad
- Toma de datos y analisis en laboratorio.
- Caracterización física en laboratorio.
- Procesamiento y análisis.
- Interpretación de resultados

ASTM D - 854 MÉTODO ESTANDAR PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

EQUIPOS.

- Balanza de precisión.
- Horno de Temperatura de 110°C.

Balanza de precisión.

Por medio de ellas se determinará el peso de un cuerpo y se utilizará una de características estandarizadas y sensibilidad adecuada.



Figura 21: Balanza para el pesado de las cazuelas con las muestras de suelos a una precisión de 0.01g

Horno de Temperatura de 110°C.

Nos permitirá disipar la humedad contenida en un cuerpo de modo que se pueda corregir los pesos que contengan y se hayan podido modificar o incrementar por el contenido de humedad, contará con un circulante de aire, controlado termostáticamente para temperatura de 110 °C ± 5 °C.



Figura 22: Horno de Temperatura de 110°C.

ENSAYO - CONTENIDO DE HUMEDAD

<p>1. Registrar la masa de un recipiente limpio y seco</p>	
	<p>2. Tomar el espécimen representativo de ensayo.</p>
<p>3. Poner el espécimen húmedo en el contenedor, determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza. Registrar este valor.</p>	
	<p>2. Poner el recipiente en el horno y secar pretendiendo obtener una masa constante manteniendo el horno a 110 ± 5 °C.</p>
<p>4. Cuando el espécimen haya secado hasta un peso constante retirar del horno y permitir el enfriamiento a temperatura ambiente. Determinar cuánto pesa el material y el contenedor con la misma balanza</p>	

Figura 23: Procedimiento para realizar el ensayo de Contenido de Humedad, con sus respectivas fotografías.

1. GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO MTC E 107 Y POR SEDIMENTACIÓN (HIDROMETRO) MTC E 109

Equipos y Materiales

- Balanza de sensibilidad 0.1%.
- Tamices: 4.75 mm (No.4), 425 μ m (No 40), 75 μ m (No.200).
- Tamizador mecánico
- Hidrómetro.
- Cilindro de vidrio para sedimentación
- Termómetro de inmersión
- Cronómetro.
- Horno
- Baño de Agua o Cuarto de temperatura constante.
- Vaso de vidrio (Beaker).
- Varilla de vidrio.
- Agente Dispersante
- Agua

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA. Aproximadamente el tamaño de muestra varía con el tipo de suelo a ser ensayado, en este caso se utiliza aproximadamente 60g. Pero se debe tener determinada la masa exacta, por medio del ensayo de gravedad específica.

PROCEDIMIENTO

- Determinar la gravedad específica, G_s
- Debido a que la muestra se seca en el horno, anotar los pesos para los cálculos, agregar el dispersante a la muestra seca de suelo.
- Colocar la muestra en el vaso de dispersión lavando todos los residuos que hayan podido quedar en la cápsula con agua.

- Llevar a la suspensión en el cilindro de sedimentación (1L) la misma será llevada a temperatura que tendrá el laboratorio mientras se realiza el ensayo
- Antes de comenzar el ensayo se deberá tapar el cilindro de sedimentación con un tapón para luego agitar la suspensión durante varios segundos y remover lo que se haya sedimentado en el fondo, lograr una suspensión uniforme. Dicha acción se realizará en el periodo aproximado de un minuto.
- Terminando de colocar el cilindro sobre una superficie y luego colocar en marcha el cronómetro, en caso de que hubiera espuma quitar con papel toalla. Introducir de manera pausada el hidrómetro en el recipiente de la suspensión y durante su colocación cuidar no se altere la suspensión.
- Anotar la primera y la segunda lectura con el hidrómetro, el primero al minuto y el segundo a los 2 minutos. Extraer el hidrómetro y colocarlo en un cilindro graduado con agua destilada, teniendo cuidado de no dejar el dispositivo mucho tiempo suspendido para evitar que se adhiera a este el material y evitar errores.
Después introducir el hidrómetro y realizar lecturas después de 5 minutos, después de 15, después de 30, 60, 120, 250 minutos y 1440 minutos, teniendo especial cuidado en el momento de la lectura y extracción del hidrómetro ;así también se deberá tener en cuenta la temperatura, ya que ésta influye en los resultados y por eso es que se mantiene el dispositivo alejado de los rayos del sol o de otros dispositivos que irradian calor o cambios de temperatura.



Figura 24 y Figura 25: Preparación del material para los ensayos de laboratorio



Figura 26 y Figura 27: Secado de las muestras y cuarteo



Figura 28. Figura 29, Figura 30, Figura 31 y Figura 32: Ejecución del ensayo de granulometría por sedimentación

ASTM D4318 ENSAYO - DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

EQUIPOS.

- Balanza de precisión.
- Equipo Casagrande.
- Ranurador.
- Horno de Temperatura de 110°C.
-

Balanza de precisión.

Dispositivo que permitirá conocer el peso de los cuerpos incluidos en los ensayos, definición graduados y con la sensibilidad adecuada.



Figura 33 y Figura 34: Balanza de precisión

Equipo Casagrande.

Utilizado para determinar mediante una relación de golpes con respecto al contenido de humedad como resultado el límite líquido de un suelo.

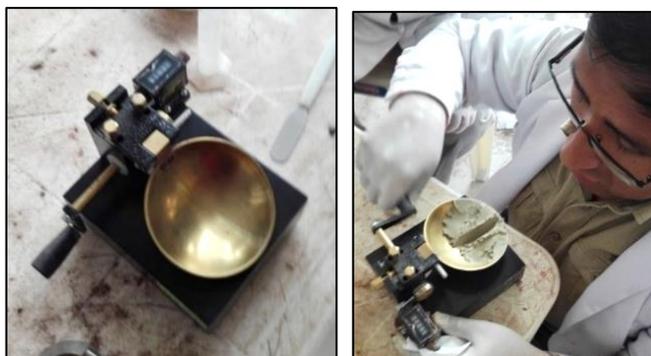


Figura 35 y Figura 36: Equipo Casagrande

Ranurador

Utilizada para ranurar el suelo dentro de la copa de casagrande con el ancho controlado y según las especificaciones de construcción.



Figura 37 Figura 38 : Ranurador

Horno de Temperatura de 110°C.

Nos permitirá disipar la humedad contenida en un cuerpo de modo que se pueda corregir los pesos que contengan por el contenido de humedad, controlado termostáticamente: temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.



Figura 39: Horno de Temperatura de 110°C

ENSAYO DE DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

	<p>0. Preparar la muestra a ensayar, tamizada para obtener los finos del material y colocar en un recipiente pequeño, en caso de no obtener suficiente material golpear las partículas grandes.</p>
<p>1. Ubicar la muestra en el recipiente que permite mezclar con agua</p>	
	<p>2. Añadir el agua y homogenizar de modo que el agua se incorpore el espécimen del suelo</p>
<p>3. Cuando se haya formado un espécimen consistente se deberá colocar una porción en él dispositivo Casagrande, verificando que la muestra este al nivel y no supere el borde de la copa, considerando el nivel máximo de 10 mm</p>	
	<p>4. Con el ranurador dividir el espécimen en el equipo casa grande en dos mitades de atrás hacia delante de modo que la ranura quede limpia y no se dañe las mitades</p>
<p>5. Iniciar el conteo de golpes dirigido por la manivela hasta que las dos mitades se encuentran a lo largo de un contacto las 12 mm y así se debe registrar el número de golpes en cuanto cerró la ranura</p>	
	<p>6. Remover el espécimen de la copa tomando la zona de contacto entre las ranuras, la misma se llevará a una cápsula registrando su peso y luego se coloca el horno para determinar el contenido de humedad</p>

Figura 40: Procedimiento para determinar el ensayo de Límite Líquido.

ASTM D2435 - ENSAYO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE EXPANSIÓN DE SUELOS

EQUIPOS:

CONSOLIDÓMETRO.

Este aparato debe reunir los requisitos del método ASTM D 2435.

PIEDRAS POROSAS

Deben tener una textura de grano suave y fina para no interferir con el suelo en caso de que el papel filtro no sea utilizada y también permitirá reducir falsos desplazamientos que se hayan generado por el asentamiento de la muestra.

HOJA DE ALUMINIO, PAPEL TOALLA HUMECTANTE O MEMBRANA PLÁSTICA.

Utilizada para minimizar la evaporación de la muestra antes de saturarla.

ENSAYO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE EXPANSIÓN DE SUELOS

1. Disponer el emilio colocándole muestra en él, con la membrana de aluminio y las piedras porosas en el dispositivo de ensayo



2. Cerrar la muestra tan pronto como se puede evitar pérdida de humedad y para evitar también pérdida de volumen debido a la evaporación

3. Ensayar aplicando presión constante de al menos 1 kPa (20lb/ft²). considerando los 5 minutos después de aplicar σ_{se} , ajustando el extensómetro para la lectura inicial.



4. Inundar el espécimen, luego de registrar la lectura de la deformación inicial para la presión de asiento, se inunda la muestra

5. Mantener registro de las deformaciones en determinados periodos de tiempo.



Figura 41: Procedimiento de recolección de datos – Potencial de Expansión.

ASTM D4648 - ENSAYO - ESTÁNDAR PARA CALCULAR LA RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS COHESIVOS MEDIANTE EL DISPOSITIVO DE VELETA MANUAL TIPO TORVANE.

EQUIPOS.

- a) Equipo Torvane.
- b) Balanza de precisión.
- c) Horno de Temperatura de 110°C.

a) Equipo Torvane.

Es un dispositivo de corte de veletas manual para determinar el índice de resistencia al corte en suelos cohesivos, ya sea en el laboratorio o en el campo. Normado por ASTM D4648 / D4648M – 16. El dispositivo de veleta ingresa en el espécimen y aplica un torque mediante un resorte el cual se encuentra calibrado hasta lograr la falla de la arcilla. Su lectura nos permite estimar la resistencia al esfuerzo cortante. El equipo consta de un brazo con un dial de lectura y 3 Veletas:

- Cuando se utiliza la paleta estándar (1 "(25,4 mm) de diámetro), multiplique leyendo por 1.
- Cuando se utiliza la paleta sensible (1-7 / 8 "(47,6 mm) de diámetro), multiplica la lectura por 0.2.
- Cuando se utiliza la paleta de alta capacidad (3/4 "(19 mm) de diámetro), multiplica la lectura por 2.5.



Figura 42, Figura 43 y Figura 44: Equipo Torvane. Tomada de BAJLA, J. Design of the torvane apparatus for a measurement of soil shear strength. Tractors and Power Machines, 2001.

Balanza de precisión.

Dispositivo que permitirá conocer el peso de los cuerpos incluidos en los ensayos, definición graduados y con la sensibilidad adecuada.



Figura 45, Figura 46: Balanza de precisión.

Horno de Temperatura de 110°C.

Nos permitirá disipar la humedad contenida en un cuerpo de modo que se pueda corregir los pesos que contengan y se hayan podido modificar o incrementar por el contenido de humedad, contará con un circulante de aire, controlado termostáticamente para temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 47: Horno de Temperatura de 110°C.

ENSAYO DE DETERMINACION DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

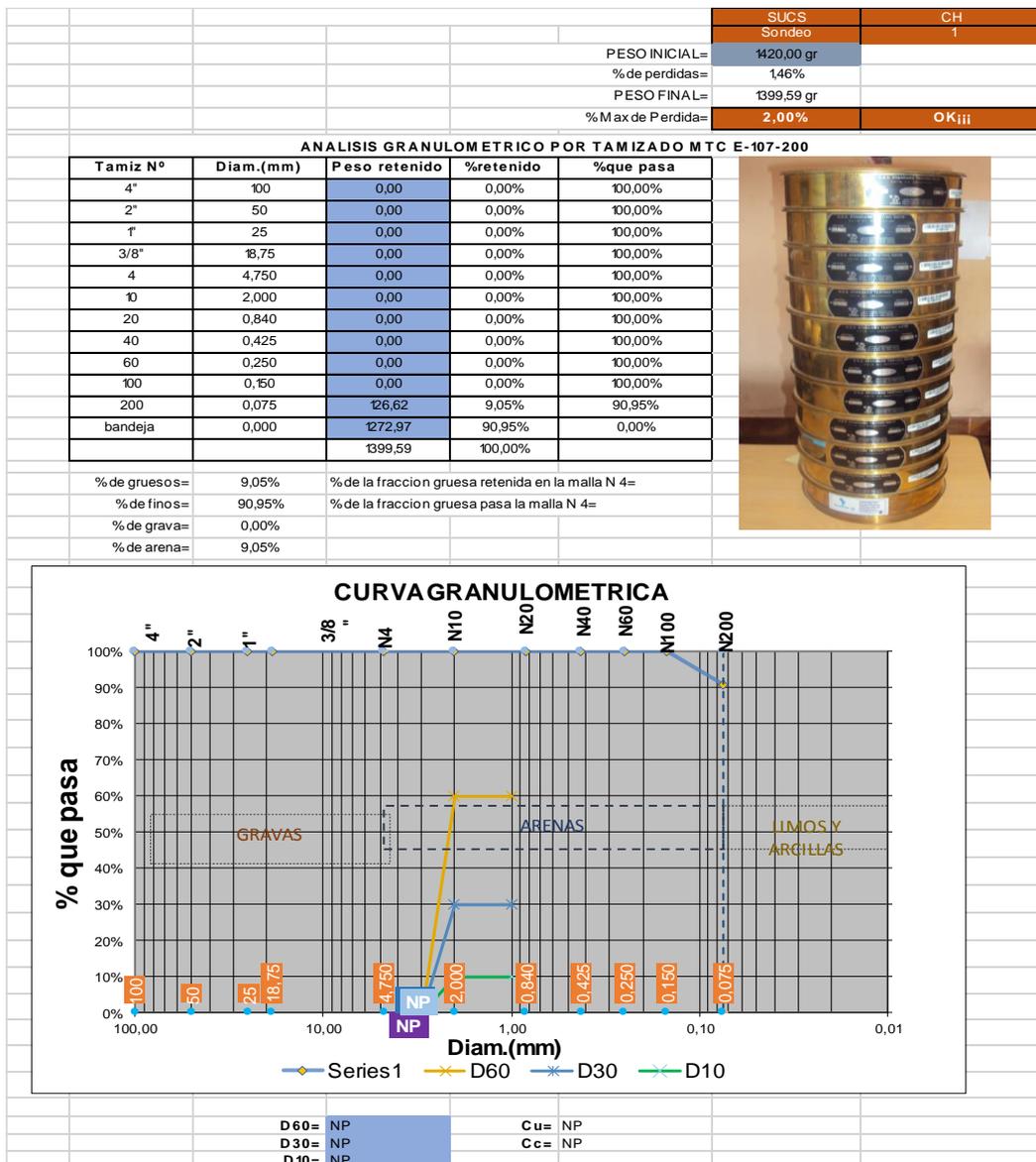
<p>1. Prepare una superficie plana sobre la muestra.</p>	
	<p>2. Ensamblar la veleta del rango adecuado al brazo, presionando el extremo del brazo hasta el hueco cuadrado en la veleta.</p>
<p>3. Verifique que el cero de la escala circular coincida con el índice en el cabeza. Si no coincide, gire el dial con la punta del dedo en el relieve números en sentido opuesto al giro de las agujas del reloj hasta que se detiene en el índice.</p>	
	<p>4. Presione el Torvane con cuidado en el suelo con el brazo en ángulo recto para la superficie, a la profundidad de las cuchillas.</p>
<p>5. Manteniendo una carga vertical constante por la presión de los dedos, gire lentamente la perilla a una velocidad constante para proporcionar un torque en la veleta. NOTA: Una tasa de rotación para que la falla se desarrolle en 5 a 10 segundos es recomendado.</p>	
	<p>5. Después de que la muestra falla, lea la resistencia al corte en el dial circular solo contra el índice.</p>
<p>6. Multiplique la lectura por el factor de escala apropiado para lograr la obtención de la resistencia al esfuerzo cortante</p>	

Figura 48: Procedimiento del ensayo de Resistencia al Esfuerzo Cortante mediante veleta tipo torvane.

4.1.1.1. TOMA DE DATOS

El muestreo se realizó con el fin de obtener una muestra representativa del suelo que se empleó en la investigación, con el propósito de realizar ensayos como determinación del contenido de humedad, análisis granulométrico, determinación de los límites de consistencia, determinación del potencial de expansión de los suelos y resistencia al esfuerzo cortante, estos ensayos se realizaron del espécimen patrón, para definir un marco de alteración y para luego ser ensayados con la adición de polímero.

Tabla 14. Análisis granulométrico por tamizado mecánico según la MTC E107



Analisis granulométrico por tamizado mecánico según la MTC E107, donde se ordeno las mallas de acuerdos a la secuencia de suelos establecido por la NTP 339.128. En la parte inferior se detalla la fracción pasante, los tamices con respecto a cada tamiz, además se observa que no se presentara los índices de Cu (Coeficiente de uniformidad) y Cc (Coeficiente de curvatura).

Tabla 15. Determinacion de los limites de Atterberg

LIMITES DE CONSISTENCIA				
LIMITE PLASTICO				
Nº de lata	1	2	3	PROMEDIO
peso de suelo humedo + lata	11,39	11,11	12,21	
peso de suelo seco + lata (gr)	9,50	9,32	10,34	
peso de lata (gr)	5,23	5,64	6,22	
peso de suelo seco (gr)	4,27	3,68	4,12	
peso de suelo humedo (gr)	6,16	5,47	5,99	
peso de agua (gr)	1,89	1,79	1,87	
contenido de humedad	44,26%	48,64%	45,39%	46,10%

LIMITE PLASTICO

Sample	Moisture Content (%)
1	44,26%
2	48,64%
3	45,39%
PROMEDIO	46,10%

LIMITE LIQUIDO				
Nº DE TARA	A1			
PESO DE LA TARA (gr)	10,90			
PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)	58,63			
PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)	34,52			
PESO DEL AGUA (gr)	24,11			
PESO DEL SUELO SECO (gr)	23,62			
NUMERO DE GOLPES	24			
CONTENIDO DE HUMEDAD %	102,07%			
LIMITE LIQUIDO %	101,57%			

$$LL = W_N * \left(\frac{N}{25}\right)^{Tan\beta}$$

LL: Limite liquido

W_N : Contenido de humedad natural

N: Numero de golpes

$Tan\beta$: Pendiente de la linea de flujo (0.121 es una buena aproximacion)

LL: 101,57%
LP: 46,10%
IP: 55,47%

Determinacion de los limites de Atterberg, donde el limite plástico se determino a partir de 03 valores y el límite líquido se determino segun el método de un solo punto.

Tabla 16. Clasificación de suelos – SUCS. Determinación del tipo de suelo de acuerdo a SUCS (gruesos, finos), tomando como base los parámetros de retenido por la malla N°200 y N°4, los límites de consistencia y los coeficientes de uniformidad y curvatura.

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)		SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487				
Datos para la clasificación						
De la granulometría						
% de gruesos=	9,05%					
% de finos=	90,95%	Retenido en malla N 200=	9,05%			
% de grava=	0,00%	Retenido en malla N 4=	0,00%			
% de arena=	9,05%					
% de la fracción gruesa retenida en la malla N 4=	0,00%	(Grava)				
% de la fracción gruesa pasa la malla N 4=	100,00%	(Arena)				
Cu=	NP					
Cc=	NP					
De los límites de consistencia						
LL=	101,57%					
LP=	46,10%					
IP=	55,47%					
Sondeo	1					
SUCS	CH					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487						
Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio		Clasificación de suelos				
		Símbolo de grupo	Nombre del grupo			
Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenida en la malla No. 200	Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
		Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada	
			IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
			Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo	
		Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla	
	Cumple los criterios para GP y GM		GP-GM	Grava mal graduada con limo		
	Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla	
			Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
				$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada
		Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
				IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
Limos y arcillas Limite Líquido menor que 50		Inorgánicos	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo	
			Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla	
			Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo	
Limos y arcillas Limite Líquido mayor que 50		Inorgánicos	Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla	
			IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad	
			IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad	
Limos y arcillas Limite Líquido menor que 50		Orgánicos	Limite líquido - secado al horno < 0.75	OL	Arcilla orgánica	
	Limite líquido - no secado < 0.75		OH	Limo orgánico		
	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"		CH	Arcilla de alta plasticidad		
Limos y arcillas Limite Líquido mayor que 50	Orgánicos	IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad		
		Limite líquido - secado al horno < 0.75	OH	Arcilla orgánica		
		Limite líquido - no secado < 0.75	OH	Limo orgánica		
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro	PT	Turba			

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200															FINOS MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200										
GRAVAS					ARENAS										LIMOS Y ARCILLAS					ORG (Turba)					
LIMPIAS		COMBINACIONES			CON FINOS			LIMPIAS		COMBINACIONES			CON FINOS					LL < 50%		LL > 50%					
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt

CH	(SUCS)	Arcilla elastica con arena
-----------	---------------	----------------------------

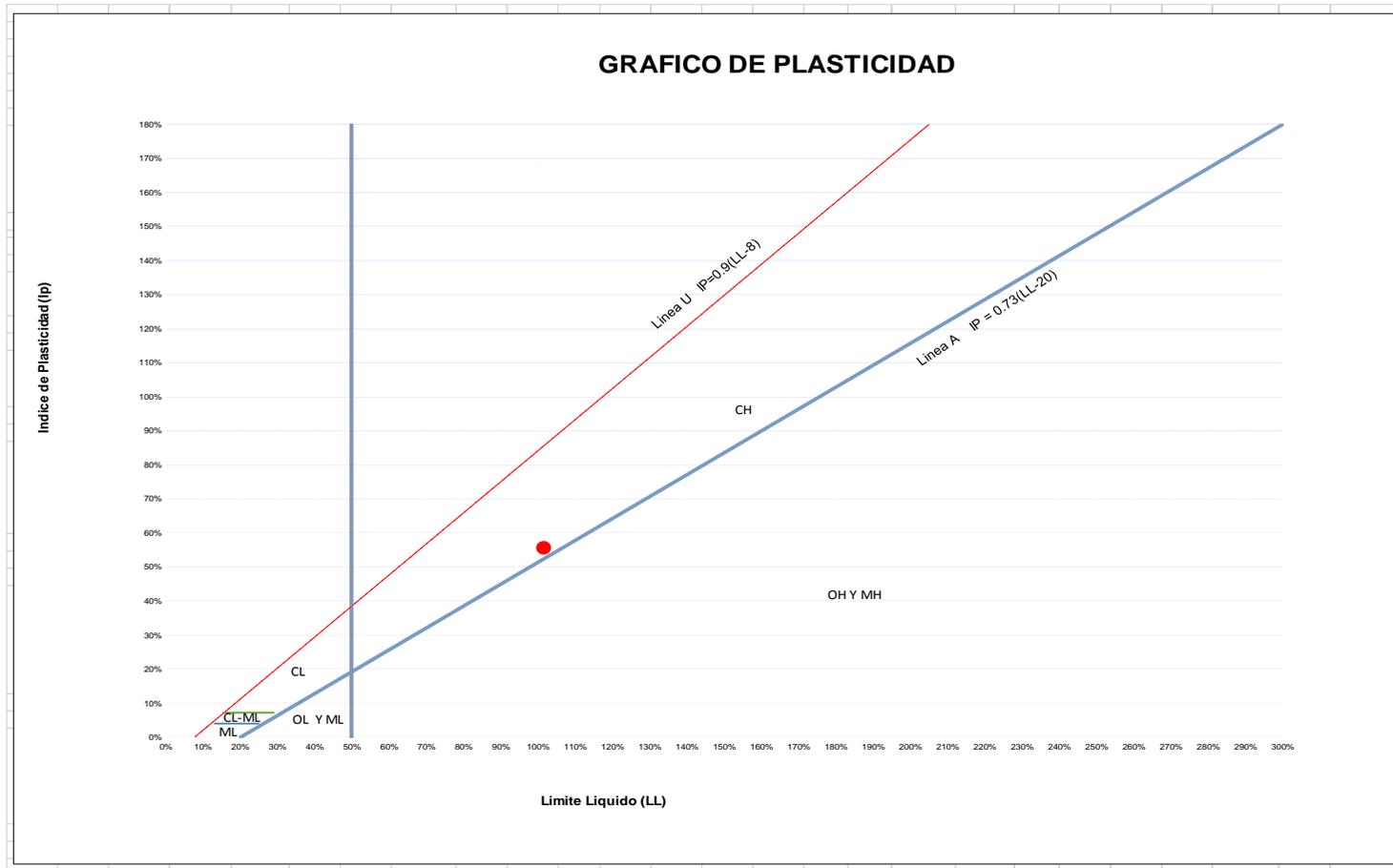


Figura 49: Carta de plasticidad de casa grande (según astm D-2487-93). Carta de plasticidad de casa grande la cual evalua las condiciones del límite líquido e índice de plasticidad, de ahí clasifica los suelos como arcillas y limos, de baja y alta plasticidad.

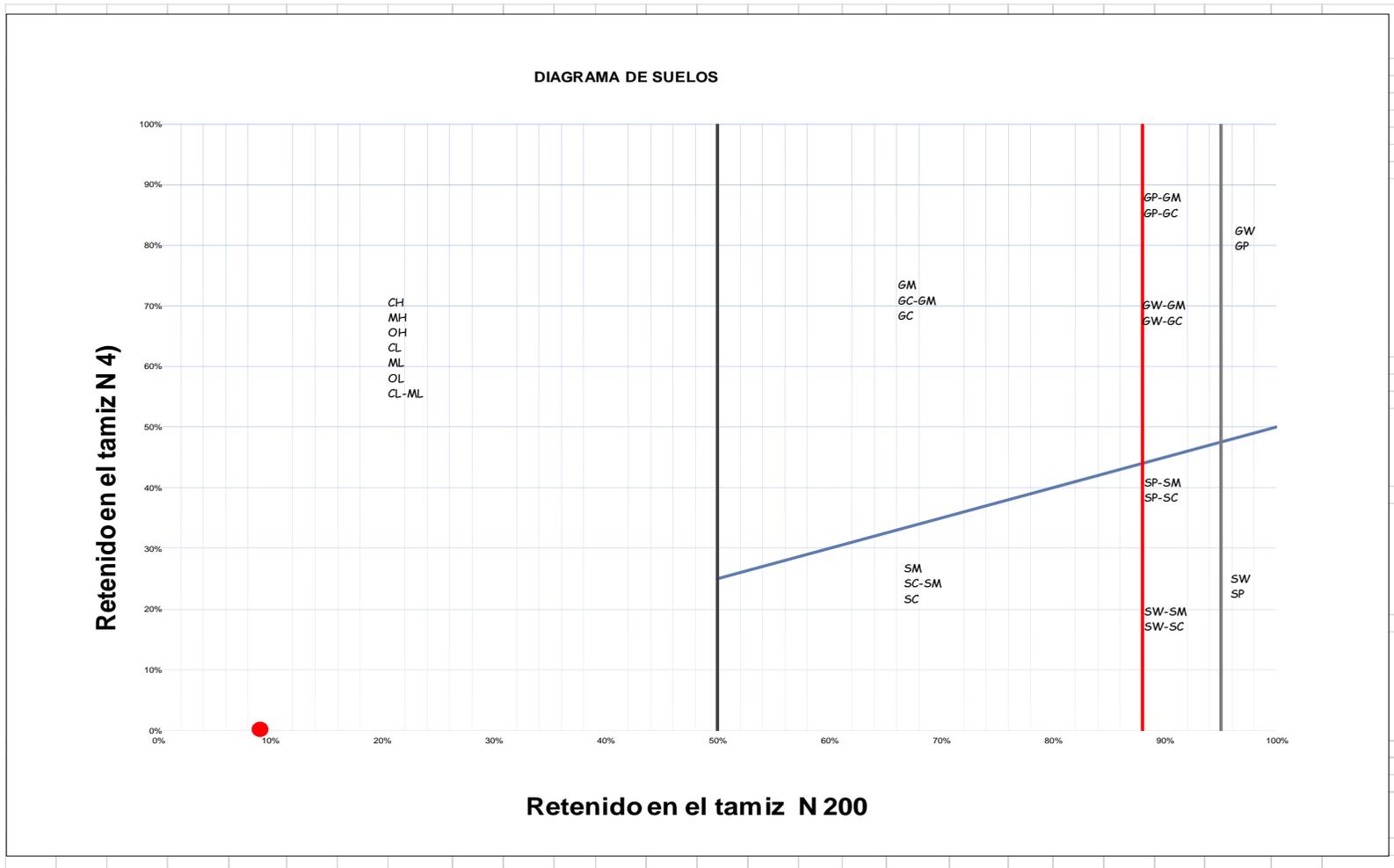


Figura 50: Diagrama de suelos SUCS. Diagrama de SUCS, el cual ayuda a determinar el tipo de suelo (cohesivo o friccionante), a partir del retenido de la malla frontera n° 4 y n°200

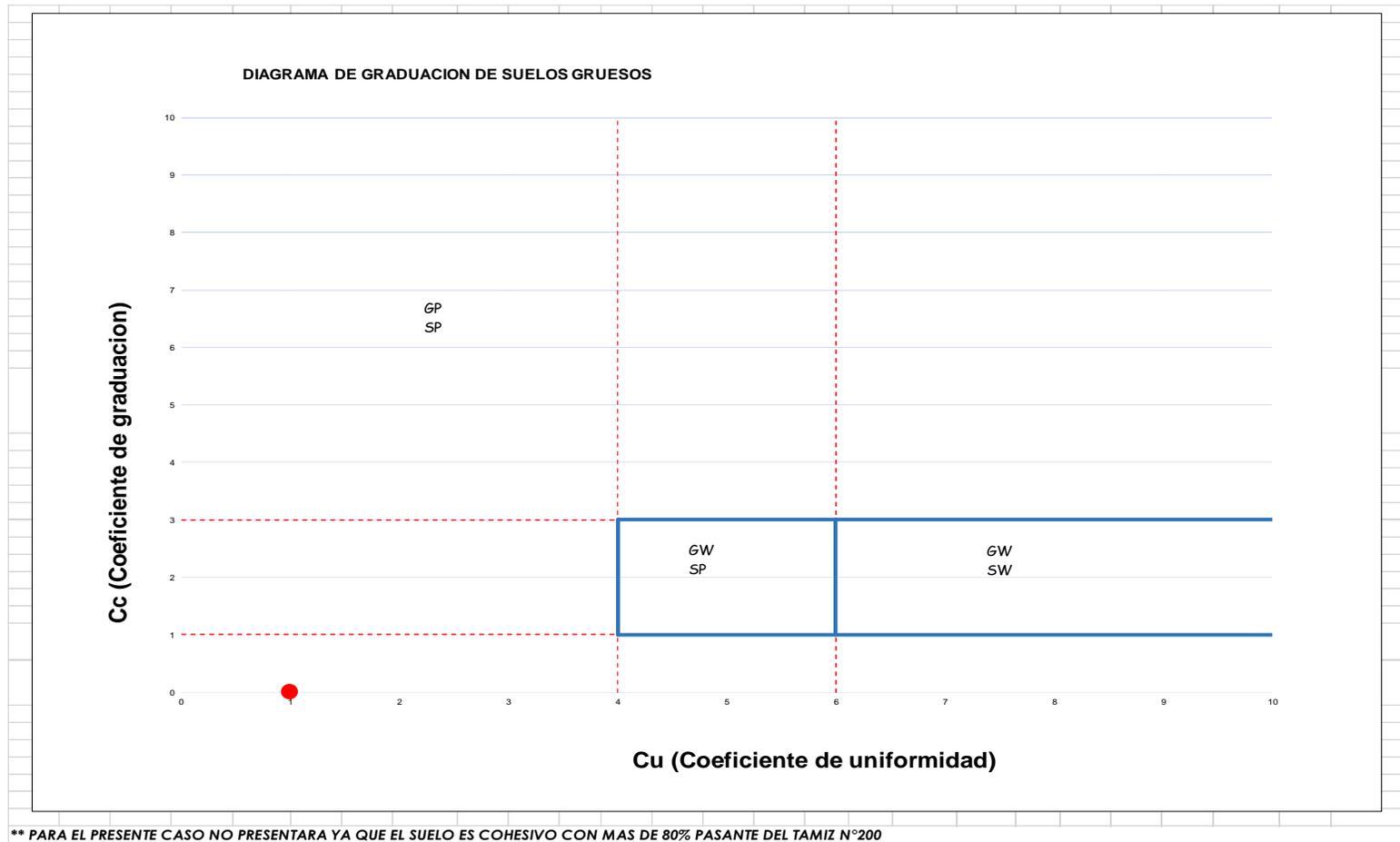
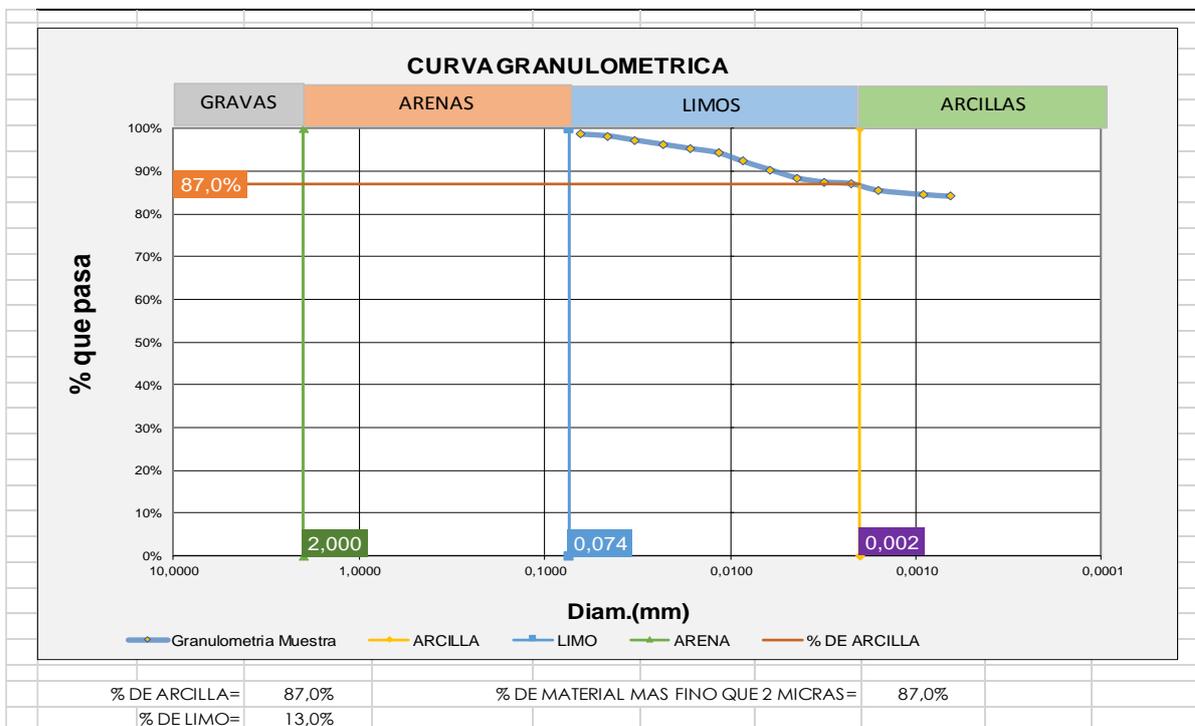


Figura 51: Diagrama de graduación de suelos grueso. Determinación de la graduación del material: W cuando el material es bien graduado y P cuando el material está mal graduado, lo cual se determina de acuerdo a los coeficientes de uniformidad y graduación, obtenidos del D60, D30 y D10.

Tabla 17. Analisis granulométrico por sedimentación MTC E – 107 – 200

SONDEO		1							
SUCS		CH							
ANALISIS GRANULOMETRICO POR SEDIMENTACION MTC E-107-200									
$Ft = -4.85 + 0.25t$		$Rcl = R + Fm$							
$a = \frac{Gs(1.65)}{(Gs - 1)2.65}$		$Rcp = R + Ft - Fz$							
Fz=correccion por cero o defloculante									
Fz= 7									
Fm=correccion por menisco									
Fm= 1 Gs= 2,75									
a=correccion por Gs									
a= 0,98									
Tiempo	Lectura Hidrometro	Temperatura	Ft= -4.85+0.25xt	Rcp	% que pasa $\frac{a.Rcp \times 100}{50}$	Rcl	L Profundidad efectiva	Ac Actividad $f_c(t, G_s, G_w \text{ y } \mu)$	D(mm)
0,25 min	55,2	28,00 °C	2,15	50,35	98,686%	56,2	7,10	0,0121	0,0644
0,5 min	55	28,00 °C	2,15	50,15	98,294%	56	7,10	0,0121	0,0455
1 min	54,5	28,00 °C	2,15	49,65	97,314%	55,5	7,30	0,0121	0,0326
2 min	54	28,00 °C	2,15	49,15	96,334%	55	7,30	0,0121	0,0231
4 min	53,5	28,00 °C	2,15	48,65	95,354%	54,5	7,40	0,0121	0,0164
8 min	53	28,00 °C	2,15	48,15	94,374%	54	7,40	0,0121	0,0116
15 min	52	28,00 °C	2,15	47,15	92,414%	53	7,60	0,0121	0,0086
30 min	51	28,00 °C	2,15	46,15	90,454%	52	7,80	0,0121	0,0062
60 min	50	28,00 °C	2,15	45,15	88,494%	51	7,90	0,0121	0,0044
120 min	49,5	28,00 °C	2,15	44,65	87,514%	50,5	8,10	0,0121	0,0031
240 min	49,3	28,00 °C	2,15	44,45	87,122%	50,3	8,10	0,0121	0,0022
480 min	48,5	28,00 °C	2,15	43,65	85,554%	49,5	8,30	0,0121	0,0016
1440 min	48	28,00 °C	2,15	43,15	84,574%	49	8,30	0,0121	0,0009
2880 min	47,8	28,00 °C	2,15	42,95	84,182%	48,8	8,40	0,0121	0,0007

Figura 52: Determinación de la granulometría del material fino (arcilla y limo)



Determinación de la granulometría del material fino (arcilla y limo), bajo el método de hidrómetro, donde se analiza el porcentaje que pasa por cada tamiz descrito en el cuadro superior.

Tabla 18. Determinación del potencial de expansión del suelo

Sondeo		1	
SUCS		CH	
DETERMINACION DE LA EXPANSION DEL SUELO			
ESTADO DE LA MUESTRA			
	1	2	3
DIAMETRO (cm)	5,06	5,08	5,05
AREA (cm ²)	20,11	20,27	20,03
ALTURA (cm)	2,55	2,54	2,52
VOLUMEN (cm ³)	51,28	51,48	50,47
PESO DEL ANILLO	35,66	35,66	35,66
PESO DEL ANILLO + SUELO HUEMEDO	121,62	121,11	123,60
PESO DEL ANILLO + SUELO SECO	119,55	118,54	119,82
PESO EL AGUA	2,07	2,57	3,78
PESO DEL ESPECIMEN SOLIDO SECO	83,89	82,88	84,16
PESO DEL ESPECIMEN SOLIDO HUMEDO	85,96	85,45	87,94
DENSIDAD HUMEDA	1,68	1,66	1,74
DENSIDAD SECA	1,64	1,61	1,67
HUMEDAD	2,47%	3,10%	4,49%



N° DE MUESTRA	1			2			3		
	LECTURA DEL DIAL (pulg)	DEFORMACION (mm)	% DE EXPANSION	LECTURA DEL DIAL (pulg)	DEFORMACION (mm)	% DE EXPANSION	LECTURA DEL DIAL (pulg)	DEFORMACION (mm)	% DE EXPANSION
1	0,010	0,254	1,00 %	0,008	0,2032	0,80 %	0,006	0,1524	0,60 %
2	0,015	0,381	1,49 %	0,012	0,3048	1,20 %	0,010	0,254	1,01 %
3	0,019	0,4826	1,89 %	0,018	0,4572	1,80 %	0,015	0,381	1,51 %
4	0,021	0,5334	2,09 %	0,020	0,508	2,00 %	0,018	0,4572	1,81 %
5	0,024	0,6096	2,39 %	0,021	0,5334	2,10 %	0,021	0,5334	2,12 %
6	0,027	0,6858	2,69 %	0,022	0,5588	2,20 %	0,022	0,5588	2,22 %
7	0,029	0,7366	2,89 %	0,024	0,6096	2,40 %	0,023	0,5842	2,32 %
8	0,032	0,8128	3,19 %	0,025	0,635	2,50 %	0,025	0,635	2,52 %
9	0,034	0,8636	3,39 %	0,026	0,6604	2,60 %	0,028	0,7112	2,82 %
10	0,036	0,9144	3,59 %	0,028	0,7112	2,80 %	0,029	0,7366	2,92 %
15	0,037	0,9398	3,69 %	0,029	0,7366	2,90 %	0,031	0,7874	3,12 %
30	0,039	0,9906	3,88 %	0,031	0,7874	3,10 %	0,033	0,8382	3,33 %
60	0,041	1,0414	4,08 %	0,033	0,8382	3,30 %	0,035	0,889	3,53 %
120	0,043	1,0922	4,28 %	0,034	0,8636	3,40 %	0,039	0,9906	3,93 %
240	0,045	1,143	4,48 %	0,036	0,9144	3,60 %	0,041	1,0414	4,13 %
480	0,048	1,2192	4,78 %	0,038	0,9652	3,80 %	0,043	1,0922	4,33 %
1440	0,051	1,2954	5,08 %	0,040	1,016	4,00 %	0,046	1,1684	4,64 %
4320	0,052	1,3208	5,18 %	0,045	1,143	4,50 %	0,051	1,2954	5,14 %

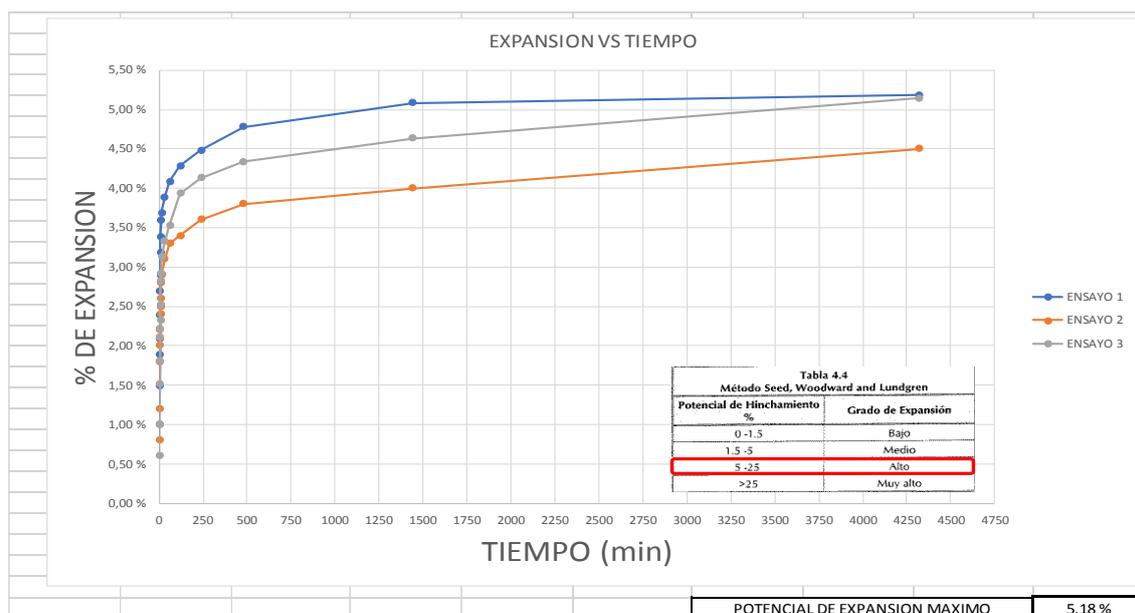
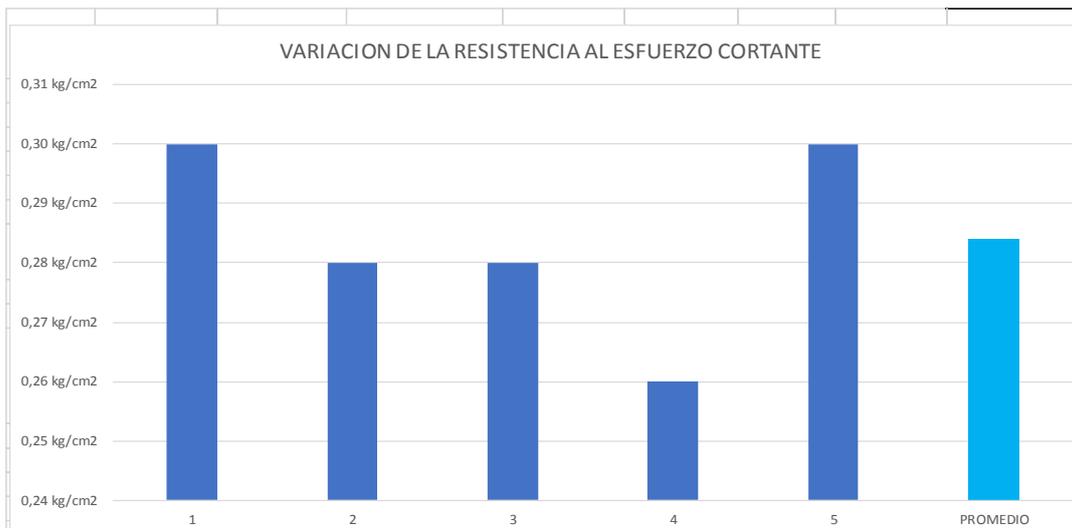


Figura 53: Determinación del potencial de expansión del suelo bajo el método A

Determinación del potencial de expansión del suelo bajo el método A, donde se registró la variación del volumen en un estimado tiempo, para el presente caso se considero tiempos de hasta 4320 min.

Tabla 19. Determinación de la resistencia al corte

Sondeo		1		SUCS	CH		
DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CORTE							
TIPO DE VELETA							
TAMAÑO	TIPO DE SUELO	FACTOR	DIMENSION	N°	LECTURA DEL DIAL (X)	FACTOR DE LA VELETA (F)	RESISTENCIA A CORTE (kg/cm ²)
ESTANDAR	MIXTOS	1	2,50 cm	1	15	0,2	0,30 kg/cm ²
PEQUEÑA	RIGIDOS	2,5	2,00 cm	2	14	0,2	0,28 kg/cm ²
GRANDE	BLANDOS	0,2	4,50 cm	3	14	0,2	0,28 kg/cm ²
				4	13	0,2	0,26 kg/cm ²
				5	15	0,2	0,30 kg/cm ²
PARA EL PRESENTE CASO			GRANDE			PROMEDIO=	0,28 kg/cm ²



DETERMINACION DEL TIPO DE PERFIL DEL SUELO E030

CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELOS				
PERFIL	VELOCIDAD DE PROPAGACION DE ONDA DE CORTE	SPT	RESISTENCIA AL CORTE EN CONDICIONES NO DRENADAS	
	V _s		N ₆₀	Su (kPas)
S0	>1500 m/s	-	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa	>1.00 kg/cm ²
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa	0.5 kg/cm ² a 1.00 kg/cm ²
S3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa	0.25 kg/cm ² a 0.50 kg/cm ²
S4	CLASIFICACION BASADA EN EL EMS			
TIPO DE PERFIL DE SUELO=				S3
				SUELOS BLANDOS

Figura 54: Determinación de la resistencia al corte bajo el método de la veleta tipo torvane.

Determinación de la resistencia al corte bajo el método de la veleta tipo torvane, para lo cual se realizó un ensayo con 05 repeticiones para obtener un valor más representativo de la muestra a evaluar, además se determinó el tipo de perfil del suelo de acuerdo a la tabla inferior del presente Figura, lo cual se tomó de la E 030 diseño sísmo resistente.

Se realizaron los mismos ensayos, de manera pertinente, para ser replicados de manera secuencial añadiendo la dosificación de polímero bi – componente, cuyas fichas de recolección de datos juntamente con sus cuadros resumen, anexo fotográfico, y ficha técnica de los componentes químicos del polímero bi – componente, así como el muestreo de su disposición, se encuentran anexados en la parte consecuente al capítulo de Conclusiones, Recomendaciones y Referencias Bibliográficas. La recopilación de la base de datos recabada a partir de los datos obtenidos de los ensayos, se compilan en el siguiente título.

Para lograr el objetivo de la presente investigación, se ha manipulado la variable independiente mediante las proporciones de polímero que se señalan a continuación.

4.1.1.2. BASE DE DATOS DESARROLLADO EMPLEANDO LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Se ha determinado que las proporciones de polímero líquido vayan desde 0.1% a 2.4% en peso respecto de la muestra seca. Y así del mismo modo, en cuanto al polímero sólido. Las dosis se han dividido en 25 pasos los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20. Proporciones de polímero líquido y sólido para las muestras.

N	MUESTRA	Polímero Líquido (%)	Polímero Sólido (%)	Polímero sólido + líquido
1	PATRÓN	0,0	0,0	0,0
2	PATRÓN + POLÍMERO	0,1	0,1	0,2
3	PATRÓN + POLÍMERO	0,2	0,2	0,4
4	PATRÓN + POLÍMERO	0,3	0,3	0,6
5	PATRÓN + POLÍMERO	0,4	0,4	0,8
6	PATRÓN + POLÍMERO	0,5	0,5	1,0
7	PATRÓN + POLÍMERO	0,6	0,6	1,2
8	PATRÓN + POLÍMERO	0,7	0,7	1,4
9	PATRÓN + POLÍMERO	0,8	0,8	1,6
10	PATRÓN + POLMERO	0,9	0,9	1,8
11	PATRÓN + POLÍMERO	1,0	1,0	2,0
12	PATRÓN + POLÍMERO	1,1	1,1	2,2
13	PATRÓN + POLÍMERO	1,2	1,2	2,4
14	PATRÓN + POLÍMERO	1,3	1,3	2,6
15	PATRÓN + POLÍMERO	1,4	1,4	2,8
16	PATRÓN + POLÍMERO	1,5	1,5	3,0
17	PATRÓN + POLÍMERO	1,6	1,6	3,2
18	PATRÓN + POLÍMERO	1,7	1,7	3,4
19	PATRÓN + POLÍMERO	1,8	1,8	3,6
20	PATRÓN + POLÍMERO	1,9	1,9	3,8
21	PATRÓN + POLÍMERO	2,0	2,0	4,0
22	PATRÓN + POLÍMERO	2,1	2,1	4,2
23	PATRÓN + POLÍMERO	2,2	2,2	4,4
24	PATRÓN + POLÍMERO	2,3	2,3	4,6
25	PATRÓN + POLMERO	2,4	2,4	4,8

Las proporciones determinadas en porcentaje se han convertido a peso en gramos de los respectivos componentes del polímero. Para el caso de la muestra, basados en la norma ASTM 4318 dentro de la eficiencia práctica,

y determinado por el muestreo no probabilístico por conveniencia. *Salvadó, I. E. (2016) Tipos de muestreo.* todas las muestras han tenido un peso seco de 130g esto en consideración a que es material suficiente, utilizado para los ensayos determinados en la investigación. Lo cual se observa en la siguiente tabla:

Tabla 21. Proporciones de polímero líquido y sólido, polímero bi - componente para las muestras.

N	MUESTRA	POLÍMERO Líquido (%)	Polímero Sólido (%)	Muestra (g)	POLÍMERO sólido + líquido	Peso total
1	PATRÓN	0,0	0,0	130	0,0	130,0
2	PATRÓN + POLÍMERO	0,1	0,1	130	0,2	130,2
3	PATRÓN + POLÍMERO	0,2	0,2	130	0,4	130,4
4	PATRÓN + POLÍMERO	0,3	0,3	130	0,6	130,6
5	PATRÓN + POLÍMERO	0,4	0,4	130	0,8	130,8
6	PATRÓN + POLÍMERO	0,5	0,5	130	1,0	131,0
7	PATRÓN + POLÍMERO	0,6	0,6	130	1,2	131,2
8	PATRÓN + POLÍMERO	0,7	0,7	130	1,4	131,4
9	PATRÓN + POLÍMERO	0,8	0,8	130	1,6	131,6
10	PATRÓN + POLÍMERO	0,9	0,9	130	1,8	131,8
11	PATRÓN + POLÍMERO	1,0	1,0	130	2,0	132,0
12	PATRÓN + POLÍMERO	1,1	1,1	130	2,2	132,2
13	PATRÓN + POLÍMERO	1,2	1,2	130	2,4	132,4
14	PATRÓN + POLÍMERO	1,3	1,3	130	2,6	132,6
15	PATRÓN + POLÍMERO	1,4	1,4	130	2,8	132,8
16	PATRÓN + POLÍMERO	1,5	1,5	130	3,0	133,0
17	PATRÓN + POLÍMERO	1,6	1,6	130	3,2	133,2
18	PATRÓN + POLÍMERO	1,7	1,7	130	3,4	133,4
19	PATRÓN + POLÍMERO	1,8	1,8	130	3,6	133,6
20	PATRÓN + POLÍMERO	1,9	1,9	130	3,8	133,8
21	PATRÓN + POLÍMERO	2,0	2,0	130	4,0	134,0
22	PATRÓN + POLÍMERO	2,1	2,1	130	4,2	134,2
23	PATRÓN + POLÍMERO	2,2	2,2	130	4,4	134,4
24	PATRÓN + POLÍMERO	2,3	2,3	130	4,6	134,6
25	PATRÓN + POLÍMERO	2,4	2,4	130	4,8	134,8

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para lograr el objetivo de la presente investigación, se ha manipulado la variable independiente mediante las proporciones de polímero que se señalan a continuación.

4.1.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO (LL)

Para la obtención de los resultados, se ha utilizado el método de observación estructurada (“Realizado con soporte de elementos técnicos adecuados, como: fichas, tablas, etc, razón por la que se denomina observación sistemática”. *Díaz Sanjuán, L. (2010)*). La observación. Se ejecutó siguiendo los pasos determinados en la norma, ASTM D4318. Con el método de cálculo de un solo punto cuya formula es:

$$LL = W_N \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{\text{Tan}\beta}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

WN = Contenido de humedad

N = Numero de golpes

Tanβ = Pendiente de la línea de flujo

Figura 55: Fórmula de método de 1 punto. Tomada de Fuente: ASTM D - 4318

La síntesis de los resultados obtenidos por medio de los ensayos, se aprecia utilizando la fórmula previamente descrita, mediante la que se obtuvieron los límites líquidos de cada una de las muestras, lo cual se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 22. Resumen de resultados de los ensayos para calcular el Limite líquido.

Nº	CODIGO DE CAPSULA	MUESTRA	Polímero Líquido (%)	Polímero Sólido (%)	POLÍMERO solido + liquido	LL (%)
1	A20	PATRÓN	0,0	0,0	0,0	101,57%
2	A3	PATRÓN + POLÍMERO	0,1	0,1	0,2	100,97%
3	K1	PATRÓN + POLÍMERO	0,2	0,2	0,4	103,28%
4	R4	PATRÓN + POLÍMERO	0,3	0,3	0,6	102,57%
5	D1	PATRÓN + POLÍMERO	0,4	0,4	0,8	100,85%
6	A7	PATRÓN + POLÍMERO	0,5	0,5	1,0	100,47%
7	W1	PATRÓN + POLÍMERO	0,6	0,6	1,2	99,19%
8	Q3	PATRÓN + POLÍMERO	0,7	0,7	1,4	98,92%
9	P2	PATRÓN + POLÍMERO	0,8	0,8	1,6	89,03%
10	A14	PATRÓN + POLÍMERO	0,9	0,9	1,8	88,23%
11	PQ7	PATRÓN + POLÍMERO	1,0	1,0	2,0	89,81%
12	Q1	PATRÓN + POLÍMERO	1,1	1,1	2,2	86,49%
13	A16	PATRÓN + POLÍMERO	1,2	1,2	2,4	88,76%
14	W2	PATRÓN + POLÍMERO	1,3	1,3	2,6	87,96%
15	H6	PATRÓN + POLÍMERO	1,4	1,4	2,8	86,01%
16	L1	PATRÓN + POLÍMERO	1,5	1,5	3,0	87,62%
17	P3	PATRÓN + POLÍMERO	1,6	1,6	3,2	87,62%
18	A1	PATRÓN + POLÍMERO	1,7	1,7	3,4	84,73%
19	A12	PATRÓN + POLÍMERO	1,8	1,8	3,6	84,83%
20	R1	PATRÓN + POLÍMERO	1,9	1,9	3,8	86,89%
21	A19	PATRÓN + POLÍMERO	2,0	2,0	4,0	85,48%
22	A6	PATRÓN + POLÍMERO	2,1	2,1	4,2	85,50%
23	A5	PATRÓN + POLÍMERO	2,2	2,2	4,4	86,94%
24	L2	PATRÓN + POLÍMERO	2,3	2,3	4,6	84,87%
25	A8	PATRÓN + POLÍMERO	2,4	2,4	4,8	88,65%

A partir de los datos recabados con respecto a la dosificación de polímero líquido y el polímero sólido, se puede proyectar el siguiente gráfico, considerando como punto de inicio el ensayo patrón el cual se compone del espécimen de suelo puro carente de dosificación de polímero.

4.1.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LÍMITE PLÁSTICO (LP)

Para la obtención de los resultados, se ha utilizado el método de observación estructurada siguiendo los indicado en la norma, ASTM D4318.

El resumen de los resultados obtenidos a partir de los ensayos se aprecia utilizando la formula previamente descrita, mediante la que se obtuvieron los resultados de Limite Plástico de cada una de las muestras, lo cual se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 23. Resumen de resultados de los ensayos para calcular el Límite plástico.

Nº	CODIGO DE CAPSULA	MUESTRA	Polímero Líquido (%)	Polímero Sólido (%)	LP (%)
1	A20	PATRÓN	0,0	0,0	46,10%
2	A3	PATRÓN + POLÍMERO	0,1	0,1	46,98%
3	K1	PATRÓN + POLÍMERO	0,2	0,2	46,87%
4	R4	PATRÓN + POLÍMERO	0,3	0,3	46,87%
5	D1	PATRÓN + POLÍMERO	0,4	0,4	46,90%
6	A7	PATRÓN + POLÍMERO	0,5	0,5	50,94%
7	W1	PATRÓN + POLÍMERO	0,6	0,6	51,17%
8	Q3	PATRÓN + POLÍMERO	0,7	0,7	47,96%
9	P2	PATRÓN + POLÍMERO	0,8	0,8	41,88%
10	A14	PATRÓN + POLÍMERO	0,9	0,9	41,27%
11	PQ7	PATRÓN + POLÍMERO	1,0	1,0	41,55%
12	Q1	PATRÓN + POLÍMERO	1,1	1,1	41,34%
13	A16	PATRÓN + POLÍMERO	1,2	1,2	41,65%
14	W2	PATRÓN + POLÍMERO	1,3	1,3	41,86%
15	H6	PATRÓN + POLÍMERO	1,4	1,4	41,43%
16	L1	PATRÓN + POLÍMERO	1,5	1,5	41,99%
17	P3	PATRÓN + POLÍMERO	1,6	1,6	42,13%
18	A1	PATRÓN + POLÍMERO	1,7	1,7	41,26%
19	A12	PATRÓN + POLÍMERO	1,8	1,8	41,72%
20	R1	PATRÓN + POLÍMERO	1,9	1,9	40,88%
21	A19	PATRÓN + POLÍMERO	2,0	2,0	41,48%
22	A6	PATRÓN + POLÍMERO	2,1	2,1	41,45%
23	A5	PATRÓN + POLÍMERO	2,2	2,2	41,24%
24	L2	PATRÓN + POLÍMERO	2,3	2,3	41,08%
25	A8	PATRÓN + POLÍMERO	2,4	2,4	41,12%

4.1.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)

Utilizando el método de observación estructurada, se realizó por medio de los procedimientos determinados en la norma, ASTM D4318. cuya fórmula es: $IP = LL - PL$.

La síntesis de los resultados alcanzados por medio de los ensayos se aprecia utilizando la fórmula previamente descrita, mediante la que se obtuvieron los resultados de índice de Plasticidad de cada una de las muestras, lo cual se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 24. Resumen de resultados de los ensayos para calcular el IP.

Nº	CODIGO DE CAPSULA	MUESTRA	POLÍMERO Líquido (%)	Polímero Sólido (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	A20	PATRÓN	0,0	0,0	101,57%	46,10%	55,47%
2	A3	PATRÓN + POLÍMERO	0,1	0,1	100,97%	46,98%	53,99%
3	K1	PATRÓN + POLÍMERO	0,2	0,2	103,28%	46,87%	56,41%
4	R4	PATRÓN + POLÍMERO	0,3	0,3	102,57%	46,87%	55,71%
5	D1	PATRÓN + POLÍMERO	0,4	0,4	100,85%	46,90%	53,95%
6	A7	PATRÓN + POLÍMERO	0,5	0,5	100,47%	50,94%	49,53%
7	W1	PATRÓN + POLÍMERO	0,6	0,6	99,19%	51,17%	48,02%
8	Q3	PATRÓN + POLÍMERO	0,7	0,7	98,92%	47,96%	50,96%
9	P2	PATRÓN + POLÍMERO	0,8	0,8	89,03%	41,88%	47,15%
10	A14	PATRÓN + POLÍMERO	0,9	0,9	88,23%	41,27%	46,95%
11	PQ7	PATRÓN + POLÍMERO	1,0	1,0	89,81%	41,55%	48,26%
12	Q1	PATRÓN + POLÍMERO	1,1	1,1	86,49%	41,34%	45,15%
13	A16	PATRÓN + POLÍMERO	1,2	1,2	88,76%	41,65%	47,11%
14	W2	PATRÓN + POLÍMERO	1,3	1,3	87,96%	41,86%	46,09%
15	H6	PATRÓN + POLÍMERO	1,4	1,4	86,01%	41,43%	44,58%
16	L1	PATRÓN + POLÍMERO	1,5	1,5	87,62%	41,99%	45,63%
17	P3	PATRÓN + POLÍMERO	1,6	1,6	87,62%	42,13%	45,50%
18	A1	PATRÓN + POLÍMERO	1,7	1,7	84,73%	41,26%	43,48%
19	A12	PATRÓN + POLÍMERO	1,8	1,8	84,83%	41,72%	43,11%
20	R1	PATRÓN + POLÍMERO	1,9	1,9	86,89%	40,88%	46,01%
21	A19	PATRÓN + POLÍMERO	2,0	2,0	85,48%	41,48%	43,99%
22	A6	PATRÓN + POLÍMERO	2,1	2,1	85,50%	41,45%	44,05%
23	A5	PATRÓN + POLÍMERO	2,2	2,2	86,94%	41,24%	45,70%
24	L2	PATRÓN + POLÍMERO	2,3	2,3	84,87%	41,08%	43,79%
25	A8	PATRÓN + POLÍMERO	2,4	2,4	88,65%	41,12%	47,54%

A partir de los datos recabados con respecto a la dosificación de polímero bi - componente se puede proyectar el siguiente gráfico, considerando como punto de inicio el ensayo patrón el cual se compone del espécimen de suelo puro carente de dosificación de polímero.

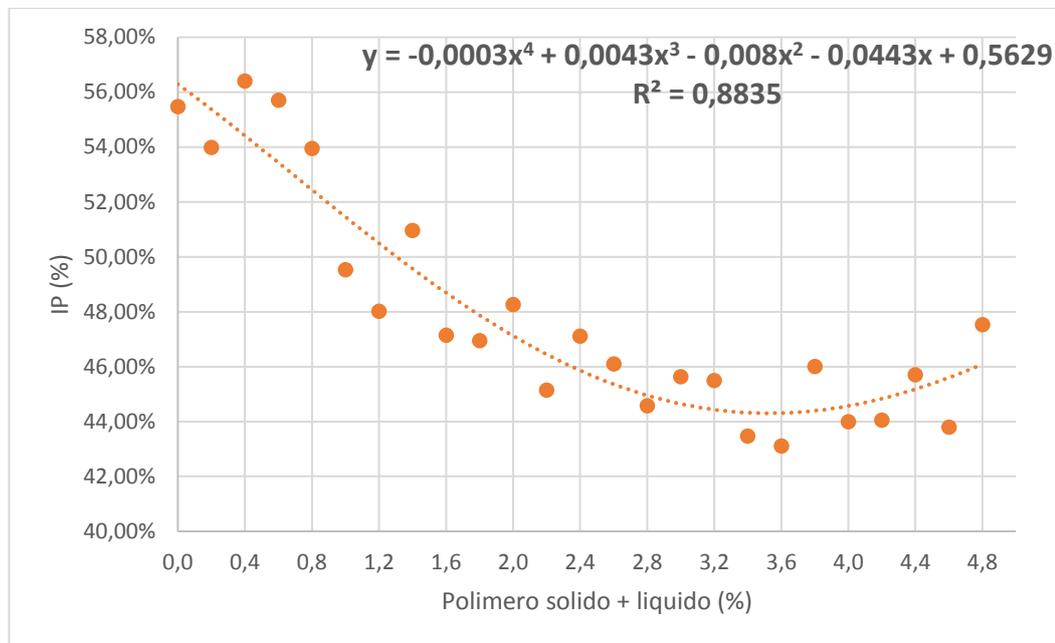


Figura 56: Determinación de la tendencia del IP en relación al POLÍMERO bicomponente

- El IP baja conforme se aumenta el polímero bi - componente.
- Por cada 0.1% de polímero que se aumenta al suelo, el IP disminuye con una tendencia constante logrando su mayor efectividad hasta la dosificación en 1.5% generando el mayor porcentaje de reducción del IP, y considera el punto a partir de donde empieza a perder efectividad, generando incremento en el IP y por lo tanto generando desfavorecimiento en términos de estabilización
- EL IP y el polímero bi - componente se correlacionan con una fuerza de 0.88

4.1.1. RESUMEN DEL ANÁLISIS

Conforme se ha observado, se muestran tendencias similares con algunas variaciones en el caso del polímero líquido, la tendencia general es que este disminuye el Índice de Plasticidad (IP) como lo esperado y requerido para la estabilización; asimismo se observa la tendencia del

polímero bi - componente de reducir el Índice de Plasticidad (IP) de forma considerable, aunque a partir de determinada dosis más allá de 3.5 % de polímero bi - componente ya no es recomendable para su aplicación, puesto que la muestra no se ve afectada manteniéndose su IP en 43%, esto es interesante a tener en consideración por razones económicas, es decir, no porque se siga aumentando el polímero bi - componente, vamos a seguir reduciendo el Índice de Plasticidad (IP), sino que más bien esta sustancia, tiene un límite de acción.

4.1.2. RESULTADOS DEL LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, MEDIANTE LA VELETA TIPO TORVANE.

Para la obtención de los resultados, se ha utilizado el método de observación estructurada, siguiendo lo determinado en la norma, ASTM – D8121. El factor para el cálculo del esfuerzo, según las divisiones del dial del instrumento tipo Torvane, se muestra continuación.

$$\frac{X}{10} * F = \tau(\text{kg/cm})^2$$

Donde:

X = Lectura del dial

F = Factor de la veleta

τ = Resistencia al esfuerzo cortante

Figura 57: Fórmula para el cálculo del esfuerzo cortante según las divisiones del dial del instrumento tipo Torvane. Tomada de: ASTM D- 8121

Utilizando la formula previamente descrita se obtuvieron los resultados de determinación de resistencia al cizallamiento de cada una de las muestras, esto se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 25. Resultados de los ensayos para calcular la resistencia al esfuerzo cortante

Nº	MUESTRA	Polímero Líquido (%)	Polímero Sólido (%)	POLÍMERO solido + liquido	Resistencia al Esfuerzo Cortante (kg/cm2)
1	PATRÓN	0,0	0,0	0,0	0,28 kg/cm2
2	PATRÓN + POLÍMERO	0,1	0,1	0,2	0,29 kg/cm2
3	PATRÓN + POLÍMERO	0,2	0,2	0,4	0,27 kg/cm2
4	PATRÓN + POLÍMERO	0,3	0,3	0,6	0,28 kg/cm2
5	PATRÓN + POLÍMERO	0,4	0,4	0,8	0,29 kg/cm2
6	PATRÓN + POLÍMERO	0,5	0,5	1,0	0,38 kg/cm2
7	PATRÓN + POLÍMERO	0,6	0,6	1,2	0,38 kg/cm2
8	PATRÓN + POLÍMERO	0,7	0,7	1,4	0,37 kg/cm2
9	PATRÓN + POLÍMERO	0,8	0,8	1,6	0,40 kg/cm2
10	PATRÓN + POLÍMERO	0,9	0,9	1,8	0,35 kg/cm2
11	PATRÓN + POLÍMERO	1,0	1,0	2,0	0,42 kg/cm2
12	PATRÓN + POLÍMERO	1,1	1,1	2,2	0,41 kg/cm2
13	PATRÓN + POLÍMERO	1,2	1,2	2,4	0,43 kg/cm2
14	PATRÓN + POLÍMERO	1,3	1,3	2,6	0,43 kg/cm2
15	PATRÓN + POLÍMERO	1,4	1,4	2,8	0,46 kg/cm2
16	PATRÓN + POLÍMERO	1,5	1,5	3,0	0,46 kg/cm2
17	PATRÓN + POLÍMERO	1,6	1,6	3,2	0,47 kg/cm2
18	PATRÓN + POLÍMERO	1,7	1,7	3,4	0,52 kg/cm2
19	PATRÓN + POLÍMERO	1,8	1,8	3,6	0,51 kg/cm2
20	PATRÓN + POLÍMERO	1,9	1,9	3,8	0,47 kg/cm2
21	PATRÓN + POLÍMERO	2,0	2,0	4,0	0,38 kg/cm2
22	PATRÓN + POLÍMERO	2,1	2,1	4,2	0,34 kg/cm2
23	PATRÓN + POLÍMERO	2,2	2,2	4,4	0,33 kg/cm2
24	PATRÓN + POLÍMERO	2,3	2,3	4,6	0,31 kg/cm2
25	PATRÓN + POLÍMERO	2,4	2,4	4,8	0,29 kg/cm2

A partir de los datos recabados con respecto a la dosificación de polímero bi - componente, se puede proyectar el siguiente gráfico, considerando como punto de inicio el ensayo patrón el cual se compone del espécimen de suelo puro carente de dosificación de polímero.

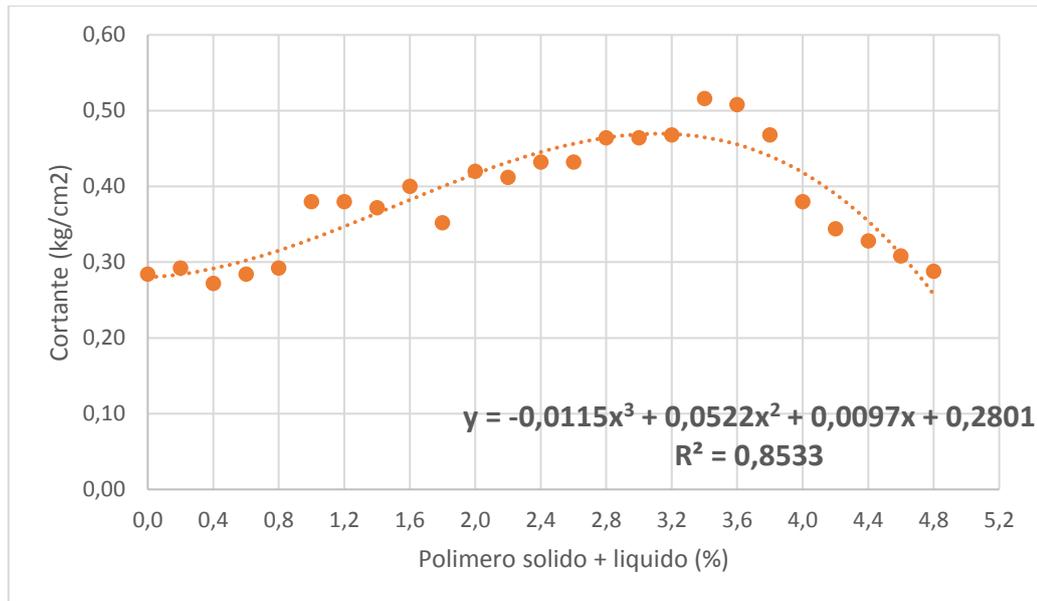


Figura 58: Determinación de la tendencia del esfuerzo cortante en relación al POLÍMERO bicomponente.

- El esfuerzo cortante sube conforme se aumenta el polímero bi - componente.
- Por cada 0.1% de polímero bi - componente que se aumenta al suelo, la Resistencia al Esfuerzo Cortante se incrementa hasta la dosificación 3.5% donde alcanza la mayor resistencia, y a partir de dicha cifra, la utilidad del polímero disminuye.
- El cortante y el polímero líquido se correlacionan con una fuerza de 0.85

4.1.3. RESUMEN DEL ANÁLISIS

Se demuestra que el polímero bi - componente mejora la resistencia al esfuerzo cortante. Se genera cierta dispersión respecto a los valores recabados, pero en general se demuestra un incremento en la resistencia, se mantiene la tendencia de que el polímero bi - componente eleva la resistencia al esfuerzo cortante, se aprecia un gran incremento que luego sufre una ligera variación, siendo que en todo caso más allá del 3.5% ya no tiene mayor efecto sobre la mejora.

4.1.4. RESULTADOS DEL LOS ENSAYOS DEL MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE EXPANSIÓN DE SUELOS.

Para proceder con la obtención de resultados, se dispuso del método de observación estructurada siguiendo las instrucciones de la norma ASTM D-4829. Siendo el indicado para la determinación del potencial de expansión de los suelos.

$$\frac{\Delta h}{h_0} * 100 = \frac{e_{se} - e_0}{1 + e_0} * 100 = \left(\frac{\gamma_{d0}}{\gamma_{dse} - 1} \right) * 100$$

Donde:

Δh = Cambio en la altura de la muestra

h_0 = Altura inicial de la muestra

e_{se} = Relación de vacíos después de estabilizado el hinchamiento a la presión σ_{se}

e_0 = Relación de vacíos inicial

γ_{d0} = Peso unitario seco a la relación de vacíos e_0

Figura 59: Fórmula para el cálculo según el uso del dispositivo. Tomada de: Fuente: ASTM D4829

Utilizando la formula previamente descrita se obtuvieron los resultados del potencial de expansión de los suelos, de cada una de las muestras, esto se aprecia:

Tabla 26. Resultados de los ensayos para calcular el potencial de expansión de los suelos

Nº	MUESTRA	Polímero Líquido (%)	Polímero Sólido (%)	POLÍMERO solido + liquido	Expansión (%)
1	PATRÓN	0,0	0,0	0,0	5,18%
2	PATRÓN + POLÍMERO	0,1	0,1	0,2	5,26%
3	PATRÓN + POLÍMERO	0,2	0,2	0,4	5,26%
4	PATRÓN + POLÍMERO	0,3	0,3	0,6	5,28%
5	PATRÓN + POLÍMERO	0,4	0,4	0,8	5,08%
6	PATRÓN + POLÍMERO	0,5	0,5	1,0	4,55%
7	PATRÓN + POLÍMERO	0,6	0,6	1,2	4,35%
8	PATRÓN + POLÍMERO	0,7	0,7	1,4	4,52%
9	PATRÓN + POLÍMERO	0,8	0,8	1,6	4,22%
10	PATRÓN + POLÍMERO	0,9	0,9	1,8	4,42%
11	PATRÓN + POLÍMERO	1,0	1,0	2,0	4,05%
12	PATRÓN + POLÍMERO	1,1	1,1	2,2	4,15%
13	PATRÓN + POLÍMERO	1,2	1,2	2,4	4,32%
14	PATRÓN + POLÍMERO	1,3	1,3	2,6	4,22%
15	PATRÓN + POLÍMERO	1,4	1,4	2,8	4,02%
16	PATRÓN + POLÍMERO	1,5	1,5	3,0	4,12%
17	PATRÓN + POLÍMERO	1,6	1,6	3,2	3,92%
18	PATRÓN + POLÍMERO	1,7	1,7	3,4	3,71%
19	PATRÓN + POLÍMERO	1,8	1,8	3,6	3,56%
20	PATRÓN + POLÍMERO	1,9	1,9	3,8	3,73%
21	PATRÓN + POLÍMERO	2,0	2,0	4,0	4,03%
22	PATRÓN + POLÍMERO	2,1	2,1	4,2	4,33%
23	PATRÓN + POLÍMERO	2,2	2,2	4,4	4,25%
24	PATRÓN + POLÍMERO	2,3	2,3	4,6	4,55%
25	PATRÓN + POLÍMERO	2,4	2,4	4,8	4,33%

Partiendo de los datos recabados con respecto a la dosificación de polímero líquido y el polímero sólido, se puede proyectar el siguiente gráfico, considerando como punto de inicio el ensayo patrón el cual se compone del espécimen de suelo puro carente de dosificación de polímero.

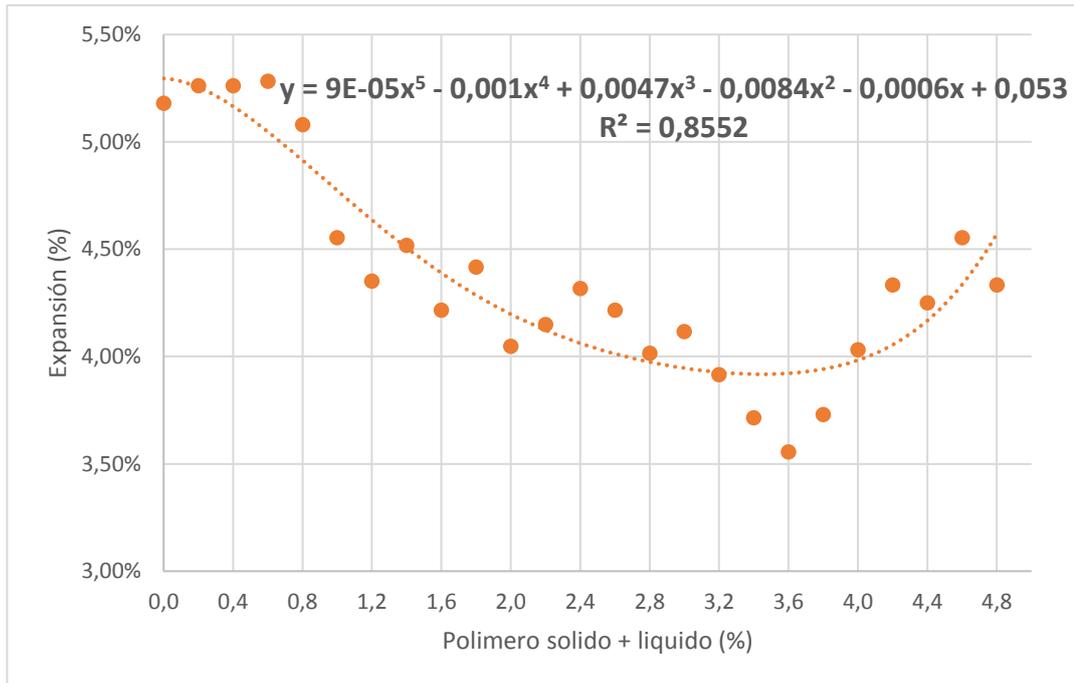


Figura 60: Determinación de la tendencia de la expansión en relación al POLÍMERO bicomponente

- La expansión baja conforme se aumenta el polímero líquido.
- Por cada 0.1% de polímero bi - componente que se aumenta al suelo, la expansión disminuye hasta su punto más efectivo según la dosificación en 3.5% respecto a la proporción del espécimen.
- La expansión y el polímero líquido se correlacionan con una fuerza de 0.85

4.1.5. RESUMEN DEL ANÁLISIS

Se demuestra que el polímero bi - componente disminuye la expansión del espécimen. En general se demuestra la disminución de la expansión del suelo, se aprecia una gran disminución que luego sufre una ligera variación, siendo que en todo caso más allá de la dosificación de 3.5% ya no tiene mayor efecto sobre la mejora.

Tabla 27. Resumen de los resultados

N	MUESTRA	Polimero Líquido (%)	Polímero Sólido (%)	Muestra (g)	Polimero solido + liquido	Peso total	LL (%)	LL VARIACION (%)	LP (%)	LP VARIACION (%)	IP (%)	IP VARIACION (%)	Expansión (%)	Expansión Variación (%)	Resistencia al Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Resistencia al Esfuerzo Cortante variación (kg/cm ²)
1	PATRON	0,0	0,0	130	0,0	130,0	101,57%	0,00%	46,10%	0,00%	55,47%	0,00%	5,18 %	0,00 %	0,28 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²
2	PATRON + POLIMERO	0,1	0,1	130	0,2	130,2	100,97%	0,60%	46,98%	-1,89%	53,99%	2,76%	5,26 %	-0,02 %	0,29 kg/cm ²	-0,03 kg/cm ²
3	PATRON + POLIMERO	0,2	0,2	130	0,4	130,4	103,28%	-2,23%	46,87%	0,25%	56,41%	-4,29%	5,26 %	0,00 %	0,27 kg/cm ²	0,07 kg/cm ²
4	PATRON + POLIMERO	0,3	0,3	130	0,6	130,6	102,57%	0,68%	46,87%	0,00%	55,71%	1,26%	5,28 %	0,00 %	0,28 kg/cm ²	-0,04 kg/cm ²
5	PATRON + POLIMERO	0,4	0,4	130	0,8	130,8	100,85%	1,71%	46,90%	-0,08%	53,95%	3,26%	5,08 %	0,04 %	0,29 kg/cm ²	-0,03 kg/cm ²
6	PATRON + POLIMERO	0,5	0,5	130	1,0	131,0	100,47%	0,38%	50,94%	-7,92%	49,53%	8,92%	4,55 %	0,12 %	0,38 kg/cm ²	-0,23 kg/cm ²
7	PATRON + POLIMERO	0,6	0,6	130	1,2	131,2	99,19%	1,29%	51,17%	-0,46%	48,02%	3,16%	4,35 %	0,05 %	0,38 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²
8	PATRON + POLIMERO	0,7	0,7	130	1,4	131,4	98,92%	0,27%	47,96%	6,70%	50,96%	-5,78%	4,52 %	-0,04 %	0,37 kg/cm ²	0,02 kg/cm ²
9	PATRON + POLIMERO	0,8	0,8	130	1,6	131,6	89,03%	11,12%	41,88%	14,53%	47,15%	8,09%	4,22 %	0,07 %	0,40 kg/cm ²	-0,07 kg/cm ²
10	PATRON + POLIMERO	0,9	0,9	130	1,8	131,8	88,23%	0,91%	41,27%	1,47%	46,95%	0,42%	4,42 %	-0,05 %	0,35 kg/cm ²	0,14 kg/cm ²
11	PATRON + POLIMERO	1,0	1,0	130	2,0	132,0	89,81%	-1,76%	41,55%	-0,67%	48,26%	-2,71%	4,05 %	0,09 %	0,42 kg/cm ²	-0,16 kg/cm ²
12	PATRON + POLIMERO	1,1	1,1	130	2,2	132,2	86,49%	3,84%	41,34%	0,50%	45,15%	6,89%	4,15 %	-0,02 %	0,41 kg/cm ²	0,02 kg/cm ²
13	PATRON + POLIMERO	1,2	1,2	130	2,4	132,4	88,76%	-2,55%	41,65%	-0,74%	47,11%	-4,15%	4,32 %	-0,04 %	0,43 kg/cm ²	-0,05 kg/cm ²
14	PATRON + POLIMERO	1,3	1,3	130	2,6	132,6	87,96%	0,91%	41,86%	-0,51%	46,09%	2,19%	4,22 %	0,02 %	0,43 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²
15	PATRON + POLIMERO	1,4	1,4	130	2,8	132,8	86,01%	2,27%	41,43%	1,05%	44,58%	3,40%	4,02 %	0,05 %	0,46 kg/cm ²	-0,07 kg/cm ²
16	PATRON + POLIMERO	1,5	1,5	130	3,0	133,0	87,62%	-1,84%	41,99%	-1,33%	45,63%	-2,31%	4,12 %	-0,02 %	0,46 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²
17	PATRON + POLIMERO	1,6	1,6	130	3,2	133,2	87,62%	0,00%	42,13%	-0,32%	45,50%	0,30%	3,92 %	0,05 %	0,47 kg/cm ²	-0,01 kg/cm ²
18	PATRON + POLIMERO	1,7	1,7	130	3,4	133,4	84,73%	3,41%	41,26%	2,10%	43,48%	4,65%	3,71 %	0,05 %	0,52 kg/cm ²	-0,09 kg/cm ²
19	PATRON + POLIMERO	1,8	1,8	130	3,6	133,6	84,83%	-0,12%	41,72%	-1,11%	43,11%	0,85%	3,56 %	0,04 %	0,51 kg/cm ²	0,02 kg/cm ²
20	PATRON + POLIMERO	1,9	1,9	130	3,8	133,8	86,89%	-2,36%	40,88%	2,06%	46,01%	-6,30%	3,73 %	-0,05 %	0,47 kg/cm ²	0,09 kg/cm ²
21	PATRON + POLIMERO	2,0	2,0	130	4,0	134,0	85,48%	1,65%	41,48%	-1,45%	43,99%	4,58%	4,03 %	-0,08 %	0,38 kg/cm ²	0,23 kg/cm ²
22	PATRON + POLIMERO	2,1	2,1	130	4,2	134,2	85,50%	-0,03%	41,45%	0,08%	44,05%	-0,14%	4,33 %	-0,07 %	0,34 kg/cm ²	0,10 kg/cm ²
23	PATRON + POLIMERO	2,2	2,2	130	4,4	134,4	86,94%	-1,65%	41,24%	0,52%	45,70%	-3,61%	4,25 %	0,02 %	0,33 kg/cm ²	0,05 kg/cm ²
24	PATRON + POLIMERO	2,3	2,3	130	4,6	134,6	84,87%	2,43%	41,08%	0,38%	43,79%	4,36%	4,55 %	-0,07 %	0,31 kg/cm ²	0,06 kg/cm ²
25	PATRON + POLIMERO	2,4	2,4	130	4,8	134,8	88,65%	-4,26%	41,12%	-0,09%	47,54%	-7,87%	4,33 %	0,05 %	0,29 kg/cm ²	0,07 kg/cm ²

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

▪ IP (%) – ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Respecto de los resultados obtenidos acerca del efecto del polímero bi-componente en las arcillas expansivas de sector Ccapac Moqo, se procesan los datos descriptivos sobre las propiedades físicas de suelo arcilloso mediante el índice de plasticidad alcanzado a través de la adición a distintos porcentajes del polímero bi-componente. Presentando en la siguiente tabla los resultados estadísticos analizados mediante la asignación de rangos en los porcentajes de adición de polímero, con la finalidad de encontrar la distribución de los datos en análisis para su respectiva validación con la comprobación de la correlación entre sus variables.

Tabla 28. Análisis estadístico del polímero bicomponente en relación del ip.

<i>Descriptivos</i>					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Índice de Plasticidad (%)	0,0	Media		55,2881	0,15515
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	54,6205	
			Límite superior	55,9557	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		55,4100	
		Varianza		0,072	
		Desv. Desviación		0,26873	
		Mínimo		54,98	
		Máximo		55,47	
		Rango		0,49	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		-1,621	1,225
		Curtosis			
	0,2-0,6	Media		55,3680	0,71967
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	52,2715	
			Límite superior	58,4646	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		55,7077	
		Varianza		1,554	
		Desv. Desviación		1,24651	
Mínimo			53,99		
Máximo			56,41		
Rango			2,42		
Rango intercuartil					
Asimetría		-1,135	1,225		
Curtosis					

<i>Descriptivos</i>					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Índice de Plasticidad (%)	0,8-1,2	Media		50,4997	1,78024
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	42,8399	
			Límite superior	58,1594	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		49,5321	
		Varianza		9,508	
		Desv. Desviación		3,08346	
		Mínimo		48,02	
		Máximo		53,95	
		Rango		5,93	
	Rango intercuartil				
	Asimetría		1,273	1,225	
	Curtosis				
	1,4-1,8	Media		48,3547	1,30463
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	42,7414	
			Límite superior	53,9681	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		47,1492	
		Varianza		5,106	
		Desv. Desviación		2,25968	
Mínimo			46,95		
Máximo			50,96		
Rango			4,01		
Rango intercuartil					
Asimetría		1,717	1,225		
Curtosis					
<i>Descriptivos</i>					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Índice de Plasticidad (%)	2,0-2,4	Media		46,8388	0,90762
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	42,9337	
			Límite superior	50,7440	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		47,1065	
		Varianza		2,471	
		Desv. Desviación		1,57204	
		Mínimo		45,15	
		Máximo		48,26	
		Rango		3,11	
	Rango intercuartil				
	Asimetría		-0,744	1,225	
	Curtosis				
	2,6-3,0	Media		45,4348	0,44903
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	43,5027	
			Límite superior	47,3668	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		45,6322	
		Varianza		0,605	
		Desv. Desviación		0,77774	
Mínimo			44,58		
Máximo			46,09		
Rango			1,52		
Rango intercuartil					
Asimetría		-1,069	1,225		
Curtosis					

Descriptivos					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Índice de Plasticidad (%)	3,2-3,6	Media		44,0279	0,74220
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	40,8344	
			Límite superior	47,2213	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		43,4761	
		Varianza		1,653	
		Desv. Desviación		1,28553	
		Mínimo		43,11	
		Máximo		45,50	
		Rango		2,39	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		1,576	1,225
		Curtosis			
		3,8-4,2	Media		44,6838
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	41,8369	
			Límite superior	47,5306	
	Media recortada al 5%				
	Mediana		44,0527		
	Varianza		1,313		
	Desv. Desviación		1,14601		
	Mínimo		43,99		
	Máximo		46,01		
	Rango		2,01		
	Rango intercuartil				
	Asimetría		1,727	1,225	
	Curtosis				
	4,4-4,8		Media		45,6770
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	41,0289	
			Límite superior	50,3252	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		45,7028	
		Varianza		3,501	
		Desv. Desviación		1,87113	
Mínimo		43,79			
Máximo		47,54			
Rango		3,74			
Rango intercuartil					
Asimetría		-0,062	1,225		
Curtosis					

En la siguiente tabla se aprecia el análisis de la prueba de normalidad obtenida a partir del estudio de las propiedades físicas del suelo arcilloso expansivo estudiado, donde de acuerdo al índice de plasticidad resultante del material trabajado a distintos porcentajes en adición de Polímero sólido más líquido se asignan tres grados de libertad para los rangos asignados para el análisis estadístico. Al trabajar con grados de libertad menores a cincuenta, el análisis correspondiente a evaluar es por Shapiro-Wilk, donde se puede apreciar que todos los valores de significancia se elevan a mayores a 0.05, por lo que se puede interpretar una distribución de datos es paramétrico.

PRUEBA DE NORMALIDAD:

H₀: Los datos provienen de una distribución normal

H₁: Los datos no provienen de una distribución normal

Tabla 29. Prueba de normalidad

<i>Pruebas de normalidad</i>							
Polímero Sólido + Líquido (%)		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Índice de Plasticidad (%)	0,0	0,342	3		0,846	3	0,229
	0,2-0,6	0,274	3		0,944	3	0,545
	0,8-1,2	0,290	3		0,926	3	0,474
	1,4-1,8	0,370	3		0,787	3	0,083
	2,0-2,4	0,234	3		0,978	3	0,717
	2,6-3,0	0,267	3		0,952	3	0,577
	3,2-3,6	0,333	3		0,862	3	0,273
	3,8-4,2	0,376	3		0,773	3	0,051
	4,4-4,8	0,176	3		1,000	3	0,977

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la siguiente figura se presenta el histograma resultante para el índice de plasticidad a diferentes porcentajes en adición de Polímero sólido más líquido. Donde se puede apreciar una frecuencia con un ligero sesgo hacia la izquierda, poco representativo para la distribución de datos paramétrica. El índice de plasticidad presenta una media 48.46 para los 27 datos en análisis.

La frecuencia máxima alcanzada es de nueve para porcentajes de plasticidad de 45.00 con una desviación estándar de 4.418.

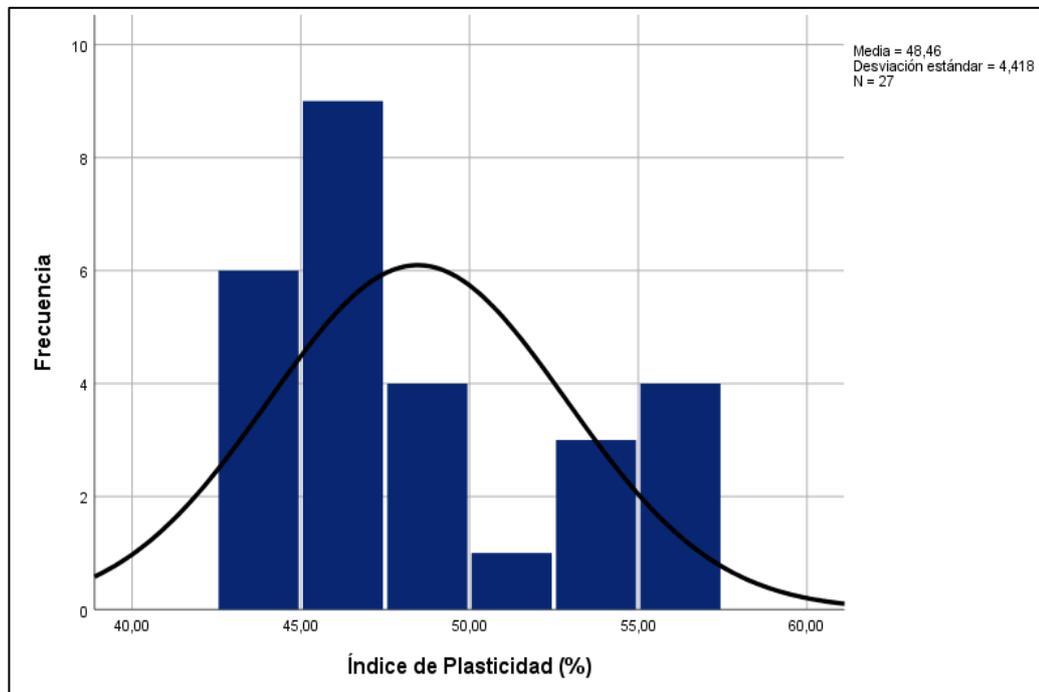


Figura 61: Histograma

En la siguiente tabla se realiza el análisis paramétrico para distribución normal mediante el análisis de varianza ANOVA analizada a las variables de índice de plasticidad (%) a diferentes porcentajes de adición de Polímero sólido más líquido. En el que se tienen como hipótesis:

H_0 : Las medias en todos los grupos analizados son iguales.

H_1 : Las medias en todos los grupos analizados son diferentes.

Tabla 30. Índice de plasticidad

ANOVA					
Índice de Plasticidad (%)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	455,831	8	56,979	19,889	0,000
Dentro de grupos	51,566	18	2,865		
Total	507,397	26			

La significancia al 95% de confianza es de 0.000, menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula, afirmando que por lo menos en dos de los grupos analizados existen diferencias de medias.

A partir de la base de datos validada y correlacionada en la tabla anterior, se presenta en la siguiente figura el cuadro de dispersión de puntos generado para el índice de plasticidad a medida que aumenta el porcentaje de adición de Polímero sólido más Polímero líquido. Teniendo una ecuación de ajuste con un $R^2 = 0.873$ que representa un coeficiente alto para la línea tendencia resultante en los distintos rangos asignado para la adición de polímeros.

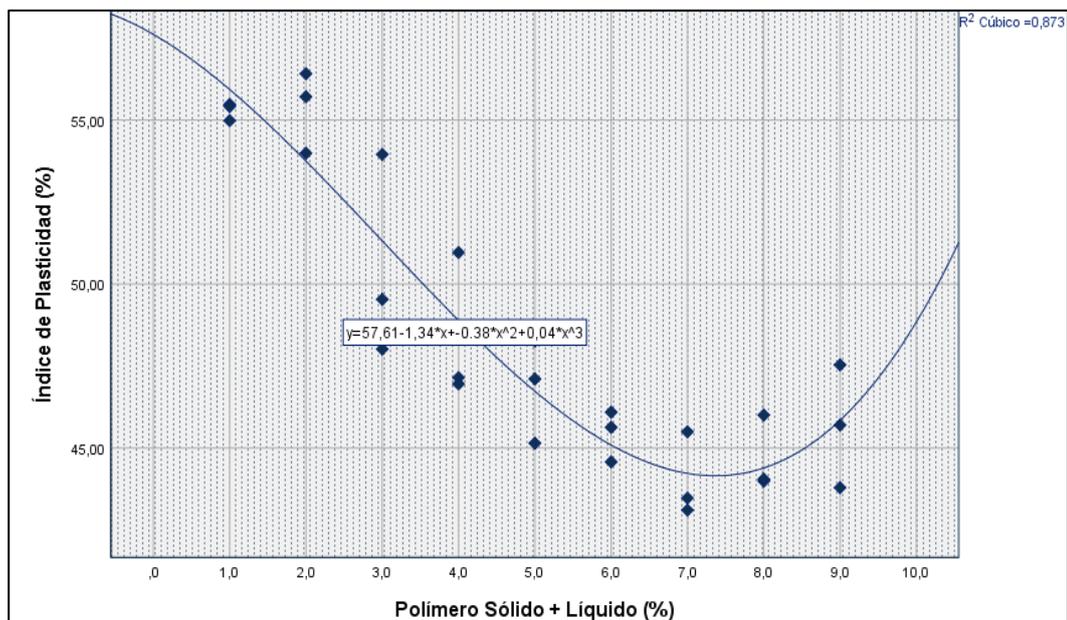


Figura 62: Diagrama de dispersión

▪ **POTENCIAL DE EXPANSIÓN (%)**

Continuando con los resultados obtenidos acerca del efecto de los polímeros en las arcillas expansivas de sector Ccapac Moqo, se procesan los datos descriptivos sobre las propiedades físicas de suelo arcilloso mediante el porcentaje de expansión alcanzado a través de la adición a distintos porcentajes del polímero bi-componente. Presentando en la siguiente tabla los resultados estadísticos característicos analizados mediante la asignación de rangos en los porcentajes de adición de polímero, con la finalidad de encontrar la distribución de los datos en análisis para su respectiva validación con la comprobación de la correlación bivariada entre las variables.

Tabla 31. Análisis estadístico del polímero bicomponente en relación a la expansión

<i>Descriptivos</i>					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Expansión (%)	0,0	Media		5,1832	0,00884
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	5,1451	
			Límite superior	5,2213	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		5,1796	
		Varianza		0,000	
		Desv. Desviación		0,01532	
		Mínimo		5,17	
		Máximo		5,20	
		Rango		0,03	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		0,998	1,225
		Curtosis			
		0,2-0,6	Media		5,2692
	95% de intervalo de confianza para la		Límite inferior	5,2390	
			Límite superior	5,2994	
	Media recortada al 5%				
	Mediana		5,2622		
	Varianza		0,000		
	Desv. Desviación		0,01215		
	Mínimo		5,26		
	Máximo		5,28		
	Rango		0,02		
	Rango intercuartil				
Asimetría		1,732	1,225		
Curtosis					

<i>Descriptivos</i>					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Expansión (%)	0,8-1,2	Media		4,6617	0,21714
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	3,7274	
			Límite superior	5,5960	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		4,5538	
		Varianza		0,141	
		Desv. Desviación		0,37611	
		Mínimo		4,35	
		Máximo		5,08	
		Rango		0,73	
	Rango intercuartil				
	Asimetría		1,185	1,225	
	Curtosis				
	1,4-1,8	Media		4,3839	0,08854
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	4,0030	
			Límite superior	4,7649	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		4,4174	
		Varianza		0,024	
		Desv. Desviación		0,15336	
Mínimo		4,22			
Máximo		4,52			
Rango		0,30			
Rango intercuartil					
Asimetría		-0,935	1,225		
Curtosis					
Expansión (%)		2,0-2,4	Media		4,1713
	95% de intervalo de confianza para la		Límite inferior	3,8335	
			Límite superior	4,5090	
	Media recortada al 5%				
	Mediana		4,1490		
	Varianza		0,018		
	Desv. Desviación		0,13597		
	Mínimo		4,05		
	Máximo		4,32		
	Rango		0,27		
	Rango intercuartil				
	Asimetría		0,717	1,225	
	Curtosis				

<i>Descriptivos</i>					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Expansión (%)	2,6-3,0	Media		4,1162	0,05796
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	3,8668	
			Límite superior	4,3656	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		4,1162	
		Varianza		0,010	
		Desv. Desviación		0,10040	
		Mínimo		4,02	
		Máximo		4,22	
		Rango		0,20	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		0,000	1,225
		Curtosis			
		3,2-3,6	Media		3,7287
	95% de intervalo de confianza para la		Límite inferior	3,2812	
			Límite superior	4,1761	
	Media recortada al 5%				
	Mediana		3,7146		
	Varianza		0,032		
	Desv. Desviación		0,18012		
	Mínimo		3,56		
	Máximo		3,92		
	Rango		0,36		
	Rango intercuartil				
	Asimetría		0,349	1,225	
	Curtosis				
	3,8-4,2		Media		4,0317
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	3,2806	
			Límite superior	4,7829	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		4,0317	
		Varianza		0,091	
		Desv. Desviación		0,30238	
Mínimo		3,73			
Máximo		4,33			
Rango		0,60			
Rango intercuartil					
Asimetría		0,000	1,225		
Curtosis					

<i>Descriptivos</i>					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Expansión (%)	4,4-4,8	Media		4,3794	0,09051
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	3,9899	
			Límite superior	4,7688	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		4,3341	
		Varianza		0,025	
		Desv. Desviación		0,15677	
		Mínimo		4,25	
		Máximo		4,55	
		Rango		0,30	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		1,191	1,225
		Curtosis			

En la siguiente tabla es presentado el análisis de la prueba de normalidad obtenida a partir del estudio de las propiedades físicas del suelo arcilloso expansivo estudiado, donde de acuerdo al porcentaje de expansión resultante del material trabajado a distintos porcentajes en adición de Polímero sólido más líquido se asignan tres grados de libertad para los rangos asignados para el análisis estadístico. Al trabajar con grados de libertad menores a cincuenta, el análisis correspondiente a evaluar es por Shapiro-Wilk, donde se puede ver que no todos los valores de significancia se aprecian mayores a 0.05, por lo que se puede interpretar una distribución de datos es no paramétrico.

PRUEBA DE NORMALIDAD:

Ho: Los datos provienen de una distribución normal

H₁: Los datos no provienen de una distribución normal

Tabla 32. Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad							
Polímero Sólido + Líquido (%)		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Expansión (%)	0,0	0,259	3		0,959	3	0,609
	0,2-0,6	0,385	3		0,750	3	0,000
	0,8-1,2	0,280	3		0,938	3	0,520
	1,4-1,8	0,253	3		0,964	3	0,637
	2,0-2,4	0,232	3		0,980	3	0,728
	2,6-3,0	0,175	3		1,000	3	1,000
	3,2-3,6	0,198	3		0,995	3	0,871
	3,8-4,2	0,175	3		1,000	3	1,000
	4,4-4,8	0,280	3		0,938	3	0,518

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la siguiente figura se presenta el histograma resultante para el porcentaje de expansión a distintos porcentajes en adición de Polímero sólido más Polímero líquido. Donde se puede apreciar una frecuencia con un sesgo simétrico a la distribución de datos, para la distribución de datos no paramétrica. El índice de plasticidad presenta una media 4.44 para los 27 datos en análisis.

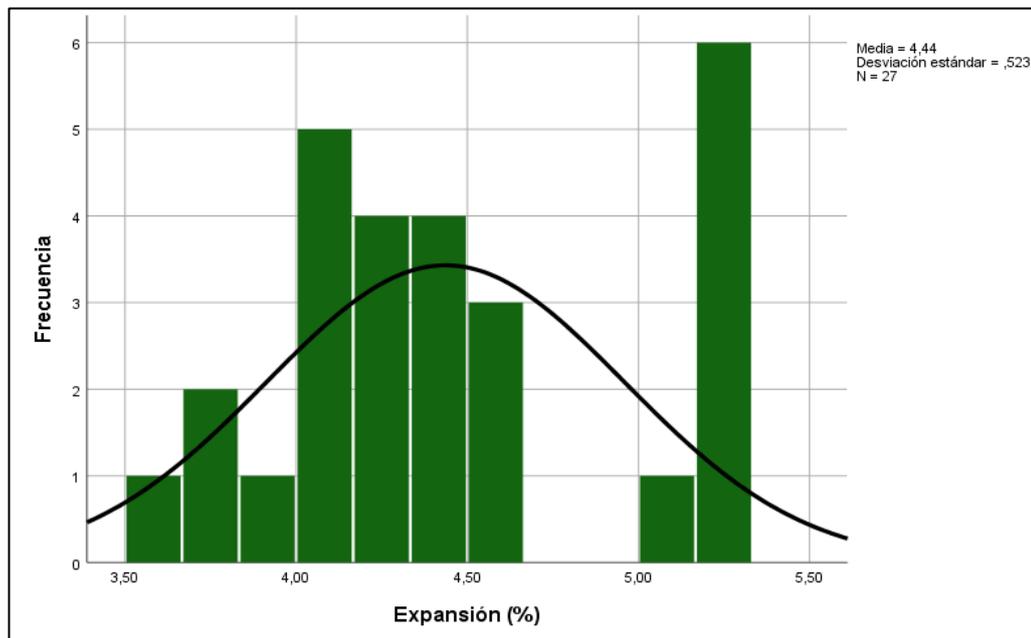


Figura 63: Histograma Prueba de normalidad

En la siguiente tabla se realiza el análisis no paramétrico que no cuenta con una distribución normal, mediante el análisis de varianza Kruskal Wallis analizada a las variables de expansión (%) a diferentes porcentajes de adición de Polímero sólido más líquido.

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Expansión (%) es la misma entre las categorías de Polímero Sólido + Líquido (%).	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,003	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Figura 64: Resumen de prueba de hipótesis

Al rechazar la hipótesis nula se concluye que la comparación entre medias obtuvo una significancia de 0.003 menor a 0.05, por lo que existe diferencia en las medias en al menos dos de los grupos analizados.

A partir de la base de datos validada y correlacionada en la tabla anterior, se presenta en la siguiente figura el cuadro de dispersión de puntos generado para la variación del porcentaje de expansión a medida que aumenta el porcentaje de adición de Polímero sólido más líquido. Teniendo una ecuación de ajuste con un $R^2 = 0.855$ que representa un coeficiente alto para la línea tendencia resultante en los distintos rangos asignado para el porcentaje de expansión.

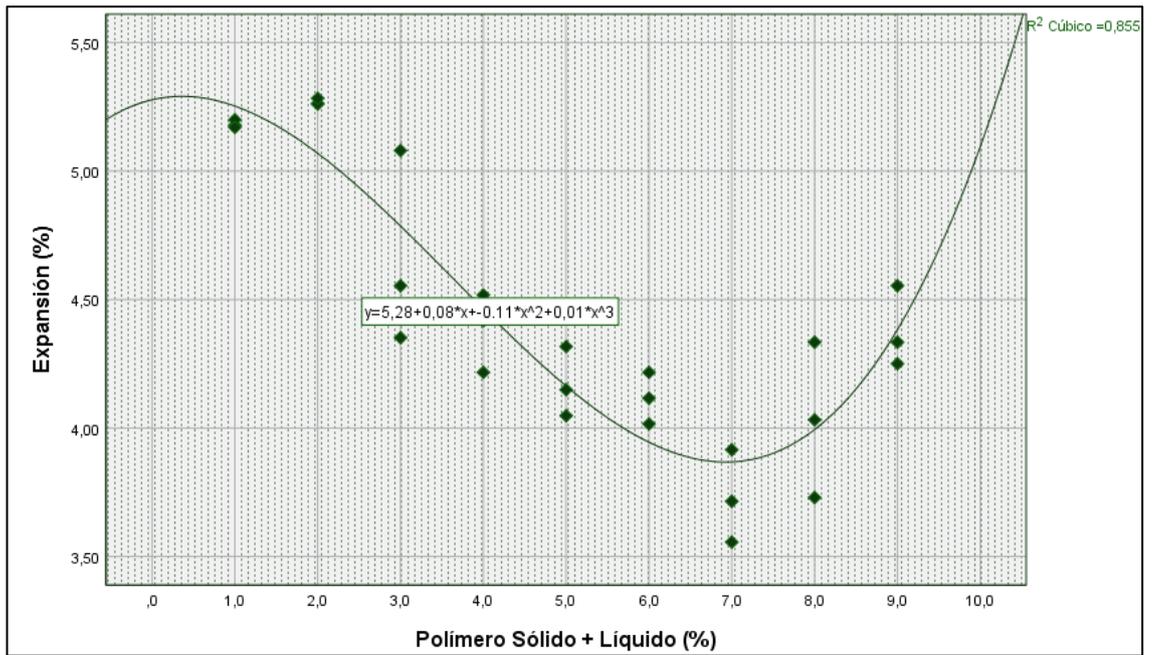


Figura 65: Diagrama de dispersión de la prueba de normalidad

▪ **RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE (kg/cm²)**

Finalizando con los resultados obtenidos acerca del efecto del polímero bi-componente en las arcillas expansivas, se procesan los datos descriptivos sobre la propiedad mecánica de suelo arcilloso mediante la resistencia al esfuerzo cortante alcanzada. Presentando en la siguiente tabla los resultados estadísticos característicos analizados mediante la asignación de rangos en los porcentajes de adición de polímero.

Tabla 33. Analisis estadístico del polímero bicomponente en relación al esfuerzo cortante.

<i>Descriptivos</i>					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Resistencia al Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	0,0	Media		0,2833	0,00333
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	0,2690	
			Límite superior	0,2977	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		0,2800	
		Varianza		0,000	
		Desv. Desviación		0,00577	
		Mínimo		0,28	
		Máximo		0,29	
		Rango		0,01	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		1,732	1,225
		Curtosis			
		0,2-0,6	Media		0,2800
	95% de intervalo de confianza para la		Límite inferior	0,2552	
			Límite superior	0,3048	
	Media recortada al 5%				
	Mediana		0,2800		
	Varianza		0,000		
	Desv. Desviación		0,01000		
	Mínimo		0,27		
	Máximo		0,29		
	Rango		0,02		
	Rango intercuartil				
Asimetría			0,000	1,225	
Curtosis					

Descriptivos					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Resistencia al Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	0,8-1,2	Media		0,3500	0,03000
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	0,2209	
			Límite superior	0,4791	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		0,3800	
		Varianza		0,003	
		Desv. Desviación		0,05196	
		Mínimo		0,29	
		Máximo		0,38	
		Rango		0,09	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		-1,732	1,225
		Curtosis			
	1,4-1,8	Media		0,3733	0,01453
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	0,3108	
			Límite superior	0,4358	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		0,3700	
		Varianza		0,001	
		Desv. Desviación		0,02517	
		Mínimo		0,35	
		Máximo		0,40	
		Rango		0,05	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		0,586	1,225
		Curtosis			
	2,0-2,4	Media		0,4200	0,00577
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	0,3952	
			Límite superior	0,4448	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		0,4200	
		Varianza		0,000	
		Desv. Desviación		0,01000	
Mínimo		0,41			
Máximo		0,43			
Rango		0,02			
Rango intercuartil					
Asimetría		0,000	1,225		
Curtosis					

Descriptivos					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Resistencia al Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	2,6-3,0	Media		0,4500	0,01000
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	0,4070	
			Límite superior	0,4930	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		0,4600	
		Varianza		0,000	
		Desv. Desviación		0,01732	
		Mínimo		0,43	
		Máximo		0,46	
		Rango		0,03	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		-1,732	1,225
		Curtosis			
	3,2-3,6	Media		0,5000	0,01528
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	0,4343	
			Límite superior	0,5657	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		0,5100	
		Varianza		0,001	
		Desv. Desviación		0,02646	
		Mínimo		0,47	
		Máximo		0,52	
		Rango		0,05	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		-1,458	1,225
		Curtosis			
	3,8-4,2	Media		0,3967	0,03844
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	0,2313	
			Límite superior	0,5621	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		0,3800	
		Varianza		0,004	
		Desv. Desviación		0,06658	
Mínimo		0,34			
Máximo		0,47			
Rango		0,13			
Rango intercuartil					
Asimetría		1,056	1,225		
Curtosis					

<i>Descriptivos</i>					
Polímero Sólido + Líquido (%)			Estadístico	Desv. Error	
Resistencia al Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	4,4-4,8	Media	0,3100	0,01155	
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	0,2603	
			Límite superior	0,3597	
		Media recortada al 5%			
		Mediana	0,3100		
		Varianza	0,000		
		Desv. Desviación	0,02000		
		Mínimo	0,29		
		Máximo	0,33		
		Rango	0,04		
		Rango intercuartil			
		Asimetría	0,000	1,225	
		Curtosis			

En la siguiente tabla se puede ver el análisis de la prueba de normalidad obtenida a partir del estudio de las propiedades mecánicas del suelo arcilloso expansivo estudiado, donde de acuerdo a la resistencia al esfuerzo cortante resultante del material trabajado a distintos porcentajes en adición de Polímero sólido más Polímero líquido se asignan tres grados de libertad para los rangos asignados para el análisis estadístico. Al trabajar con grados de libertad menores a cincuenta, el análisis correspondiente a evaluar es por Shapiro-Wilk, donde se puede apreciar que no todos los valores de significancia se elevan sobre 0.05, por lo que se puede interpretar una distribución de datos es no paramétrico.

PRUEBA DE NORMALIDAD:

Ho: Los datos provienen de una distribución normal

H₁: Los datos no provienen de una distribución normal

Tabla 34. Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad							
Polímero Sólido + Líquido (%)		Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia al Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	0,0	0,385	3		0,750	3	0,000
	0,2-0,6	0,175	3		1,000	3	1,000
	0,8-1,2	0,385	3		0,750	3	0,000
	1,4-1,8	0,219	3		0,987	3	0,780
	2,0-2,4	0,175	3		1,000	3	1,000
	2,6-3,0	0,385	3		0,750	3	0,000
	3,2-3,6	0,314	3		0,893	3	0,363
	3,8-4,2	0,265	3		0,953	3	0,583
	4,4-4,8	0,175	3		1,000	3	1,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la siguiente figura se presenta el histograma resultante para la resistencia al esfuerzo cortante a distintos porcentajes en adición de Polímero sólido más Polímero líquido. Donde se puede apreciar una frecuencia con un sesgo simétrico a la frecuencia resultante, para la distribución de datos no paramétrica. El índice de plasticidad presenta una media 0.37 para los 27 datos en análisis.

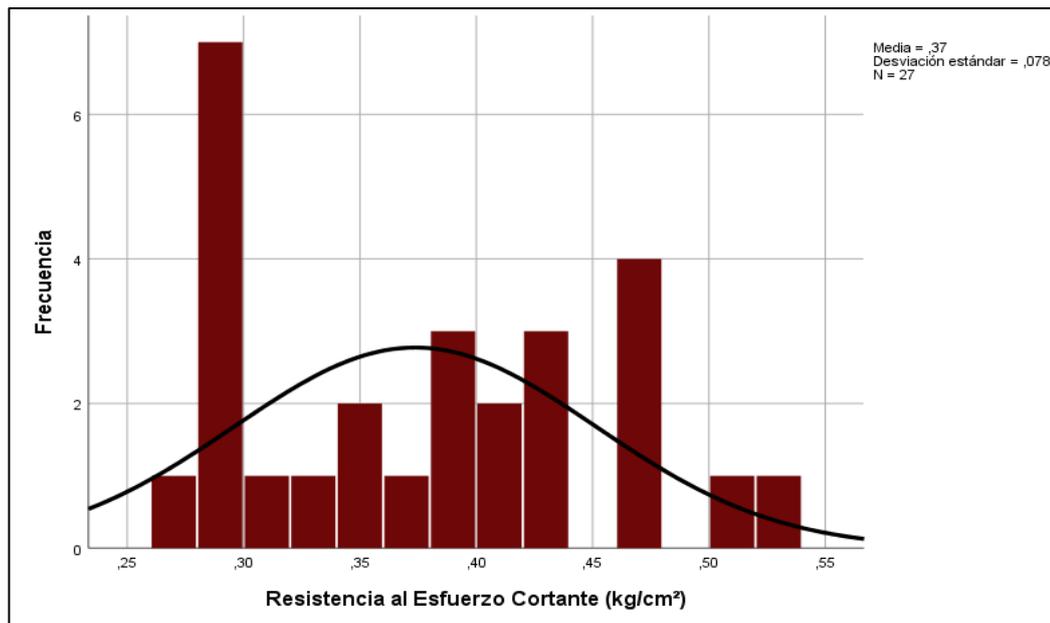


Figura 66: Histograma polímero bicomponente en relación al esfuerzo cortante

En la siguiente tabla se realiza el análisis no paramétrico que no cuenta con una distribución normal, mediante el análisis de varianza Kruskal Wallis analizada a las variables de Resistencia al esfuerzo cortante (kg/cm²) a diferentes porcentajes de adición de Polímero sólido más Polímero líquido.

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Resistencia al Esfuerzo Cortante (kg/cm ²) es la misma entre las categorías de Polímero Sólido + Líquido (%).	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,004	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Figura 67: Prueba porcentajes de adición de Polímero sólido más líquido.

Al rechazar la hipótesis nula se concluye que la comparación entre medias obtuvo una significancia de 0.004 menor a 0.05, por lo que existe diferencia en las medias en al menos dos de los grupos analizados.

A partir de la base de datos validada y correlacionada en la tabla anterior, se presenta en la siguiente figura el cuadro de dispersión de puntos generado para la resistencia al esfuerzo cortante a medida que aumenta el porcentaje de adición de Polímero sólido más Polímero líquido. Teniendo una ecuación de ajuste con un $R^2 = 0.830$ que representa un coeficiente alto para la línea tendencia resultante en los distintos rangos asignado para la resistencia al esfuerzo cortante.

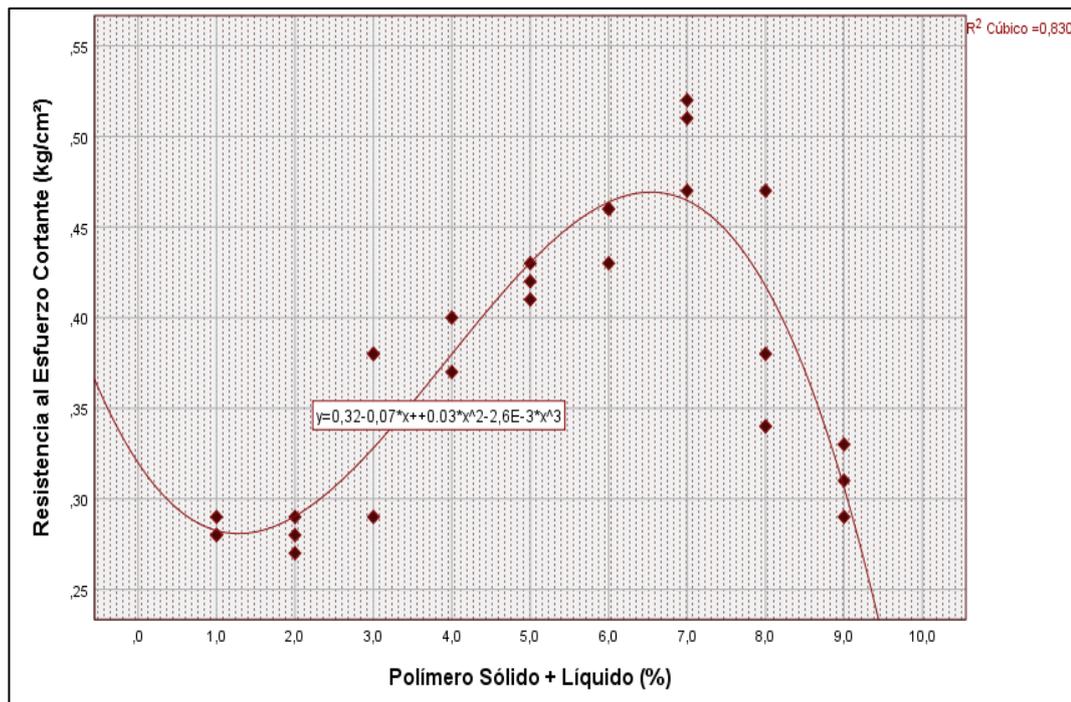


Figura 68: Diagrama de dispersión de polímero bicomponente en relación al esfuerzo cortante

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

DISCUSIÓN 1.

De acuerdo al Objetivo General: Se propuso: Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en las propiedades físicas y mecánicas arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021.

Respecto a los resultados obtenidos por medio de la proposición del objetivo general. Se pudo determinar el efecto en la muestra de arcilla expansiva del sector Ccapac Moqo del Cusco. Donde el polímero bi-componente genero cambios a nivel físico en las propiedades de plasticidad y expansión, controlándolas para hacer que el material del espécimen tenga cambios en sus indicadores de propiedades físicas y mecánicas, y pueda tener también mayor utilidad en la estabilización, lo manifestado fue desarrollado en la influencia sobre el comportamiento mecánico del espécimen, cuyo resultado de mejora pudo ser demostrado por medio del ensayo de determinación de resistencia al esfuerzo cortante el cual demostró mejoras de incremento en sus indicadores.

Esto quiere decir que el efecto del polímero tiene una función de aditivo debido a la cantidad de dosis aplicada y tiene también un límite de acción, el cual cuando es identificado nos permitirá tomar decisiones respecto a las proporciones a dosificar según requerimiento y prioridad del caso.

De un modo particular: **(QUISPE PUSARI, 2020) EN LA TESIS DENOMINADA: ESTUDIO PRÁCTICO DE MEJORA DE LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO EXPANSIVO, ESTABILIZADO CON VIDRIO EN POLVO RECICLADO Y FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LA CIUDAD DE TALARA, DEPARTAMENTO DE PIURA.** Se obtuvieron los resultados para la muestra inalterada y se obtuvieron los resultados con mayor significancia: Se registraron los resultados como se aprecian a continuación:

Tabla 35. resultados discusión 1

PROPIEDADES	UND	MUESTRA PATRÓN	MAYOR INCREMENTO	DIFERENCIA
IP	%	22,70	17,00	-5,70
POTENCIAL DE EXPANSION	%	13,50	5,00	-8,50
RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE	kg/cm2	1,33	1,75	0,42

Realizando la comparación con los resultados obtenidos por el investigador citado, tenemos los resultados obtenidos en la presente investigación:

Tabla 36b. resultados discusión 1

PROPIEDADES	UND	MUESTRA PATRÓN	MAYOR INCREMENTO	DIFERENCIA
IP	%	55,47	43,11	-12,36
POTENCIAL DE EXPANSIÓN	%	5,18	3,56	-1,62
RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE	kg/cm2	0,28	0,52	0,24

Estos resultados demuestran que la influencia del aditivo tiene la capacidad de mejorar el suelo y que considerando los índices de las variables, podemos comprender que los efectos del Polímero Bi-Componente genera una influencia menor que el estabilizador de vidrio en polvo reciclado y fibras de polipropileno respecto al suelo estudiado y su muestreo particular en cada caso.

Al realizar la comprobación de la Hipótesis: La adición de polímero bi-componente, mejora las propiedades físicas y mecánicas de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021, vemos que queda demostrado y puede ser replicado y comparado.

Los resultados más representativos pueden ser comparados en el desarrollo de los ensayos que generan los datos para el análisis y definición de las conclusiones. De ese modo se puede comprobar los alcances del estudio y su comparación de resultados.

DISCUSIÓN 2.

De acuerdo al Objetivo 1: Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en los límites de consistencia de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021.

Se pudo evidenciar que el índice de plasticidad (IP) fue disminuyendo de manera progresiva y con una tendencia armónica en el sentido de que por cada 0.1% añadido a partir de la proporción del espécimen, para ser dosificado y ensayado. Encontrándose valores en el índice de plasticidad del espécimen sin polímero de 56% el cual disminuyó de la manera más significativa en la dosificación de 3.6%

respecto a la proporción del espécimen, alcanzando un índice de plasticidad (IP) de 44%.

De este modo se puede interpretar que la capacidad del polímero para disminuir el índice de plasticidad varía en 12% y, a partir de la dosificación de 3.6% respecto a la proporción del espécimen, se puede evidenciar que el polímero ya no surte efecto y es prudente la suspensión de su uso en la estabilización.

Tabla 37. resultados discusión 2

PROPIEDADES	UND	MUESTRA PATRÓN	MAYOR INCREMENTO	DIFERENCIA
IP	%	55,47	43,11	-12,36

Al realizar la comprobación de la Hipótesis: La adición de polímero bi-componente, altera los límites de consistencia de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco, apreciamos que queda demostrada su veracidad.

También se puede recabar que: (QUISPE PUSARI, 2020) EN LA TESIS DENOMINADA: ESTUDIO PRÁCTICO DE MEJORA DE LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO EXPANSIVO, ESTABILIZADO CON VIDRIO EN POLVO RECICLADO Y FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LA CIUDAD DE TALARA, DEPARTAMENTO DE PIURA. Se obtuvieron los resultados cómo se aprecian a continuación:

Tabla 38b. resultados discusión 2

PROPIEDADES	UND	MUESTRA PATRÓN	MAYOR INCREMENTO	DIFERENCIA
IP	%	22,70	17,00	-5,70

Lo cual en comparación con el IP obtenido en el caso de la dosificación de 3.6% de polímero bi-componente, siendo IP = 44%. Se puede contrastar los resultados, evidenciando la efectividad y utilidad del polímero bi-componente sobre la arcilla del sector Ccapac Moqo.

El Límite Líquido es muy indicativo respecto a las características del suelo, lo que nos permite apreciar de manera más amplia respecto al comportamiento

general de la muestra del suelo y también cuando se le provee de aditivos para su mejoramiento.

DISCUSIÓN 3.

Para el Objetivo 2: Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en la resistencia al esfuerzo cortante de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021.

Se pudo determinar que la resistencia al esfuerzo cortante en el espécimen patrón fue ensayado sin la dosificación de polímero, generando una resistencia de 0,28 kg/cm², a partir de allí se fue añadiendo polímero en proporción de 0,1% progresivamente y se pudo encontrar que en la dosificación de 3.4% de dosis de polímero, la resistencia al esfuerzo cortante se incrementa hasta encontrar el punto máximo de 0,52 kg/cm². Siendo este el resultado del efecto de la adición de polímero bi-componente planteado en el objetivo.

Se puede interpretar que la resistencia al esfuerzo cortante se incrementa, a partir de 0,28 kg/cm² hasta 0,52 kg/cm² alcanzándose un incremento de 0,24 kg/cm² Y así también a partir de la dosificación de 3.6% el efecto sobre la resistencia al esfuerzo cortante empieza a disminuir.

Tabla 39. Resultados discusión 3

PROPIEDAD	UND	MUESTRA PATRÓN	MAYOR INCREMENTO	DIFERENCIA
RESISTENCIA	kg/cm ²	0,28	52,00	51,72

Al realizar la comprobación de la Hipótesis: **La adición de polímero bi-componente, incrementa la resistencia al corte con veletas de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco. También podemos comprobar y demostrar su veracidad.**

Con el mismo enfoque (QUISPE PUSARI, 2020) en su tesis: "ESTUDIO PRÁCTICO DE MEJORAMIENTO DE LOS ÍNDICES DE LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO EXPANSIVO INCLUYENDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO Y FIBRAS DE POLIPROPILENO. TALARA, DEPARTAMENTO DE PIURA" logro obtener la resistencia al corte según la dosificación de 0% de 1.33 kg/cm², para 6% de sustitución: 1,60 kg/cm², para

7.5% de sustitución: 1.75 kg/cm². Resultados que al ser comparados con la dosificación del polímero bi-componente, este último genera mejoras parecidas en magnitud, las cuales, según la peculiaridad de las características del espécimen, presenta las variaciones particulares.

Tabla 40b. Resultados discusión 3

PROPIEDAD	UND	MUESTRA PATRÓN	MAYOR INCREMENTO	DIFERENCIA
RESISTENCIA	kg/cm ²	1,33	1,75	0,42

Este ensayo, nos da una idea clara para aplicar sus índices respecto a las comparaciones con otras investigaciones, debido a que dicho indicador ha sido utilizado en diversos estudios y ha sido desarrollada con un método más sencillo y económico.

DISCUSION 4.

En el caso del objetivo 3: Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en el ensayo de determinación del potencial de expansión de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021.

Después de haber hecho el ensayo en el espécimen patrón sin adición de polímero bi – componente, teniendo un resultado de expansión de 5.18% y una vez añadido la dosificación de polímero propuesta en 0,1% de manera gradual, se logró evidenciar la disminución de la expansión del material, en el punto que manifiesta mayor control o que evita la expansión, se demuestra en la dosificación de 3.6% de polímero lo que genero una expansión de 3.56%. siendo este el resultado del efecto del polímero sobre el espécimen.

Podemos entender por medio de la interpretación, que la expansión es una característica de la arcilla del sector Ccapac Moqo y la cual puede ser controlada por medio del polímero bi-componente hasta llegar 3,56% generándose así una reducción de -1.62% resultado que refleja el efecto del polímero sobre la arcilla expansiva.

Tabla 41. Resultados discusión 4

PROPIEDAD	UND	MUESTRA PATRÓN	MAYOR DECREMENTO	DIFERENCIA
POTENCIAL DE EXPANSIÓN	%	5,18	3,56	-1,62

Al realizar la comprobación de la Hipótesis: La adición de polímero bi-componente, reduce la expansión, de las arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo, Cusco. Del mismo modo, puede evidenciarse y demostrarse su veracidad.

Del mismo modo (QUISPE PUSARI, 2020) en su tesis: "ESTUDIO PRÁCTICO DE MEJORAMIENTO DE LOS ÍNDICES DE LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO EXPANSIVO INCLUYENDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO Y FIBRAS DE POLIPROPILENO. TALARA, DEPARTAMENTO DE PIURA" Logro obtener el resultado respecto a la expansión según la dosificación de 0% de 5,18%, y así también para 7.5% de sustitución: 3,56%, evidenciándose una diferencia de 18.5% de reducción de la expansión. Resultados que al ser comparados con la dosificación del polímero bi-componente, del estudio de la investigación abordada, se evidencian mejoras que nos permiten generar analogías y comparaciones.

CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN 1

Se concluye que después de haber propuesto el objetivo general: Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en las propiedades físicas y mecánicas arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021. Y al haber determinado los efectos en las propiedades físicas y mecánicas en la muestra de suelo con la adición de polímero bi-componente del sector Ccapac Moqo, se puede evidenciar las mejoras respecto a la resistencia al corte del suelo y la estabilidad del material. El efecto del polímero actúa como aditivo según la dosificación propuesta y su límite de acción demostrado mediante los resultados, permitira identificar las decisiones mas apropiadas respecto a proporciones requeridas según se de el caso. Estas mejoras sobre el material dispuesto, el cual es conocido únicamente por ser una arcilla expansiva, ahora mediante la adición de polímero puede ser utilizado como: Estabilizador.

CONCLUSIÓN 2.

Se concluye que a partir del objetivo específico 1: Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en los límites de consistencia de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021. El índice de plasticidad (IP) fue controlado y desciende según la dosificación de 0.2% del POLÍMERO bi-componente. Se alcanzo un índice de plasticidad (IP) mas bajo de 44%, con una dosificación de polímero bi-componente de 3.6 %. El IP inicial sin polímero fue de 55.47%, de allí se logro una variación de 11.47% en relación al máximo descenso del IP. A partir de 3.6% del polímero bi-componente añadido ya no surte efecto en la disminución del índice de plasticidad IP, mas por el contrario vuelve a incrementar la plasticidad.

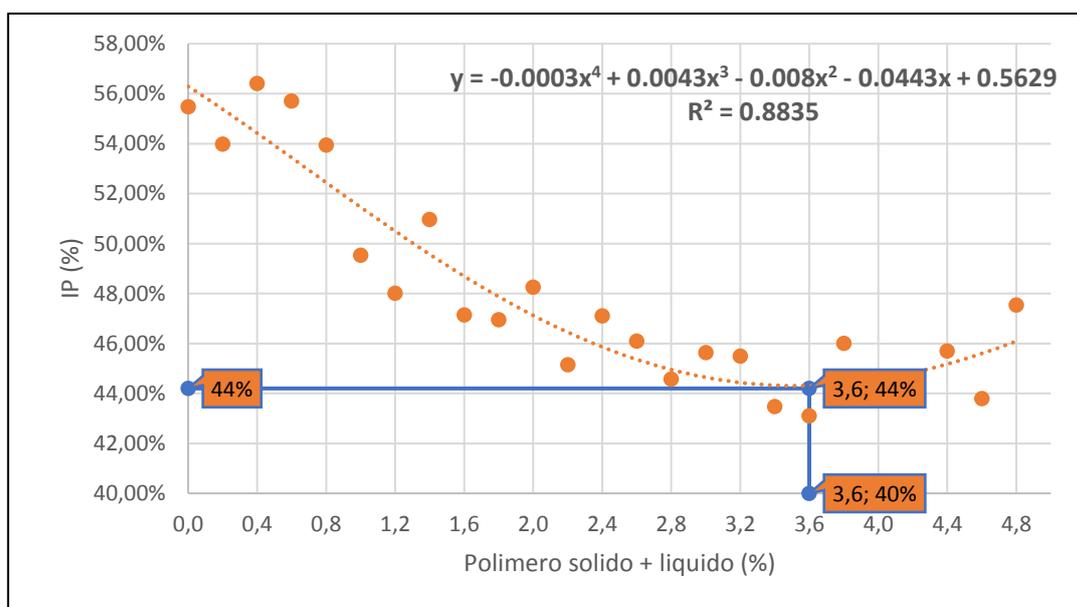


Figura 69: Análisis de resultados del ip en relación al polímero bicomponente

CONCLUSIÓN 3.

Se concluye que después de haber propuesto el objetivo específico 2: Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en la resistencia al esfuerzo cortante de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021. La determinación del esfuerzo cortante pudo ser incrementada hasta 0,47 kg/cm², a una dosificación de 3.2% del polímero bi-componente. El esfuerzo cortante inicial sin polímero bi-componente es de 0.28 kg/cm², de allí se logro obtener una variación de 0.19 kg/cm² en relación al máximo esfuerzo cortante obtenido. Con dosificaciones superiores a 3.2% empieza a reducir su capacidad de mejora en el suelo.

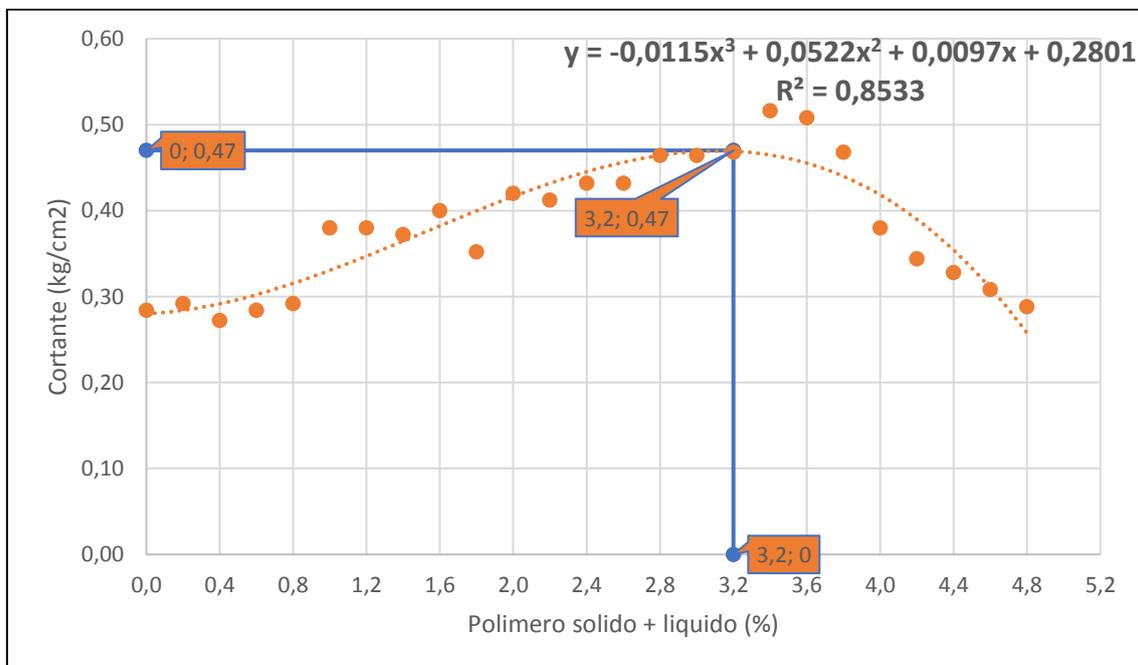


Figura 70: Análisis de resultados del esfuerzo cortante en relación al polímero bicomponente

CONCLUSIÓN 4.

Se concluye que después de haber propuesto el objetivo específico 3: Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en el ensayo de expansión de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo Cusco 2021. Al haber ensayado el espécimen con una dosificación de 3.4% del polímero bi-componente, se pudo reducir la expansión hasta 3.9%. La expansión inicial es de 5.18%, de allí se logro obtener una variación de expansión de 1.28% en relación a la expansión mínima. este es el resultado con más bajo potencial de expansion, por ende esta alcanzado su estabilizacion.

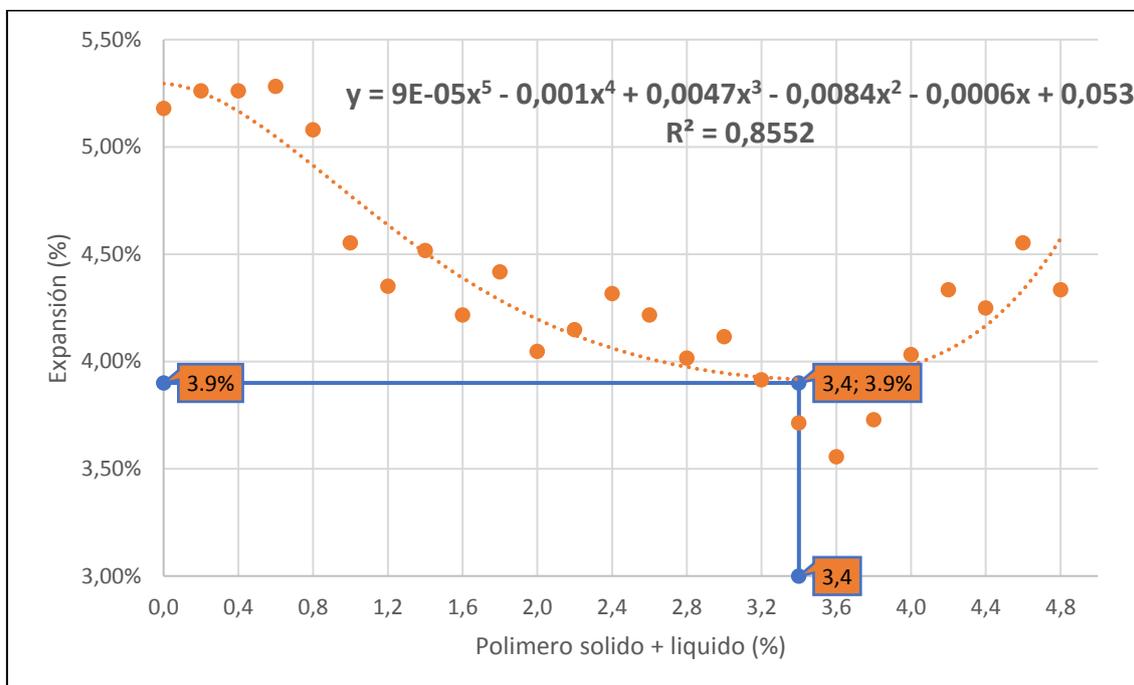


Figura 71: Análisis resultados del potencial de expansión en relación al polímero bicomponente

RECOMENDACIONES.

RECOMENDACIÓN 1.

Se recomienda realizar mayores o diferentes ensayos de laboratorio para la etapa de validación y obtención del nivel de precisión estadística, siendo de ese modo más confiables en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, esto se aplica también en la etapa de análisis y generación de datos realizados en laboratorio. Por la cantidad de ensayos afectar en este tipo de proyectos o tesis de investigación, debemos tener equipos certificados y manejar los procedimientos con normas de seguridad. También, es recomendable contar con la asesoría de un operador certificado correspondiente a mano de obra que sea calificada de modo que la precisión en los resultados pueden ser obtenidas con la menor variación, alteraciones o errores. Se recomienda utilizar dosis de polímero o de aditivo estabilizante que permita una adecuada interpretación de los resultados.

RECOMENDACIÓN 2.

Como afirma López Lara, T. (1995). En su investigación: Resistencia al corte de los suelos en arcillas expansivas de Jurica, Querétaro. En el momento de modificar el estado detenciones que soporta el suelo inmediatamente genera deformación y cambios que pueden ocasionar su falla o rotura. A pesar de que los suelos en cuestión fallan en muchas oportunidades por los efectos de la tracción, tal y como se puede evidenciar en las grietas en sentido vertical que muchas veces se presentan en la parte superior de un talud que se ha deslizado, en ese sentido la forma más habitual que se presenta respecto a la falla o la rotura del suelo es mediante el esfuerzo cortante. Y a partir de la presente investigación siendo el análisis útil en el caso de determinar incremento en la resistencia al esfuerzo cortante, se puede utilizar la dosificación del polímero bi – componente también en la estabilización de taludes, específicamente en el sector de Ccapac Moqo o en diversas zonas que tengan arcillas con características similares a las obtenidas de el muestreo y ensayo del espécimen sin adición de polímero bi – componente. Así también, Se recomienda por medio

de la interpretación de los resultados de resistencia al esfuerzo cortante, el poder realizar otros ensayos de caracterización como el ensayo triaxial u otros. Para poder correlacionar y generar mayores interpretaciones más profundas respecto a este análisis.

RECOMENDACIÓN 3.

Se recomienda realizar el ensayo de expansión utilizando el presente estudio como piloto y añadiendo diferentes tipos de estabilizantes más allá del polímero bi-componente. Asimismo, generar la disminución en la expansión del espécimen, dicha metodología y aditivo, en su modo de aplicación, puede ser replicado al abordar arcillas que no tengan la misma característica de expansividad, o que no sean expansivas, como podría ser también un CL (Arcilla inorgánica de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arenosas, limosas, magras), para de ese modo generar aportes aun mas significativos en la estabilización de suelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Geologiaweb.** ¿Qué son las arcillas expansivas? Expansividad y retracción del suelo. Geologiaweb. [En línea] 2020. [Citado el: 01 de Marzo de 2020.] <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/arcillas-expansivas/>.
2. **ROJAS, PEREZ.** ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA EXPANSIVIDAD EN SUELOS BENTONÍTICOS. s.l. : Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil., 2018.
3. **MARTINEZ, GARZÓN.** OBTENCIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO USANDO EL PENETRÓMETRO DE CONO DE CAÍDA, CONSIDERANDO LOS DIFERENTES CONOS EXI. s.l. : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, 2017.
4. **INFANTE, MERCHAN.** COMPORTAMIENTO DE SUELOS EXPANSIVOS EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES. . s.l. : UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DE COLOMBIA , 2019.
5. **Martinez, Condor.** Comparación Económica del Resultado y el Mantenimiento entre los Estabilizadores PROES y CONSOLID . s.l. : UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS – LIMA - PERU, 2016.
6. **GÓMEZ, CORNEJO.** COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE TIERRA CRUDA FABRICADAS CON SUELO DE LOS SECTORES TAMBILLO – CUSCO. s.l. : UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO , 2018.
7. **Quispe, Pusari.** Estudio experimental de mejoramiento de las propiedades de resistencia al corte de un suelo expansivo con polvo de vidrio reciclado y fibras de polipropileno en la ciudad de Talara, departamento de Piura. s.l. : UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS, 2020.
8. **GEOSEISMIC.** LA IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS. [En línea] 05 de Sep de 2017. <https://www.geoseismic.cl/la-importancia-mecanica-suelos/>.
9. **Zotarelli, Lincoln y Dukes, Michael D.** CAPACIDAD DEL SUELO PARA ALMACENAR AGUA. [En línea] 11 de Agosto de 2016. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/ae496>.
10. **Braja, Das.** Fundamentos de ingeniería geotécnica. México D.F. : Cengage Learning Editores, 2015.
11. **MTC.** TARIFAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES AÑO 2015. Lima : MTC, 2015.

12. **Das, Braja.** Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México : Cengage Learning Editores, S.A. de C.V., 2015.
13. **Villalaz, CRESPO.** Mecánica de suelos y cimentaciones . Mexico : Limusa, 2004. 6891864891.
14. **Mauricio, Pinzón Rodríguez Andrés, Rodríguez Daza, Edgar Andrés y Castañeda Martín, Paola Andrea.** Acondicionamiento de la escuela la Cascada de la vereda la Cascada del municipio de Mesetas Meta. Lima : s.n., 2019.
15. **Carter y Gregorich.** Soil sampling and methods of analysis. Boca Raton : CRC Press, 2008.
16. **MTC.** MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO. Lima : MTC, 2000.
17. **Teresa López, Juan Bosco Hernández, Jaime Horta, Victor Castaño Meneses.** Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. Mexico : s.n., 2010.
18. **Consolid.** Manual Técnico del Sistema Consolid. Santa Cruz de la Sierra : s.n., 1995.
19. **Sampieri, Hernandez y Baptista.** Metodología de investigación. Mexico : MC Graw Hill , 2006. 2356789014.
20. **Sampieri, Roberto Hernández, Collado, Carlos Fernández y Lucio, María del Pilar Baptista.** Metodología de investigación. Mexico : Mc Graw Hill , 2016. 978-1-4562-2396-0.
21. **Google.** Ccapac Moqo. [En línea] 10 de octubre de 2021. <https://goo.gl/maps/uQG6Hx5ET7WFM5W7>.
22. **Lambe, William y Whitman, Robert.** Mecánica de Suelos. México : Limusa, 2004. 968-18-1894-6.
23. **ARSA.** QUALITY CONTROL OF CONSTRUCTION MATERIALS. [En línea] 20 de Enero de 2018. <http://www.arsaengineers.com/quality-control-of-construction-materials.html>.
24. Quality Control and Quality Assurance In Building Construction. **Lakshmi.** 2015, National Conference on Research Advances in Communication, Computation, Electrical Science and Structures, págs. 29-37.
25. **Montgomery, Douglas.** Introduction to Statistical Quality Control . Jefferson City : John Wiley & Sons, 2009.
26. **Encyclopædia Britannica.** Measurement. [En línea] 21 de Enero de 2016. <https://www.britannica.com/technology/measurement>.

27. **Tal, Eran.** The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Measurement in Science. [En línea] 21 de Setiembre de 2017. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/measurement-science>.
28. **Head.** Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1. Gasteshead : Whittels Publishing, 2006.
29. **ASTM.** Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. West Conshohocken : ASTM, 2010.
30. **Sebesta, Stephen, y otros.** INITIAL REVIEW OF RAPID MOISTURE MEASUREMENT FOR ROADWAY BASE AND SUBGRADE. Texas : TEXAS A&M TRANSPORTATION INSTITUTE, 2013.
31. **UNI.** TARIFA DE ENSAYOS DE LABORATORIO. [En línea] 06 de Febrero de 2017. <http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/tarifa/tarifa%20ensayos.pdf>.
32. **Universidad Javeriana.** LISTADO DE PRECIOS 2017. [En línea] 20 de Febrero de 2017. <http://ingenieria.javeriana.edu.co/documents/7508381/0/Lista+de+Precios+laboratorios+2017.pdf/f142d779-8719-4ec1-b869-c6de07ee3097>.
33. **LLORVESA.** VENTILADORES DE TIRO FORZADO O INDUCIDO. [En línea] 23 de Enero de 2018. http://www.llorvesa.com/es/ventiladores-de-tiro-forzado-o-inducido_c191696/.
34. STUDY ON THE IMPACT OF MOISTURE CONTENT ON SUBGRADE STRENGTH. **Mohamed, Isma.** 2015, 5th International Symposium 2015 – IntSym 2015 SEUSL, págs. 71-76.
35. **Tripathy y Anuradha.** INTERNET OF THINGS (IoT) Technologies, Applications, Challenges, and Solutions. Boca Raton : Taylor & Francis Group, 2018.
36. **Belov, Mikhail.** Measurement and sensor technologies trends, development dynamics and application scope. Autumn : Kajaani University of Applied Sciences, 2014.
37. **DHL.** LOW-COST SENSOR TECHNOLOGY. Troisdorf : DHL Customer Solutions & Innovation, 2013.
38. **Alibaba.com.** Soil Moisture Sensor, Soil Moisture Sensor Suppliers and Manufacturers at Alibaba.com. [En línea] 23 de Enero de 2018. <https://www.alibaba.com/showroom/soil-moisture-sensor.html>.

39. Variability of Moisture Content Measurement Devices on Subgrade Soils. **Sotelo, Martin, y otros.** 2014, Geo-Congress 2014 Technical Papers, GSP 234 © ASCE 2014, págs. 1425-1432.
40. **Salour, Farhad.** Moisture Influence on Structural Behaviour of Pavements. Stockholm : KTH, Royal Institute of Technology, 2015.
41. **Bogena, y otros.** Potential of Wireless Sensor Networks for Measuring Soil Water Content Variability. Madison : Soil Science Society of America, 2010.
42. **Varas, Zulema.** DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA RIEGO DE CÉSPED DE JARDÍN EMPLEANDO UN SENSOR DE HUMEDAD DE SUELOS Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA . Lima : PUCP, 2013.
43. **LAZO, Wilber y CAMPOS, Ronald.** SISTEMA REMOTO DE CONTROL Y MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA DEL MAÍZ CON RIEGO POR GOTEO EN EL VALLE DE PAMPAS . PAMPAS : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA, 2014.
44. EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y TEMPERATURA SOBRE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA EN GRANOS ANDINO. **Huamán, Nils, y otros.** 2016, Rev Soc Quím Perú. 82(3), págs. 259-271.
45. **González, Carlos.** UNIDAD 2. Contenido de Humedad del Agua en el Suelo. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2011.
46. **Carter, Michael y Bentley, Stephen.** Soil properties and their correlations. West Sussex : John Wiley & Sons, Ltd, 2016.
47. **Rasch, Shane.** DETERMINING THE RELATIVE EFFECTS OF VOLUMETRIC WATER CONTENT AND DRY DENSITY ON THE DIELECTRIC CONSTANT OF SOILS. Columbia : University of Missouri, 2011.
48. **U-Cursos.** GUIA DE LABORATORIO N° 3. 2004.
49. **Ideam.** MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO. [En línea] Febrero de 1 de 2018. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap15.pdf>.
50. **Casafont, Claudio.** SELECCIÓN Y DISEÑO DE SENSORES DE HUMEDAD PARA MINERIA BLOCK CAVING. Santiago : Universidad de Chile, 2017.
51. **Flores, Lourdes y Alcalá, Jorge.** Manual de Procedimientos Analíticos. Ciudad de México : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 2010.

52. **Rojas, Adriana, y otros.** Conductividad térmica del suelo, materia orgánica, actividad y biomasa microbianas en sistemas de cultivo de maracuyá en Toro, Valle del Cauca. Cauca : s.n., 2007.
53. **Serna, José.** EVALUACIÓN DEL MÉTODO ACTIVO PARA DETERMINAR CONTENIDOS DE HUMEDAD EN SUELOS. Santiago de Chile : PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE, 2015.
54. **Torres, Felipe.** MÉTODO ACÚSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE LA POROSIDAD TOTAL EN DIVERSOS SUELOS. Valdivia : UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, 2010.
55. **Quil, Claudio.** Estimación del módulo de elasticidad por medio de la velocidad de propagación del sonido en madera de Aromo australiano. Valdivia : Universidad Austral de Chile, 2009.
56. **IAEA.** Field Estimation of Soil Water Content. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2008.
57. **Protimeter.** Moisture testers for soils, sands, powders, aggregates, concrete and masonry. s.l. : Protimeter, 2014.
58. **Johnson.** Methods of Measuring Soil Moisture in the Field. Denver : U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 1992.
59. **Rosenkrantz, Walter.** Probability and Statistics for Science, Engineering, and Finance. Boca Raton : Chapman & Hall/CRC, 2009.
60. **UNNE.** TECNICAS GRAVIMETRICAS. [En línea] 5 de Febrero de 2018. http://exa.unne.edu.ar/quimica/quimica.analitica/qa_arch_matdid/arch_teoría/Temas%20teóricos/Gravimetria/gravimetr%EDa.pdf.
61. **Hernández y Reyes.** ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y DE REPRODUCIBILIDAD R&R. Ciudad de México : www.icicm.com, 2017.
62. **Real Academia Española.** humedad. [En línea] 3 de Febrero de 2018. <http://dle.rae.es/?id=KoBWiNL>.
63. **UNI.** MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO. Lima : UNI, 2006.
64. **Gregersen, Erik.** The Britannica guide to statistics and probability. New York : Britannica Educational Publishing, 2011.
65. **LaRousseCocina.** Horno de microondas. [En línea] 16 de Febrero de 2018. https://laroussecocina.mx/palabra/?s=Horno%20de%20microondas&post_type=palabra&vista=diccionario.

66. **Privitera, Gregory.** Statistics for the Behavioral Sciences. Thousand Oaks, : SAGE Publications, Inc., 2015.
67. **Stanford.edu.** Stanford Encyclopedia of Philosophy. Measurement in Science. [En línea] 15 de Junio de 2015. <https://plato.stanford.edu/entries/measurement-science/>.
68. **Universitat Oberta de Catalunya.** ANÁLISIS DE SISTEMAS DE MEDICIÓN. [En línea] 3 de Febrero de 2018. https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_2.pdf.
69. **Bowerman, Bruce, O'Connell, Richard y Murphree, Emily.** Business Statistics in Practice. New York : McGraw-Hill/Irwin, 2014.
70. **Lucas, Jim.** Electricity Basics: Resistance, Inductance & Capacitance. [En línea] 5 de Febrero de 2018. <https://www.livescience.com/53875-resistors-capacitors-inductors.html>.
71. **Rodríguez, Manuel.** Diferencia entre sensor, transductor y captador. [En línea] 20 de Enero de 2018. <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/diferencia-sensor-transductor-captador/>.
72. **Information Technology Laboratory .** Variability. [En línea] 28 de Enero de 2018. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/mpc/section1/mpc114.htm>.
73. **NÆS, TORMOD, BROCKHOFF, PER y TOMIC, OLIVER.** Statistics for Sensory and Consumer Science. West Sussex : John Wiley & Sons Ltd, 2010.
74. **Baecher, Gregory y Christian, John.** Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. West Sussex : John Wiley & Sons Ltd, 2003.
75. **Sani, Fabio y Todman, Jhon.** EXPERIMENTAL DESIGN AND STATISTICS FOR PSYCHOLOGY. Malden : BLACKWELL PUBLISHING, 2006.
76. **Havbro, Michael.** Statistics and Probability Theory In Pursuit of Engineering Decision Support. New York : Springer, 2012.
77. **Montgomery, Douglas y Runger, George.** Applied Statistics and Probability for Engineers. Danvers : John Wiley & Sons, Inc., 2003.
78. **Devore, Jay.** Probability and Statistics for Engineering and the Sciences. Boston : Brooks/Cole, Cengage Learning, 2012.
79. **Cohn, Victor.** News & numbers : a writer's guide to statistics. Pondicherry : John Wiley & Sons, 2012.
80. **Manikandan.** Measures of central tendency: The mean. [En línea] 29 de Enero de 2018. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3127352/>.

81. **Minitab.** ¿Cuáles son las fuentes de la variación del proceso? [En línea] 29 de Enero de 2018. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/basics/sources-of-process-variation/>.
82. **Anderson, David, Sweeney, Dennis y Williams, Thomas.** Statistics for Business and Economics, Tenth Edition. Mason : Thomson South-Western, 2008.
83. **Dieter, George y Schmidt, Linda.** ENGINEERING DESIGN. New York : McGraw-Hill, 2009.
84. **Construmática.** Contenido de Humedad en Suelos Cohesivos. [En línea] 01 de Febrero de 2018. http://www.construmatica.com/construpedia/Contenido_de_Humedad_en_Suelos_Cohesivos.
85. **FAO.** Definición de la consistencia del suelo. [En línea] 1 de Febrero de 2018. http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm.
86. **Scribd.** Contenido de humedad. [En línea] Febrero de 3 de 2018. <https://es.scribd.com/doc/141685109/Definicion-de-contenido-de-humedad>.
87. **Puy, Alberto.** Influencia de la temperatura en el Límite Líquido para suelos con diferentes índices de plasticidad. 2006.
88. **Handy, Richard y Spanger, M.** GEOTECHNICAL ENGINEERING SOIL AND FOUNDATION PRINCIPLES AND PRACTICE, FIFTH EDITION. New York : McGraw-Hill, 2007.
89. **Manjriker, Gunaratne.** The foundation engineering handbook. Boca Raton : CRC Press Taylor & Francis Group, 2006.
90. **Comisión Federal de Electricidad.** Manual de Tecnología del Concreto - sección 3 tres. Ciudad de México : CFE, 1994.
91. **Olivera, Bustamante Fernando.** Estructuración de vías terrestres. Delegación Azcapotzalco : COMPAÑÍA EDITORIAL CONTPJENTAL, S.A. de C.V., 1999.
92. **Rao, Singeruso.** Engineering Optimization. New Jersey : Wiley, 2009.
93. **Barboza, Felipe, y otros.** PAVIMENTO DE BAJO COSTO CON BASE DE SUELO CEMENTO – TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE EN CALZADA Y SIMPLE EN BANQUINAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS RR2C MODIFICADAS CON POLÍMEROS SBS. Cerro León : ASISTENCIA INTEGRAL DE INGENIERÍA S.R.L., 2007.

94. **Brante, Guillermo.** RIEGOS ASFALTICOS. s.l. : Laboratorio Regional Vialidad Va. Región, 2015.
95. **ACI.** Diseño y construcción de pisos y pavimentos de concreto. Lima : CAPITULO PERUANO ACI, 2002.
96. **MACCAFERRI.** Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón. Jundiaí : Maccaferri Do Brasil Ltda., 2007.
97. **Gonzales, De La Gotera Manuel.** Guía introductoria a la durabilidad del concreto. 2003.

ANEXOS

ANEXO 01. Matriz de consistencia

*EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS, DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO CUSCO 2021							
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES	METODOLOGÍA APLICADA	ANÁLISIS DE DATOS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE				
¿Cuál es el efecto de la adición de polímero bi-componente, en las propiedades físicas y mecánicas arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021?	Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en las propiedades físicas y mecánicas arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021.	La adición de polímero bi-componente, mejora las propiedades físicas y mecánicas de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo cusco 2021	Adición de polímero bi-componente	Estabilización química	% De polímero solido % De polímero liquido	Experimental con Enfoque Cuantitativo.	Se utilizará estadística descriptiva
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES		
A. ¿Cuáles es el efecto de la adición de polímero bi-componente, en los límites de consistencia de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo cusco 2021?	A. Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en los límites de consistencia de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo cusco 2021.	A. La adición de polímero bi-componente, altera los límites de consistencia de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021.	Plasticidad, Expansion y Resistencia al corte de la arcillas expansivas del sector Ccapac Moqo	Plasticidad de los materiales	LL. LÍMITE LÍQUIDO	POBLACION:	
B. ¿Cuál es el efecto de la adición de polímero bi-componente, en la resistencia al esfuerzo cortante de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo cusco 2021?	B. Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en la resistencia al esfuerzo cortante de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo cusco 2021.	B. La adición de polímero bi-componente, incrementa la resistencia al corte con veletas de arcillas expansivas, del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021.		Expansion de los suelos	EXPANSION DE LAS ARCILLAS	Arcilla bentonita del sector Ccapac Moqo	
C. ¿Cuál es el efecto de la adición de polímero bi-componente, en el ensayo de expansión de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo cusco 2021?	C. Determinar el efecto de la adición de polímero bi-componente, en el ensayo de expansión de arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo cusco 2021.	c. La adición de polímero bi-componente, reduce la expansión, de las arcillas expansivas del sector de Ccapac Moqo, Cusco 2021.		Resistencia de los materiales	Resistencia al esfuerzo cortante Kg/cm ²	MUESTRA Muestreo. No proabilistico por convenientoa en un numero de 35 ensayos cada uno de 130 gr de arcilla con una determinada dosis de aditivo	

Anexo 02. Presupuesto de investigación

		Und	Cant.	PU	Parcial
01.00	RECURSOS HUMANOS: BONIFICACIONES				1,200.00
	Asesor de investigación	glb	1.00	1,200.00	1,200.00
02.00	BIENES				900.00
	Material bibliográfico	glb	1.00	250.00	250.00
	Material de impresión	glb	1.00	200.00	200.00
	Bolsas de polietileno	glb	50.00	3.00	150.00
	Materiales de trabajo en campo	glb	1.00	300.00	300.00
03.00	EQUIPOS Y MATERIALES				4185.00
	Ensayo de determinación de la resistencia al esfuerzo cortante mediante veleta tipo Torvane	und	35.00	30.00	1050.00
	Ensayo de determinación de Limite Liquido – Limite Plástico - Índice de plasticidad.	und	35.00	15.00	525.00
	Ensayo de determinación de Índice de Expansión.	und	35.00	70.00	2450.00
	Equipo de limpieza	glb	2.00	40.00	80.00
	Adquisición de aditivo Consolid	glb	2.00	40.00	80.00
04.00	SERVICIOS				3,700.00
	Asistencia técnica -ensayos	glb	1.00	150.00	150.00
	Impresiones en general	glb	1.00	150.00	150.00
	Fotocopias	glb	1.00	100.00	100.00
	Estudio de suelos	glb	1.00	700.00	700.00
	Servicio de internet	glb	1.00	100.00	100.00
	Viáticos y movilidad	glb	1.00	2,500.00	2,500.00
	TOTAL				9,985.00

Fuente: Elaboración propia

Anexo 03. Cronograma de actividades

N°	ACTIVIDADES	TIEMPO																
		M1				M2				M3					M4			
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17
1	Revisión de proyecto de investigación	■	■															
2	Revisión bibliográfica y ajustes de instrumentos de validación		■	■	■													
3	Recopilación de información			■	■	■	■											
4	Procesamiento de información					■	■	■	■									
5	Aplicación de los métodos de análisis						■	■	■	■								
6	Análisis de resultados									■	■							
7	Redacción del informe										■	■	■					
8	Presentación del Plan de Investigación												■	■				
9	Subsanación de observaciones													■	■			
10	Presentación final del Plan de Investigación														■	■		
11	Solicitar sustentación tesis															■		
12	Defensa de la tesis																■	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 04. Ficha informativa - técnica del sistema CONSOLID

1. Ficha – técnica informativa del sistema CONSOLID

1.1. Principio y descripción

El Sistema de impermeabilización y estabilización química de suelos CONSOLID está formado por dos productos: un polvo granulado de nombre comercial SOLIDRY, y un líquido semi viscoso de nombre comercial CONSOLID 444.

El sistema impermeabiliza los suelos tratados, así como aumenta la capacidad portante de los mismos.

La aplicación del CONSOLID 444 permite una aglomeración de las partículas finas, y de este modo una reducción de la superficie activa del suelo; se destruye la película de agua adherida en la medida de lo posible, activando así el poder de unión propio del suelo. Un tratamiento posterior con SOLIDRY permite una estabilización precisa de acuerdo a los requerimientos del lugar de construcción.

1.2 Materiales y componentes

1.2.1 SOLIDRY CONCENTRADO

Polvo granulado formado por la mezcla de catalizadores e intercambiadores iónicos.

Tabla 19 Caracterización química del SOLIDRY CONCENTRADO.

Compuesto	%
Alquilamina grasa	25 - 100
Ester di-alquílico de trietanolamonio metil sulfato	25 - 100
2 Propanol	5 - 10

Tabla 20 Características técnicas del SOLIDRY CONCENTRADO.

Características Técnicas	UM	Valor Nominal
Aspecto	-	Sólido
Color	-	Amarillento
Olor	-	Similar a las aminas
Valor PH	-	9-10
Punto de fusión	°C	50-52
Punto de inflamación en copa cerrada	°C	>170
Densidad (75°C)	gr/m3	0.858
Viscosidad dinámica (75°C)	mPa	<100
Solubilidad en agua (20°C)	-	Insoluble
Solubilidad en Isopropanol (55°C)	g/l	50

1.2.2 CONSOLID 444 CONCENTRADO

Líquido semi viscoso, formado por la mezcla de monómeros y polímeros catalizadores, aceleradores de la penetración.

Tabla 21 Caracterización química del CONSOLID 444 CONCENTRADO.

Compuesto	%
Compuesto de amonio cuaternario	25-50
Amina grasa	10-25
Ácido fórmico	2.5-10
Otras aminas y grasas	2.5-10
Xileno alcalino	2.5

Tabla 22 Características técnicas CONSOLID 444 CONCENTRADO.

Características	UM	Valor Nominal
Aspecto	-	líquido
Color	-	amarillo
Olor	-	característico
Punto de inflamación	°C	41
Presión a vapor a 20°C	hPa	23
Densidad	gr/cm ³	0.98-1.00
Solubilidad en agua	-	completa
Valor (100g/l) a 20°C	-	4.5-5

1.3 Fabricación

Los productos que componen el Sistema se fabrican a partir de productos concentrados manufacturados y embarcados desde BUSSETTI & Co. GesmbH, Austria (CONSOLID) y desde KAO CORPORATION S.A., España (SOLIDRY) a sus distribuidores autorizados en el mundo, para a partir de ellos obtener los productos finales del sistema. BUSSETTI & Co. GesmbH presenta certificado ISO 9001: 2000, para el diseño y producción de auxiliares químicos industriales con número de registro 01530138 otorgado por el cuerpo de certificación TUV.

KAO CORPORATION SA, presenta certificado ISO 9001: 2000, para el diseño y producción de agentes tensoactivos otorgado por AENOR con número de registro ER-0228/1995, renovado en el 2006.

1.4 Suelos a tratar En principio, todo tipo de suelos cohesivos o semi-cohesivos pueden ser tratados con el Sistema CONSOLID y modificados hasta el punto deseado. El grado de estabilización lo determina Ud. de acuerdo a los requerimientos de la construcción.

Todo tipo de suelos cohesivos
pueden ser tratados con el sistema
CONSOLID

Todo tipo de suelos cohesivos pueden ser tratados con el Sistema CONSOLID.

La experiencia en muchos países y con muchos tipos de suelos (desde buenos a muy malos) y en condiciones diferentes confirman que la estabilización se puede conseguir a través del tratamiento con el Sistema CONSOLID.

1.4.1 Composición óptima del suelo a tratar Aquí deben aplicarse los criterios físicos normales de clasificación de suelos, cuánto mejor sea su composición granulada, más alta será la estabilización mecánica del suelo. Una granulación desfavorable o una sobre medida de cierta fracción puede ser mejorada mezclando con otros suelos disponibles en el lugar de modo de alcanzar un mejor estado inicial para la estabilización mecánica. Cuanto mejor sea el punto inicial respecto a la capacidad de soporte, mejor será el efecto del tratamiento con el Sistema CONSOLID con las mismas cantidades de aditivos.

La principal efectividad del Sistema CONSOLID apunta a una influencia sobre los finos de un suelo, ya que estos son los principales responsables de su inestabilidad, pero después del tratamiento se transforman en ligantes naturales; mientras que la parte gruesa no causa problemas. Dado que se apunta a lograr un suelo más denso, los contenidos de finos (arcilla, sedimento) no deberían ser menores al 20 o 30 % para obtener una estabilidad mecánica satisfactoria. El máximo de material fino, especialmente greda, está dado por la capacidad de mezclado del suelo. En este caso, se requiere agregar material arenoso o grueso para que el suelo sea trabajable. Por el contrario, si se quiere tratar suelos no-cohesivos como la arena, debe agregársele la cantidad necesaria de suelo cohesivo.

El suelo a tratar deber ser incorporado siempre en su Proctor óptimo o apenas por encima pero nunca con contenidos de humedad demasiado bajos. El Sistema CONSOLID libera el agua adherida facilitando la compactación, especialmente en suelos que contienen grava o rocas. La compactación va en continuo aumento debido al tránsito, aún si la

compactación inicial se ha realizado con humedades demasiado altas. Este efecto de compactación ya no puede ser afectado por el proceso destructivo del suelo que se hincha cuando absorbe agua (sobre todo ante la presencia de heladas); la densidad aumenta constantemente; el efecto del Sistema CONSOLID es permanente.

El Sistema CONSOLID puede ser de gran ayuda incluso en el caso de pantanos. Estos suelos contienen a menudo un alto contenido de sedimentos y son extremadamente sensibles a la absorción del agua y por tanto adecuados para el tratamiento con el Sistema CONSOLID.

Por supuesto que se deberá elaborar todo un proyecto adecuado a las circunstancias: con su drenaje respectivo, la construcción de un terraplén (al menos un metro por encima del nivel del agua), compactación de la subrasante, etc.

1.4.2 Aplicación La mezcla del suelo con los aditivos del Sistema CONSOLID puede realizarse en el mismo lugar de la aplicación. Sin embargo, el Sistema brinda la posibilidad de mezclar los productos y el suelo a tratar en cualquier tipo de planta mezcladora y ser almacenado en espera de su demanda.

Para que la aplicación sea totalmente satisfactoria, hay que tener en cuenta la composición del suelo a estabilizar, la mejor composición para un muy buen resultado es:

- ✓ 1/3 arcilla y limo
- ✓ 1/3 arena y pequeña grava
- ✓ 1/3 piedras trituradas
- ✓ El suelo debe contener, al menos, del 20% al 25% de arcilla

La forma más común de aplicación consiste en el mezclado en el mismo lugar de la construcción.

Primero se acostumbra a desmenuzar o remover el terreno a una profundidad de 25 cm y luego se aplica el SOLIDRY. La dosis a aplicar es de 12 a 20 kg/m³, siendo la estándar de 16 kg/m³.

Se mezcla todo bien hasta obtener una buena homogenización del terreno. Luego se aplica el CONSOLID Líquido también a una profundidad de 25 cm. La dosis a aplicar es de 0,6 a 0,8 litros/m³, siendo la estándar de 0,8 litros/m³.

Anexo 05. Ficha Comercial CONSOLID

Espesores de Tratamiento

Se puede definir a un pavimento como un elemento estructural que aleja y distribuye la carga puntual que genera el neumático de un vehículo, sobre el terreno natural.

Tal como puede apreciarse en el gráfico el peso del vehículo se transmite a la superficie del pavimento a través del neumático en forma de carga puntual (flecha roja grande). Esta carga es transmitida hacia abajo en forma cónica (flechas azules), de tal manera que cuanto más grande es la altura del cono, mayor es la superficie de la base, con lo cual se distribuye la carga (inicialmente puntual en la parte superior) en toda la base (flechas rojas pequeñas).

Esto significa que la elección del espesor de tratamiento está relacionada con los requerimientos mecánicos a los cuales la base estabilizada vaya a estar sometida, debiéndose tener en cuenta el tipo de tránsito (en cantidad y en calidad o peso) que circulará y las condiciones naturales de valor soporte que el suelo tenga, ya sea en la porción a tratar o en la parte inferior o sub base que es donde la primera se apoya.

A modo de ejemplo podemos establecer que un tránsito pesado y/o una sub-base débil demandará un mayor espesor de tratamiento. Por el contrario, el tránsito de una calle en un barrio residencial y/o una sub-base buena requerirá un espesor significativamente menor.

Dosis

La elección de la dosis está relacionada en alguna medida con la composición química del suelo y en mayor medida con su composición granulométrica, es decir, con la cantidad de gránulos finos (donde principalmente ac-

túan los componentes) en relación con las partículas de mayor tamaño, ya que estas últimas ocupan volúmenes de suelo que no necesitan ser estabilizados. Esto significa que (generalmente) a mayor cantidad de partículas grandes, menor será la cantidad de productos necesarios.

La siguiente tabla nos muestra las dosis que se requieren de cada producto expresadas en porcentaje del peso del suelo (segunda columna) y la cantidad de cada producto por metro cúbico de suelo (tercer columna), asumiendo que este último pesa aproximadamente 2000kg.

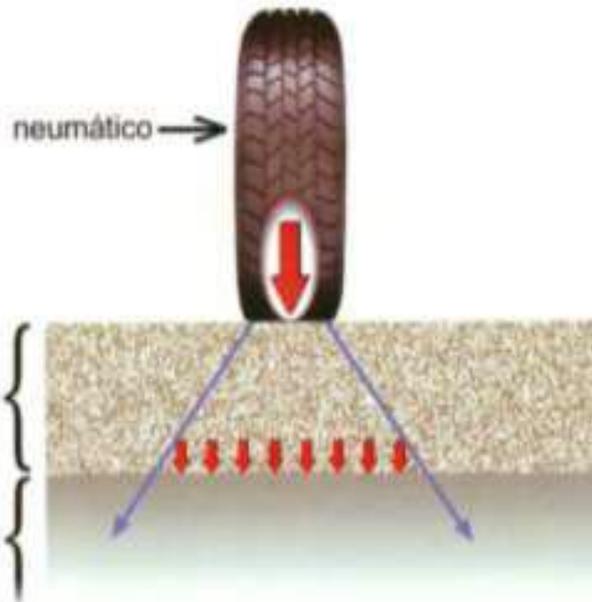


Tabla de Dosis

CONSOLID 444	0.032% del peso del suelo	0.64 litros/m ³
CONSERVEX	0.5% a 1% del peso del suelo	10 a 20 litros/m ³
SOLIDRY	1% a 2% del peso del suelo	20 a 40 kg/m ³

Cantidad de productos por metro cuadrado

Obsérvese en la tabla de dosis que la cantidad de **CONSOLID 444** (salvo en condiciones especiales) es fija. Lo que podemos variar es el espesor de la capa a tratar (de 15 a 25 cm). La siguiente tabla nos muestra la cantidad de producto necesario por m², según los distintos espesores.

litros/m ²	CONSOLID 444		
	Espesores a tratar en cm.		
	15 cm	20 cm	25 cm
Dosis Estándar (0,032%)	0,10 l/m ²	0,13 l/m ²	0,16 l/m ²

La dosis de **CONSERVEX** y la de **SOLIDRY** que observamos en la tabla de dosis, son variables. A los efectos prácticos, dividiremos estos rangos de dosis en mínima, estándar y máxima. En las siguientes tablas continuamos las tres dosis a utilizar con distintos espesores, obteniendo las cantidades de producto necesario para establecer cada combinación de dosis / espesor.

kilogramos/m ²	SOLIDRY		
	Espesores a tratar en cm.		
	5 cm	7,5 cm	10 cm
Dosis Mínima (1%)	1,00 kg/m ²	1,50 kg/m ²	2,00 kg/m ²
Dosis Estándar (1,5%)	1,50 kg/m ²	2,25 kg/m ²	3,00 kg/m ²
Dosis Máxima (2%)	2,00 kg/m ²	3,00 kg/m ²	4,00 kg/m ²

litros/m ²	CONSERVEX		
	Espesores a tratar en cm.		
	5 cm	7,5 cm	10 cm
Dosis Mínima (0,5%)	0,50 l/m ²	0,75 l/m ²	1,00 l/m ²
Dosis Estándar (0,75%)	0,75 l/m ²	1,13 l/m ²	1,50 l/m ²
Dosis Máxima (1%)	1,00 l/m ²	1,50 l/m ²	2,00 l/m ²

La experiencia indica que si se tiene cuidado en realizar un buen mezclado de los productos (ver Método de aplicación) las dosis estándar tienen un excelente desempeño en la gran mayoría de los suelos. No obstante el ensayo ascenso capilar aludido anteriormente es la forma más ajustada para determinar la dosis.

Anexo 06. Resumen de resultados

RESUMEN DE RESULTADOS

Tesis: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO -CUSCO, 2021

Proyecto: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO



N	MUESTRA	Polimero Líquido (%)	Polímero Sólido (%)	Muestra (g)	Polimero solido + liquido	Peso total	LL (%)	LL VARIACION (%)	LP (%)	LP VARIACION (%)	IP (%)	IP VARIACION (%)	Expansión (%)	Expansión Variacion (%)	Resistencia al Esfuerzo Cortante (kg/cm2)	Resistencia al Esfuerzo Cortante variacion (kg/cm2)
1	PATRON	0,0	0,0	130	0,0	130,0	101,57%	0,00%	46,10%	0,00%	55,47%	0,00%	5,18 %	0,00 %	0,28 kg/cm2	0,00 kg/cm2
2	PATRON + POLIMERO	0,1	0,1	130	0,2	130,2	100,97%	0,60%	46,98%	-1,89%	53,99%	2,76%	5,26 %	-0,02 %	0,29 kg/cm2	-0,03 kg/cm2
3	PATRON + POLIMERO	0,2	0,2	130	0,4	130,4	103,28%	-2,23%	46,87%	0,25%	56,41%	-4,29%	5,26 %	0,00 %	0,27 kg/cm2	0,07 kg/cm2
4	PATRON + POLIMERO	0,3	0,3	130	0,6	130,6	102,57%	0,68%	46,87%	0,00%	55,71%	1,26%	5,28 %	0,00 %	0,28 kg/cm2	-0,04 kg/cm2
5	PATRON + POLIMERO	0,4	0,4	130	0,8	130,8	100,85%	1,71%	46,90%	-0,08%	53,95%	3,26%	5,08 %	0,04 %	0,29 kg/cm2	-0,03 kg/cm2
6	PATRON + POLIMERO	0,5	0,5	130	1,0	131,0	100,47%	0,38%	50,94%	-7,92%	49,53%	8,92%	4,55 %	0,12 %	0,38 kg/cm2	-0,23 kg/cm2
7	PATRON + POLIMERO	0,6	0,6	130	1,2	131,2	99,19%	1,29%	51,17%	-0,46%	48,02%	3,16%	4,35 %	0,05 %	0,38 kg/cm2	0,00 kg/cm2
8	PATRON + POLIMERO	0,7	0,7	130	1,4	131,4	98,92%	0,27%	47,96%	6,70%	50,96%	-5,78%	4,52 %	-0,04 %	0,37 kg/cm2	0,02 kg/cm2
9	PATRON + POLIMERO	0,8	0,8	130	1,6	131,6	89,03%	11,12%	41,88%	14,53%	47,15%	8,09%	4,22 %	0,07 %	0,40 kg/cm2	-0,07 kg/cm2
10	PATRON + POLIMERO	0,9	0,9	130	1,8	131,8	88,23%	0,91%	41,27%	1,47%	46,95%	0,42%	4,42 %	-0,05 %	0,35 kg/cm2	0,14 kg/cm2
11	PATRON + POLIMERO	1,0	1,0	130	2,0	132,0	89,81%	-1,76%	41,55%	-0,67%	48,26%	-2,71%	4,05 %	0,09 %	0,42 kg/cm2	-0,16 kg/cm2
12	PATRON + POLIMERO	1,1	1,1	130	2,2	132,2	86,49%	3,84%	41,34%	0,50%	45,15%	6,89%	4,15 %	-0,02 %	0,41 kg/cm2	0,02 kg/cm2
13	PATRON + POLIMERO	1,2	1,2	130	2,4	132,4	88,76%	-2,55%	41,65%	-0,74%	47,11%	-4,15%	4,32 %	-0,04 %	0,43 kg/cm2	-0,05 kg/cm2
14	PATRON + POLIMERO	1,3	1,3	130	2,6	132,6	87,96%	0,91%	41,86%	-0,51%	46,09%	2,19%	4,22 %	0,02 %	0,43 kg/cm2	0,00 kg/cm2
15	PATRON + POLIMERO	1,4	1,4	130	2,8	132,8	86,01%	2,27%	41,43%	1,05%	44,58%	3,40%	4,02 %	0,05 %	0,46 kg/cm2	-0,07 kg/cm2
16	PATRON + POLIMERO	1,5	1,5	130	3,0	133,0	87,62%	-1,84%	41,99%	-1,33%	45,63%	-2,31%	4,12 %	-0,02 %	0,46 kg/cm2	0,00 kg/cm2
17	PATRON + POLIMERO	1,6	1,6	130	3,2	133,2	87,62%	0,00%	42,13%	-0,32%	45,50%	0,30%	3,92 %	0,05 %	0,47 kg/cm2	-0,01 kg/cm2
18	PATRON + POLIMERO	1,7	1,7	130	3,4	133,4	84,73%	3,41%	41,26%	2,10%	43,48%	4,65%	3,71 %	0,05 %	0,52 kg/cm2	-0,09 kg/cm2
19	PATRON + POLIMERO	1,8	1,8	130	3,6	133,6	84,83%	-0,12%	41,72%	-1,11%	43,11%	0,85%	3,56 %	0,04 %	0,51 kg/cm2	0,02 kg/cm2
20	PATRON + POLIMERO	1,9	1,9	130	3,8	133,8	86,89%	-2,36%	40,88%	2,06%	46,01%	-6,30%	3,73 %	-0,05 %	0,47 kg/cm2	0,09 kg/cm2
21	PATRON + POLIMERO	2,0	2,0	130	4,0	134,0	85,48%	1,65%	41,48%	-1,45%	43,99%	4,58%	4,03 %	-0,08 %	0,38 kg/cm2	0,23 kg/cm2
22	PATRON + POLIMERO	2,1	2,1	130	4,2	134,2	85,50%	-0,03%	41,45%	0,08%	44,05%	-0,14%	4,33 %	-0,07 %	0,34 kg/cm2	0,10 kg/cm2
23	PATRON + POLIMERO	2,2	2,2	130	4,4	134,4	86,94%	-1,65%	41,24%	0,52%	45,70%	-3,61%	4,25 %	0,02 %	0,33 kg/cm2	0,05 kg/cm2
24	PATRON + POLIMERO	2,3	2,3	130	4,6	134,6	84,87%	2,43%	41,08%	0,38%	43,79%	4,36%	4,55 %	-0,07 %	0,31 kg/cm2	0,06 kg/cm2
25	PATRON + POLIMERO	2,4	2,4	130	4,8	134,8	88,65%	-4,26%	41,12%	-0,09%	47,54%	-7,87%	4,33 %	0,05 %	0,29 kg/cm2	0,07 kg/cm2


 INGEOMAT
 INGENIERIA GEOTECNICA Y MATERIALES E.I.R.L.
 Ing. Hugo Cuba Benavente
 CIP 128589
 Responsable de laboratorio

Anexo 07. Resumen de graficos

RESUMEN DE GRAFICOS

Tesis:

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICA DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO -CUSCO, 2021

Proyecto:

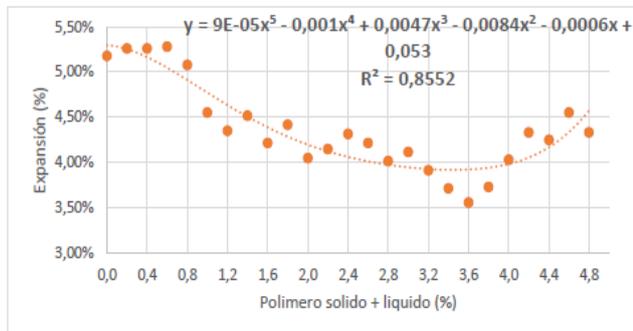
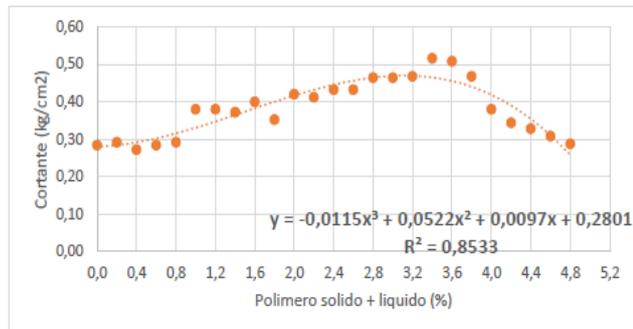
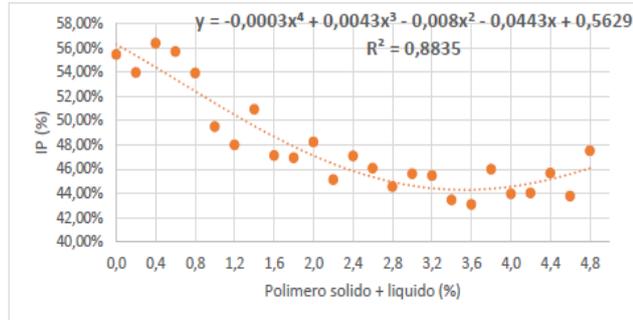
BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

Ubicación:

SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO



N	Polimero Sólido + líquido (%)	IP (%)	Expansión (%)	Cortante (kg/cm2)
1	0,0	55,47%	5,18%	0,28
2	0,2	53,99%	5,26%	0,29
3	0,4	56,41%	5,26%	0,27
4	0,6	55,71%	5,28%	0,28
5	0,8	53,95%	5,08%	0,29
6	1,0	49,53%	4,55%	0,38
7	1,2	48,02%	4,35%	0,38
8	1,4	50,96%	4,52%	0,37
9	1,6	47,15%	4,22%	0,40
10	1,8	46,95%	4,42%	0,35
11	2,0	48,26%	4,05%	0,42
12	2,2	45,15%	4,15%	0,41
13	2,4	47,11%	4,32%	0,43
14	2,6	46,09%	4,22%	0,43
15	2,8	44,58%	4,02%	0,46
16	3,0	45,63%	4,12%	0,46
17	3,2	45,50%	3,92%	0,47
18	3,4	43,48%	3,71%	0,52
19	3,6	43,11%	3,56%	0,51
20	3,8	46,01%	3,73%	0,47
21	4,0	43,99%	4,03%	0,38
22	4,2	44,05%	4,33%	0,34
23	4,4	45,70%	4,25%	0,33
24	4,6	43,79%	4,55%	0,31
25	4,8	47,54%	4,33%	0,29




INGEOMA
 INGENIERIA GEOTECNICA Y MATERIALES E.I.R.L.
Ing. Hugo Cuba Benavente
 CIP 128589
 Responsable de laboratorio

Anexo 08. Certificado granulometría – muestra PATRÓN.



- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 084 - 270342, RPC974279249, RPM: #998990111



Proyecto: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO -CUSCO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

Muestra: ALTERADA

Fecha: MARZO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

PESO INICIAL= 1420,00 gr

% de perdidas= 1,46%

PESO FINAL= 1399,59 gr

% Max de Perdida= 2,00% OKiii

SUCS	CH
Sondeo	1

P.R.: HUGO CUBA BENAVENTE

J.L.: JEFFERSON CHARA HOLGUIN

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E-107-200

Tamiz Nº	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0,00	0,00%	100,00%
2"	50	0,00	0,00%	100,00%
1"	25	0,00	0,00%	100,00%
3/8"	18,75	0,00	0,00%	100,00%
4	4,750	0,00	0,00%	100,00%
10	2,000	0,00	0,00%	100,00%
20	0,840	0,00	0,00%	100,00%
40	0,425	0,00	0,00%	100,00%
60	0,250	0,00	0,00%	100,00%
100	0,150	0,00	0,00%	100,00%
200	0,075	126,62	9,05%	90,95%
bandeja	0,000	1272,97	90,95%	0,00%
		1399,59	100,00%	



% de gruesos= 9,05%

% de finos= 90,95%

% de grava= 0,00%

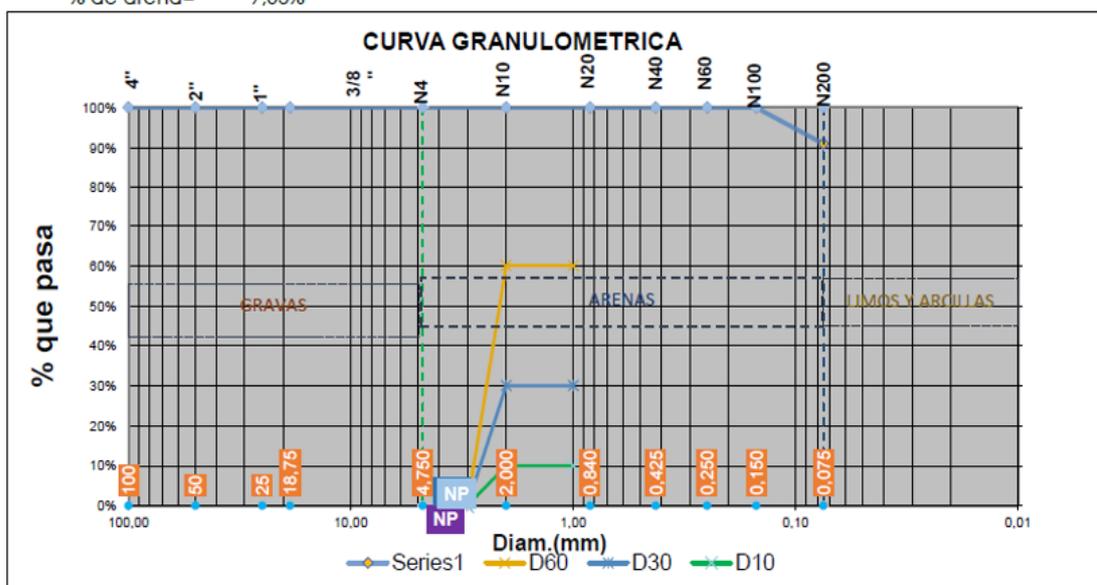
% de arena= 9,05%

% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4= 0,00%

% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4= 100,00%

(Grava)

(Arena)



D60= NP

D30= NP

D10= NP

Cu= NP

Cc= NP

Anexo 09. Certificado Límites de consistencia – muestra PATRÓN.



- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 084 - 270342, RPC974279249, RPM: #998990111



Proyecto: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO -CUSCO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

Muestra: ALTERADA

Fecha: MARZO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

P.R.: HUGO CUBA BENAVENTE

J.L.: JEFFERSON CHARA HOLGUIN

SUCS	CH
Sondeo	1

PESO INICIAL= 1420.00 gr

% de perdidas= 1,46%

PESO FINAL= 1399,59 gr

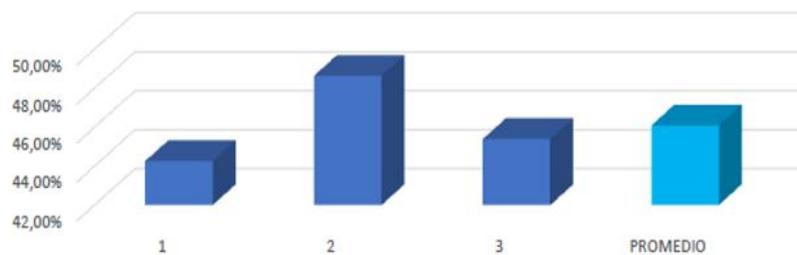
% Max de Perdida= 2.00% OK_{iii}

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE PLASTICO

Nº de lata	1	2	3	PROMEDIO
peso de suelo humedo + lata(gr)	11,39	11,11	12,21	
peso de suelo seco + lata(gr)	9,50	9,32	10,34	
peso de lata(gr)	5,23	5,64	6,22	
peso de suelo seco(gr)	4,27	3,68	4,12	
peso de suelo humedo(gr)	6,16	5,47	5,99	
peso de agua(gr)	1,89	1,79	1,87	
contenido de humedad	44,26%	48,64%	45,39%	46,10%

LIMITE PLASTICO



LIMITE LIQUIDO

Nº DE TARA	A1
PESO DE LA TARA (gr)	10,90
PESO DE LA TARA + SUELO HUMEDO (gr)	58,63
PESO DE LA TARA + SUELO SECO (gr)	34,52
PESO DEL AGUA (gr)	24,11
PESO DEL SUELO SECO (gr)	23,62
NUMERO DE GOLPES	24
CONTENIDO DE HUMEDAD %	102,07%
LIMITE LIQUIDO %	101,57%

$$LL = W_N * \left(\frac{N}{25}\right)^{Tan\beta}$$

LL: Limite liquido

W_N : Contenido de humedad natural

N: Numero de golpes

$Tan\beta$: Pendiente de la linea de flujo (0.121 es una buena aproximacion)

LL: 101,57%

LP: 46,10%

IP: 55,47%

Anexo 10. Certificado de sondeo de muestra – muestra PATRÓN



- CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastián - Cusco, Tel: 270342, RFC: 974279249, RPA: 8998990111, Nextel: 947285580

Proyecto: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOGO -CUSCO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOGO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

Muestra: ALTERADA

Fecha: MARZO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI GUISEP



SONDEO	1
SUCS	CH

ANALISIS GRANULOMETRICO POR SEDIMENTACION MTC E-107-200

$$F_t = -4.85 + 0.25t \quad R_{cl} = R + F_m$$

$$a = \frac{G_s (1.65)}{(G_s - 1)2.65} \quad R_{cp} = R + F_t - F_z$$

Fz=correccion por cero o defloculante

Fz= 7

Fm=correccion por menisco

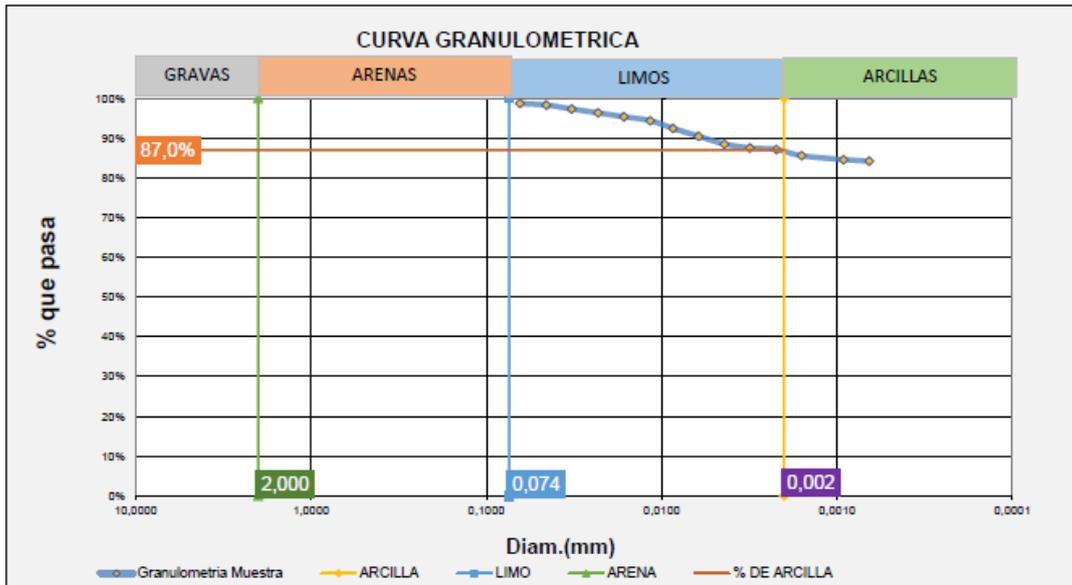
Fm= 1

Gs= 2,75

a=correccion por Gs

a= 0,98

Tiempo	Lectura Hidrometro	Temperatura	F=-4.85+0.25xt	Rcp	% que pasa a Rcp x 100 / 50	Rcl	L Profundidad efectiva	Ac Actividad fc(t,Gs,Gw y μ)	D(mm)
0,25 min	55,2	28,00 °C	2,15	50,35	98,686%	56,2	7,10	0,0121	0,0644
0,5 min	55	28,00 °C	2,15	50,15	98,294%	56	7,10	0,0121	0,0455
1 min	54,5	28,00 °C	2,15	49,65	97,314%	55,5	7,30	0,0121	0,0326
2 min	54	28,00 °C	2,15	49,15	96,334%	55	7,30	0,0121	0,0231
4 min	53,5	28,00 °C	2,15	48,65	95,354%	54,5	7,40	0,0121	0,0164
8 min	53	28,00 °C	2,15	48,15	94,374%	54	7,40	0,0121	0,0116
15 min	52	28,00 °C	2,15	47,15	92,414%	53	7,60	0,0121	0,0086
30 min	51	28,00 °C	2,15	46,15	90,454%	52	7,80	0,0121	0,0062
60 min	50	28,00 °C	2,15	45,15	88,494%	51	7,90	0,0121	0,0044
120 min	49,5	28,00 °C	2,15	44,65	87,514%	50,5	8,10	0,0121	0,0031
240 min	49,3	28,00 °C	2,15	44,45	87,122%	50,3	8,10	0,0121	0,0022
480 min	48,5	28,00 °C	2,15	43,65	85,554%	49,5	8,30	0,0121	0,0016
1440 min	48	28,00 °C	2,15	43,15	84,574%	49	8,30	0,0121	0,0009
2880 min	47,8	28,00 °C	2,15	42,95	84,182%	48,8	8,40	0,0121	0,0007



% DE ARCILLA= 87,0%
% DE LIMO= 13,0%

% DE MATERIAL MAS FINO QUE 2 MICRAS= 87,0%

Anexo 11. Clasificación de suelos – muestra patrón



- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastián - Cusco, Tlf. 084 - 270342, RPC: 974279249, RPM: 2998990111



Tesis: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO -CUSCO, 2021
Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO
Muestra: ALTERADA
Fecha: MARZO, 2021
Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

P.R.: HUGO CUBA BENAVENTE
J.L.: JEFFERSON CHARA HOLGUIN

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometría

% de gruesos= 9,05%
% de finos= 90,95% Retenido en malla N 200= 9,05%
% de grava= 0,00% Retenido en malla N 4= 0,00%
% de arena= 9,05%
% de la fracción gruesa retenida en la malla N 4= 0,00% (Grava)
% de la fracción gruesa pasa la malla N 4= 100,00% (Arena)
Cu= NP
Cc= NP

De los límites de consistencia

LL= 101,57%
LP= 46,10%
IP= 55,47%

Sondeo 1

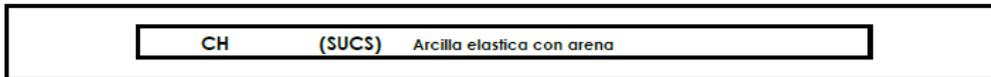
SUCS CH

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio		Clasificación de suelos					
		SÍMBOLO DE GRUPO	Nombre del grupo				
Suelos de partículas gruesas más del 50% es retenido en la malla No. 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	Cu \geq 4 y 1 \leq Cc \leq 3 GW Grava bien graduada				
		Gravas con finos Más del 12% pasa la malla No. 200	Cu $<$ 4 y 1 $>$ Cc $>$ 3 GP Grava mal graduada				
	Suelos de partículas finas más del 50% es retenido en la malla No. 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No. 200	IP \leq 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad GM Grava limosa			
			Gravas con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No. 200	IP $>$ 4 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad GC Grava arcillosa			
		ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No. 200	Cumple los criterios para GW y GM Cumple los criterios para GP y GM Cumple los criterios para GP y GC	GW-GM GW-GC GP-GC Grava bien graduada con limo Grava mal graduada con limo Grava mal graduada con arcilla		
			Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	Cu \geq 6 y 1 \leq Cc \leq 3 SW Arena bien graduada			
			Arenas con finos Más del 12% pasa la malla No. 200	Cu $<$ 6 y 1 $>$ Cc $>$ 3 SP Arena mal graduada			
			ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No. 200	IP \leq 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad IP $>$ 4 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad Cumple los criterios para SW y SM Cumple los criterios para SW y SC Cumple los criterios para SP y SM Cumple los criterios para SP y SC	SW-SM SW-SC SP-SM SP-SC Arena bien graduada con limo Arena bien graduada con arcilla Arena mal graduada con limo Arena mal graduada con arcilla	
				Limos y arcillas Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP \leq 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL Arcilla de baja plasticidad
					Orgánicos	IP \leq 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML Limo de baja plasticidad
Suelos de partículas finas más del 50% pasa la malla No. 200	Limos y arcillas Límite Líquido mayor que 50	Inorgánicos		Límite líquido - secado al horno límite líquido - no secado \sim 0.75	OL Arcilla orgánica		
		Orgánicos	Límite líquido - secado al horno límite líquido - no secado \sim 0.75	OH Limo orgánico			
SUELOS SIEMPRE orgánicos		Principalmente materia orgánica de color oscuro	PT Turba				

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200										FINOS MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200															
GRAVAS					ARENAS					LIMOS Y ARCILLAS					ORG (Turba)										
LIMPIAS		COMBINACIONES			CON FINOS			LIMPIAS		COMBINACIONES			CON FINOS			LL < 50%		LL > 50%							
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	PT



Anexo 12. Certificado de granulometría por sedimentación – muestra patrón



Tesis: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO -CUSCO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

fecha: MARZO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

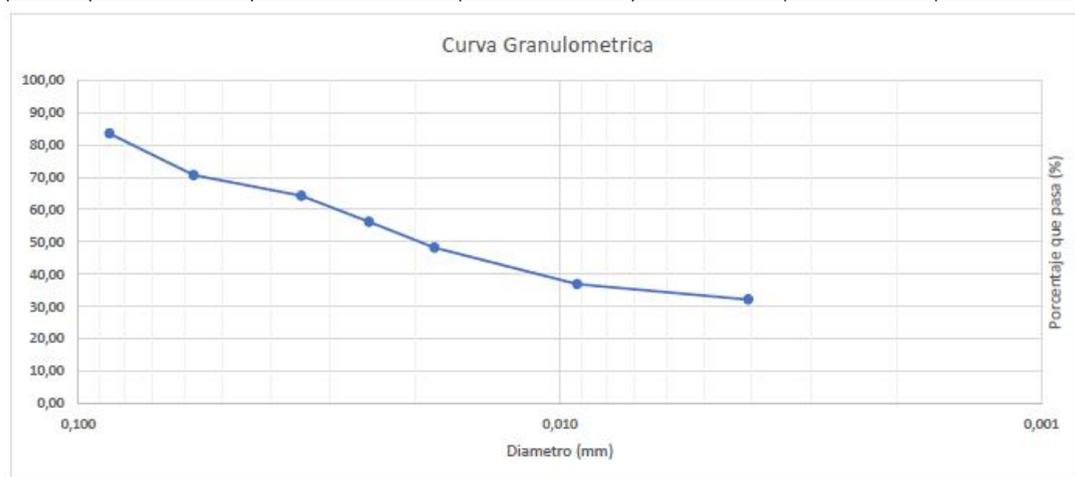
Sondeo	1
SUCS	CH

METODOS PARA ANALISIS GRANULOMETRICO	DESCRIPCION
METODO A	MAS DEL 80% PASA POR EL TAMIZ N° 200
METODO B	MENOS DEL 80% DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ N°200 Y/O SE ENCUENTRA MATERIAL SUPERIOR AL TAMIZ N°10

PARA EL PRESENTE CASO	
PASANTE DEL TAMIZ N° 200	90,95%
RETENIDO DEL TAMIZ N° 200	9,05%

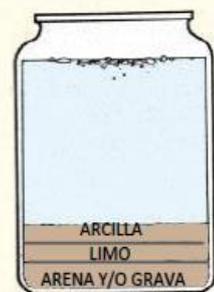
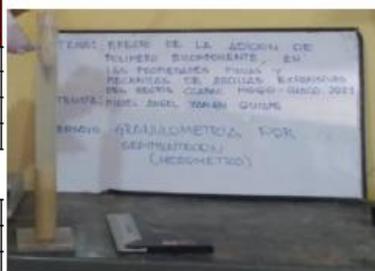
ENTONCES: **METODO A**

ENSAYO DE LABORATORIO DE GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO NTP 339.128 (ASTM D422)						
TIPO DE HIDROMETRO: 151H		GRAVEDAD ESPECIFICA	2,65	MASA DEL SUELO SECO (g)	50	%PASANTE
TIEMPO	LECTURA DEL HIDROMETRO	TEMPERATURA °C	PROFUNDIDAD EFECTIVA (mm) (L)	CONSTANTE (K)	DIAMETRO (mm)	
2	1,026	26,5	94	0,01258	0,086	83,52
5	1,022	26,5	105	0,01258	0,058	70,67
15	1,02	26,3	110	0,01272	0,034	64,24
30	1,0175	26,3	115	0,01272	0,025	56,21
60	1,015	26,1	123	0,01272	0,018	48,18
250	1,0115	25,9	131	0,01272	0,009	36,94
1440	1,01	23,4	137	0,01317	0,004	32,12



DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ARCILLA, LIMO Y ARENA	
ALTURA DE MUESTRA TOTAL:	15,00 cm
ALTURA DE LA ARCILLA	12,00 cm
ALTURA DEL LIMO	3,00 cm
ALTURA DE LA ARENA+GRAVA	0,00 cm

% DE ARCILLA=	80,00%
% DE LIMO=	20,00%
% DE ARENA + GRAVA=	0,00%



Anexo 13. Certificado de potencial de hinchamiento – muestra patrón



Tesis: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO - CUSCO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

fecha: MARZO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO



Sondeo	1
SUCS	CH

DETERMINACION DE LA EXPANSION DEL SUELO

ESTADO DE LA MUESTRA	1	2	3
DIAMETRO (cm)	5,06	5,08	5,05
AREA (cm ²)	20,11	20,27	20,03
ALTURA (cm)	2,55	2,54	2,52
VOLUMEN (cm ³)	51,28	51,48	50,47
PESO DEL ANILLO	35,66	35,66	35,66
PESO DEL ANILLO + SUELO HUMEDO	121,62	121,11	123,60
PESO DEL ANILLO + SUELO SECO	119,55	118,54	119,82
PESO EL AGUA	2,07	2,57	3,78
PESO DEL ESPECIMEN SOLIDO SECO	83,89	82,88	84,16
PESO DEL ESPECIMEN SOLIDO HUMEDO	85,96	85,45	87,94
DENSIDAD HUMEDA	1,68	1,66	1,74
DENSIDAD SECA	1,64	1,61	1,67
HUMEDAD	2,47%	3,10%	4,49%



N° DE MUESTRA	1			2			3		
	LECTURA DEL DIAL (pulg)	DEFORMACION (mm)	% DE EXPANSION	LECTURA DEL DIAL (pulg)	DEFORMACION (mm)	% DE EXPANSION	LECTURA DEL DIAL (pulg)	DEFORMACION (mm)	% DE EXPANSION
1	0,010	0,254	1,00 %	0,008	0,2032	0,80 %	0,006	0,1524	0,60 %
2	0,015	0,381	1,49 %	0,012	0,3048	1,20 %	0,010	0,254	1,01 %
3	0,019	0,4826	1,89 %	0,018	0,4572	1,80 %	0,015	0,381	1,51 %
4	0,021	0,5334	2,09 %	0,020	0,508	2,00 %	0,018	0,4572	1,81 %
5	0,024	0,6096	2,39 %	0,021	0,5334	2,10 %	0,021	0,5334	2,12 %
6	0,027	0,6858	2,69 %	0,022	0,5588	2,20 %	0,022	0,5588	2,22 %
7	0,029	0,7366	2,89 %	0,024	0,6096	2,40 %	0,023	0,5842	2,32 %
8	0,032	0,8128	3,19 %	0,025	0,635	2,50 %	0,025	0,635	2,52 %
9	0,034	0,8636	3,39 %	0,026	0,6604	2,60 %	0,028	0,7112	2,82 %
10	0,036	0,9144	3,59 %	0,028	0,7112	2,80 %	0,029	0,7366	2,92 %
15	0,037	0,9398	3,69 %	0,029	0,7366	2,90 %	0,031	0,7874	3,12 %
30	0,039	0,9906	3,88 %	0,031	0,7874	3,10 %	0,033	0,8382	3,33 %
60	0,041	1,0414	4,08 %	0,033	0,8382	3,30 %	0,035	0,889	3,53 %
120	0,043	1,0922	4,28 %	0,034	0,8636	3,40 %	0,039	0,9906	3,93 %
240	0,045	1,143	4,48 %	0,036	0,9144	3,60 %	0,041	1,0414	4,13 %
480	0,048	1,2192	4,78 %	0,038	0,9652	3,80 %	0,043	1,0922	4,33 %
1440	0,051	1,2954	5,08 %	0,040	1,016	4,00 %	0,046	1,1684	4,64 %
4320	0,052	1,3208	5,18 %	0,045	1,143	4,50 %	0,051	1,2954	5,14 %

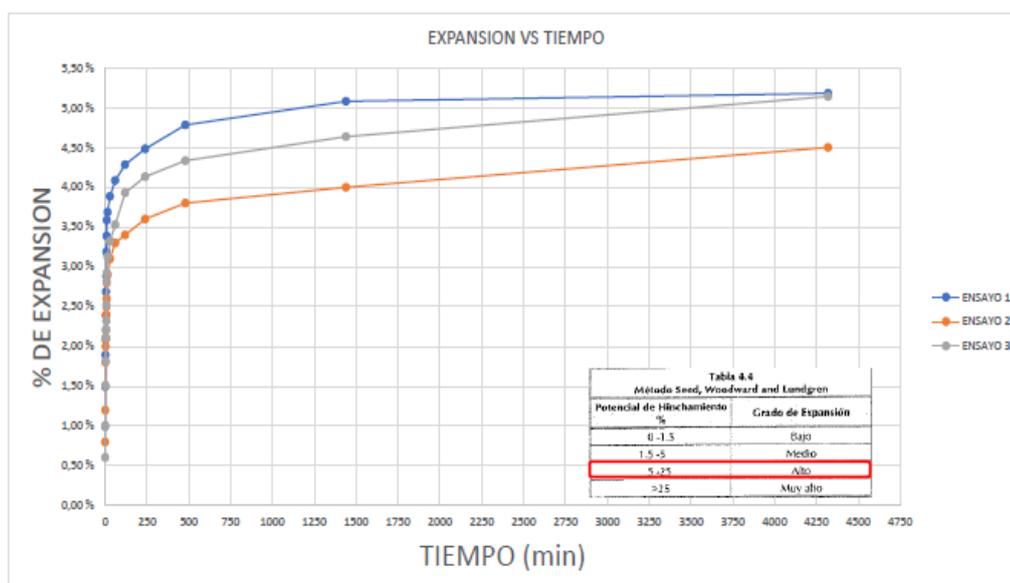


Tabla 4.4
Método Seed, Woodward and Lamgren

Potencial de Hinchamiento %	Grado de Expansión
0 - 1.5	Bajo
1.5 - 5	Medio
5 - 25	Alto
> 25	Muy alto

POTENCIAL DE EXPANSION MAXIMO	5,18 %
-------------------------------	--------

Anexo 15. Certificado Sondeo de muestra – ensayo 1



- CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco. Tel: 270342, RUC: 974279249, RPA: 8998990111, Nodal: 947285580

Proyecto: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOGO -CUSCO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOGO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

Muestra: ALTERADA

Fecha: MARZO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE



SONDEO	2
SUCS	CH

ANALISIS GRANULOMETRICO POR SEDIMENTACION MTC E-107-200

$$F_t = -4.85 + 0.25t \quad R_{cl} = R + F_m$$

$$a = \frac{G_s (1.65)}{(G_s - 1)2.65} \quad R_{cp} = R + F_t - F_z$$

Fz=correccion por cero o defloculante

Fz= 7

Fm=correccion por menisco

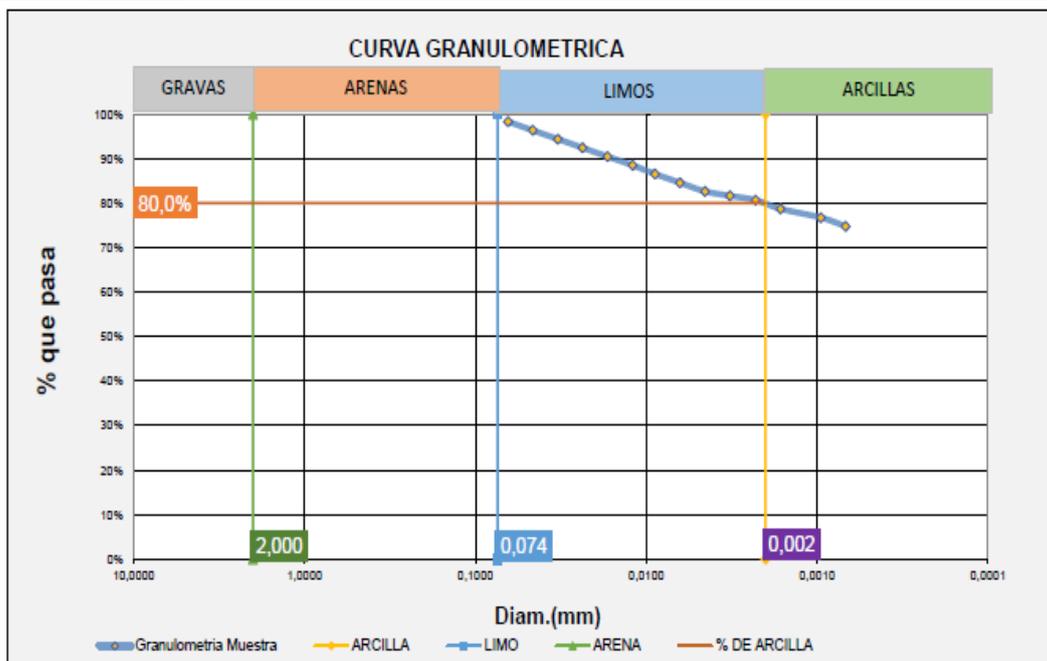
Fm= 1

Gs= 2.75

a=correccion por Gs

a= 0.98

Tiempo	Lectura Hidrometro	Temperatura	Ft= -4.85+0.25t	Rcp	% que pasa a Rcp x 100 / 50	Rcl	L Profundidad efectiva	Ac Actividad fc(t, Gs, Gw y μ)	D(mm)
0,25 min	55	28,00 °C	2,15	50,15	98,294%	56	7,10	0,0121	0,0644
0,5 min	54	28,00 °C	2,15	49,15	96,334%	55	7,30	0,0121	0,0462
1 min	53	28,00 °C	2,15	48,15	94,374%	54	7,40	0,0121	0,0329
2 min	52	28,00 °C	2,15	47,15	92,414%	53	7,60	0,0121	0,0235
4 min	51	28,00 °C	2,15	46,15	90,454%	52	7,80	0,0121	0,0169
8 min	50	28,00 °C	2,15	45,15	88,494%	51	7,90	0,0121	0,0120
15 min	49	28,00 °C	2,15	44,15	86,534%	50	8,10	0,0121	0,0089
30 min	48	28,00 °C	2,15	43,15	84,574%	49	8,30	0,0121	0,0064
60 min	47	28,00 °C	2,15	42,15	82,614%	48	8,40	0,0121	0,0045
120 min	46,5	28,00 °C	2,15	41,65	81,634%	47,5	8,60	0,0121	0,0032
240 min	46	28,00 °C	2,15	41,15	80,654%	47	8,60	0,0121	0,0023
480 min	45	28,00 °C	2,15	40,15	78,694%	46	8,80	0,0121	0,0016
1440 min	44	28,00 °C	2,15	39,15	76,734%	45	8,90	0,0121	0,0009
2880 min	43	28,00 °C	2,15	38,15	74,774%	44	9,10	0,0121	0,0007



% DE ARCILLA= 80,0%
% DE LIMO= 20,0%

% DE MATERIAL MAS FINO QUE 2 MICRAS= 80,0%

Anexo 16. Certificado granulometria – ensayo 1



- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 084 - 270342, RPC974279249, RPM: #998990111



Proyecto: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOGO -CUSCO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOGO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

Muestra: ALTERADA

Fecha: MARZO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

P.R.: HUGO CUBA BENAVENTE

J.L.: JEFFERSON CHARA HOLGUIN

SUCS	CH
Sondeo	2

PESO INICIAL= 1150,00 gr

% de perdidas= 1,53%

PESO FINAL= 1132,65 gr

% Max de Perdida= 2,00%

OK_{iii}

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E-107-200

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0,00	0,00%	100,00%
2"	50	0,00	0,00%	100,00%
1"	25	0,00	0,00%	100,00%
3/8"	18,75	0,00	0,00%	100,00%
4	4,750	0,00	0,00%	100,00%
10	2,000	0,00	0,00%	100,00%
20	0,840	0,00	0,00%	100,00%
40	0,425	0,00	0,00%	100,00%
60	0,250	0,00	0,00%	100,00%
100	0,150	0,00	0,00%	100,00%
200	0,075	163,32	14,42%	85,58%
bandeja	0,000	969,33	85,58%	0,00%
		1132,65	100,00%	



% de gruesos= 14,42%

% de finos= 85,58%

% de grava= 0,00%

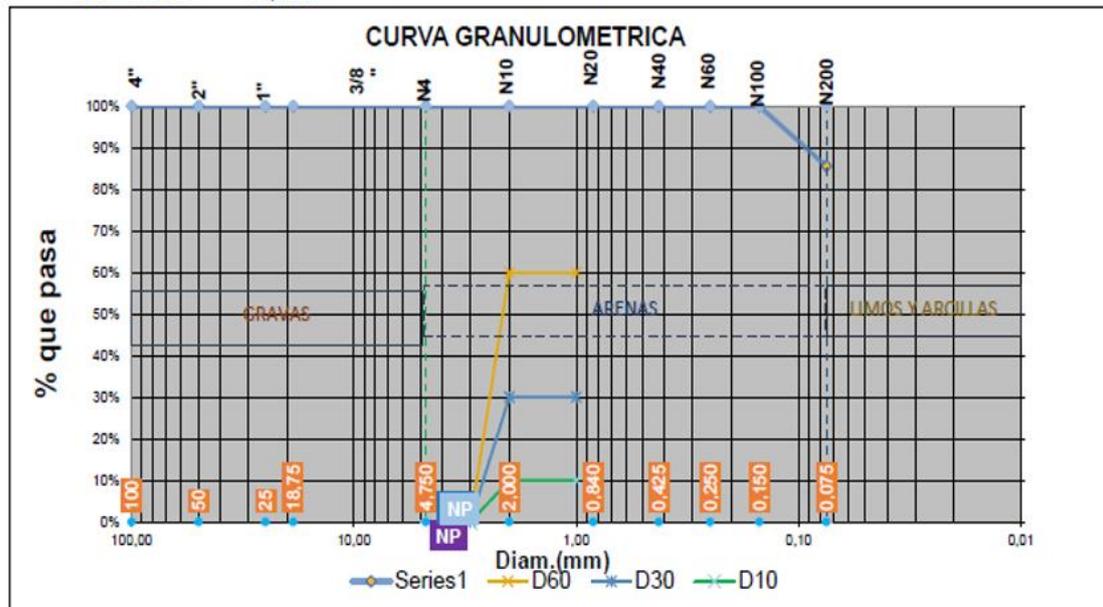
% de arena= 14,42%

% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=

% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=

0,00% (Grava)

100,00% (Arena)



D60= NP
D30= NP
D10= NP

Cu= NP
Cc= NP

Anexo 17. Certificado clasificación de suelos – ensayo 1



- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastián - Cusco, Tlf: 084-270342, RPC: 974279249, RPM: #998990111



Tesis: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOGO -CUSCO
Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOGO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

Muestra: ALTERADA

Fecha: MARZO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

P.R.: HUGO CUBA BENAVENTE

J.L.: JEFFERSON CHARA HOLGUIN

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometría

% de gruesos= 14,42%
% de finos= 85,58% Retenido en malla N 200= 14,42%
% de grava= 0,00% Retenido en malla N 4= 0,00%
% de arena= 14,42%
% de la fracción gruesa retenida en la malla N 4= 0,00% (Grava)
% de la fracción gruesa pasa la malla N 4= 100,00% (Arena)
Cu= NP
Cc= NP

De los límites de consistencia

LL= 100,97%
LP= 46,98%
IP= 53,99%

Sondeo 2

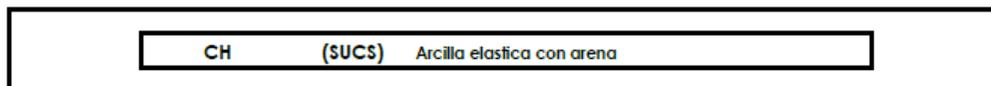
SUCS CH

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio		Clasificación de suelos		
		Símbolo de grupo	Nombre del grupo	
Suelos de partículas gruesas más del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3	GW Grava bien graduada	
		Cu < 4 y 1 > Cc ≥ 3	GP Grava mal graduada	
	Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM Grava limosa	
		IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC Grava arcillosa	
	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No. 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM Grava bien graduada con limo	
		Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC Grava bien graduada con arcilla	
		Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM Grava mal graduada con limo	
		Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC Grava mal graduada con arcilla	
		Arenas limpias Menos del 8% pasa la malla No. 200	Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3	SW Arena bien graduada
		Cu < 6 y 1 > Cc ≥ 3	SP Arena mal graduada	
Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM Arena limosa		
	IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC Arena arcillosa		
	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM Arena bien graduada con limo		
	Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC Arena bien graduada con arcilla		
	Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM Arena mal graduada con limo		
	Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC Arena mal graduada con arcilla		
Suelos de partículas finas El 50% o más pasa la malla No. 200	Limos y arcillas Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL Arcilla de baja plasticidad
			IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML Limo de baja plasticidad
	Limos y arcillas Límite Líquido mayor que 50	Orgánicos	Límite líquido - secado al horno < 0.75	OL Arcilla orgánica
			Límite líquido - no secado < 0.75	OH Limo orgánico
	Limos y arcillas Límite Líquido mayor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH Arcilla de alta plasticidad
			IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH Limo de alta plasticidad
		Orgánicos	Límite líquido - secado al horno < 0.75	OH Arcilla orgánica
			Límite líquido - no secado < 0.75	OL Limo orgánica
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro	PT	Turba	

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																	SUELOS								
GRUESOS MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200										FINOS MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200															
GRAVAS					ARENAS					LIMOS Y ARCILLAS					ORG (Turba)										
LIMPIAS		COMBINACIONES			CON FINOS			LIMPIAS		COMBINACIONES			CON FINOS			LL < 50%	LL > 50%								
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt



Anexo 18. Certificado granulometría por sedimentación – ensayo 1



Tesis: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO -CUSCO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

fecha: MARZO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

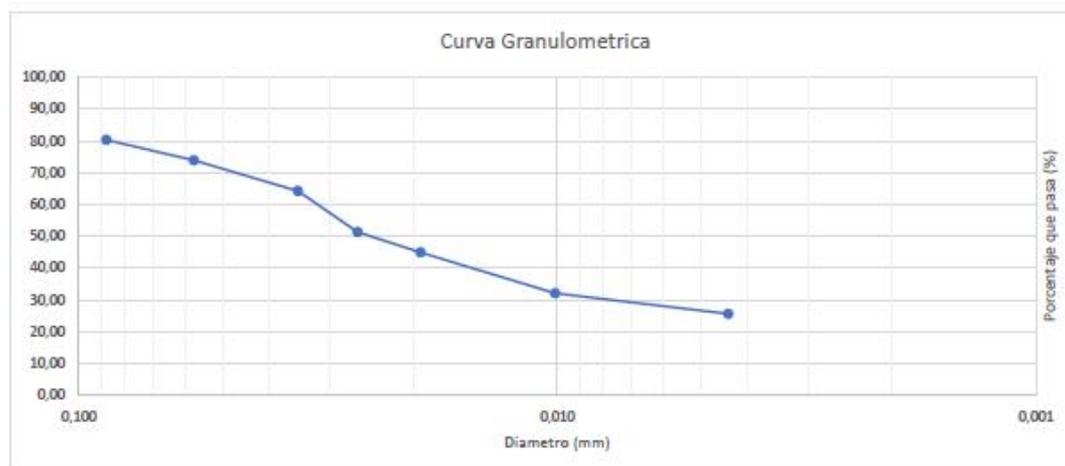
Sondeo	2
SUCS	CH

METODOS PARA ANALISIS GRANULOMETRICO	DESCRIPCION
METODO A	MAS DEL 80% PASA POR EL TAMIZ N° 200
METODO B	MENOS DEL 80% DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ N°200 Y/O SE ENCUENTRA MATERIAL SUPERIOR AL TAMIZ N°10

PARA EL PRESENTE CASO	
PASANTE DEL TAMIZ N° 200	85,58%
RETENIDO DEL TAMIZ N° 200	14,42%

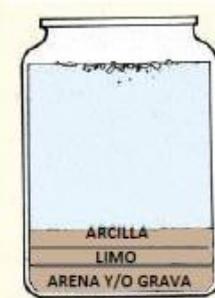
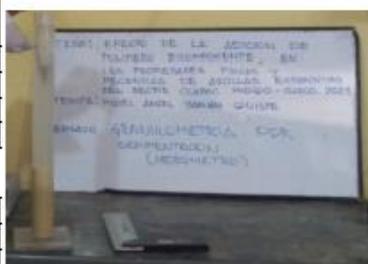
ENTONCES: **METODO A**

ENSAYO DE LABORATORIO DE GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO						
NTP 339.128 (ASTM D422)						
TIPO DE HIDROMETRO: 151H		GRAVEDAD ESPECIFICA	2,65	MASA DEL SUELO SECO (g)	50	%PASANTE
TIEMPO	LECTURA DEL HIDROMETRO	TEMPERATURA °C	PROFUNDIDAD EFECTIVA (mm) (L)	CONSTANTE (K)	DIAMETRO (mm)	
2	1,025	27	97	0,01258	0,088	80,30
5	1,023	26	102	0,01272	0,057	73,88
15	1,020	25	110	0,01286	0,035	64,24
30	1,016	24	121	0,01301	0,026	51,39
60	1,014	22	126	0,01332	0,019	44,97
250	1,010	20	137	0,01365	0,010	32,12
1440	1,008	18	142	0,01399	0,004	25,70



DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ARCILLA, LIMO Y ARENA	
ALTURA DE MUESTRA TOTAL:	16,00 cm
ALTURA DE LA ARCILLA	14,00 cm
ALTURA DEL LIMO	2,00 cm
ALTURA DE LA ARENA+GRAVA	0,00 cm

% DE ARCILLA=	87,50%
% DE LIMO=	12,50%
% DE ARENA + GRAVA=	0,00%



Anexo 19. Certificado potencial de expansión – ensayo 1



Tesis: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO - CUSCO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

fecha: MARZO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

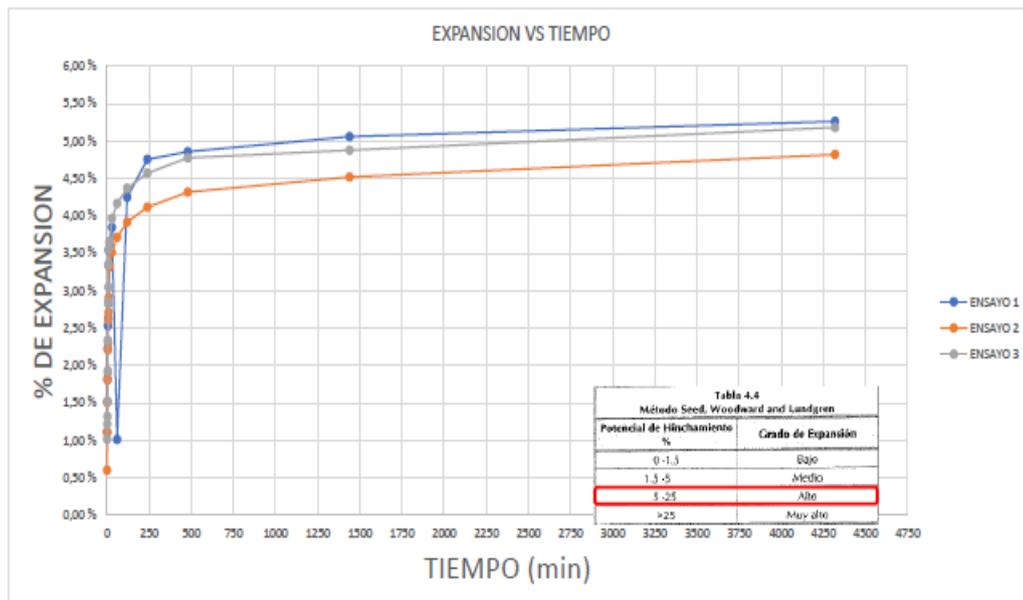
Sondeo	2
SUCS	CH

DETERMINACION DE LA EXPANSION DEL SUELO

ESTADO DE LA MUESTRA	1	2	3
DIAMETRO (cm)	5,05	5,08	5,01
AREA (cm ²)	20,03	20,27	19,71
ALTURA (cm)	2,51	2,53	2,50
VOLUMEN (cm ³)	50,27	51,28	49,28
PESO DEL ANILLO	35,66	35,66	35,66
PESO DEL ANILLO + SUELO HUMEDO	122,36	120,66	122,39
PESO DEL ANILLO + SUELO SECO	120,33	118,11	118,55
PESO EL AGUA	2,03	2,55	3,84
PESO DEL ESPECIMEN SOLIDO SECO	84,67	82,45	82,89
PESO DEL ESPECIMEN SOLIDO HUMEDO	86,70	85,00	86,73
DENSIDAD HUMEDA	1,72	1,66	1,76
DENSIDAD SECA	1,68	1,61	1,68
HUMEDAD	2,40%	3,09%	4,63%



N° DE MUESTRA	1			2			3		
	LECTURA DEL DIAL (µg)	DEFORMACION (mm)	% DE EXPANSION	LECTURA DEL DIAL (µg)	DEFORMACION (mm)	% DE EXPANSION	LECTURA DEL DIAL (µg)	DEFORMACION (mm)	% DE EXPANSION
1	0,011	0,2794	1,11 %	0,006	0,1524	0,60 %	0,010	0,254	1,02 %
2	0,015	0,381	1,52 %	0,011	0,2794	1,10 %	0,012	0,3048	1,22 %
3	0,018	0,4572	1,82 %	0,015	0,381	1,51 %	0,013	0,3302	1,32 %
4	0,022	0,5588	2,23 %	0,018	0,4572	1,81 %	0,015	0,381	1,52 %
5	0,023	0,5842	2,33 %	0,019	0,4826	1,91 %	0,019	0,4826	1,93 %
6	0,025	0,635	2,53 %	0,022	0,5588	2,21 %	0,023	0,5842	2,34 %
7	0,026	0,6604	2,63 %	0,023	0,5842	2,31 %	0,028	0,7112	2,84 %
8	0,028	0,7112	2,83 %	0,026	0,6604	2,61 %	0,030	0,762	3,05 %
9	0,033	0,8382	3,34 %	0,027	0,6858	2,71 %	0,033	0,8382	3,35 %
10	0,035	0,889	3,54 %	0,029	0,7366	2,91 %	0,035	0,889	3,56 %
15	0,036	0,9144	3,64 %	0,033	0,8382	3,31 %	0,036	0,9144	3,66 %
30	0,038	0,9652	3,85 %	0,035	0,889	3,51 %	0,039	0,9906	3,96 %
60	0,040	1,024	4,01 %	0,037	0,9398	3,71 %	0,041	1,0414	4,17 %
120	0,042	1,0668	4,25 %	0,039	0,9906	3,92 %	0,043	1,0922	4,37 %
240	0,047	1,1938	4,76 %	0,041	1,0414	4,12 %	0,045	1,143	4,57 %
480	0,048	1,2192	4,86 %	0,043	1,0922	4,32 %	0,047	1,1938	4,78 %
1440	0,050	1,27	5,06 %	0,045	1,143	4,52 %	0,048	1,2192	4,88 %
4320	0,052	1,3208	5,26 %	0,048	1,2192	4,82 %	0,051	1,2954	5,18 %



POTENCIAL DE EXPANSION MAXIMO	5,26 %
-------------------------------	--------

Anexo 20. Certificado resistencia al corte – ensayo 1



Tesis: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO -CUSCO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

Sondeo 2

fecha: MARZO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

SUCS CH

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CORTE

TIPO DE VELETA			
TAMAÑO	TIPO DE SUELO	FACTOR	DIMENSION
ESTANDAR	MIXTOS	1	2,50 cm
PEQUEÑA	RIGIDOS	2,5	2,00 cm
GRANDE	BLANDOS	0,2	4,50 cm

PARA EL PRESENTE CASO **GRANDE**

Nº	LECTURA DEL DIAL (X)	FACTOR DE LA VELETA (F)	RESISTENCIA A CORTE (kg/cm ²)
1	17	0,2	0,34 kg/cm ²
2	15	0,2	0,30 kg/cm ²
3	13	0,2	0,26 kg/cm ²
4	14	0,2	0,28 kg/cm ²
5	14	0,2	0,28 kg/cm ²
PROMEDIO=			0,29 kg/cm ²



DETERMINACION DEL TIPO DE PERFIL DEL SUELO E030

CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELOS				
PERFIL	VELOCIDAD DE PROPAGACION DE ONDA DE CORTE	SPT	RESISTENCIA AL CORTE EN CONDICIONES NO DRENADAS	
	Vs		Su (kPas)	Su (kPas)
S0	>1500 m/s	-	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa	>1.00 kg/cm ²
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 Kpa	0.5 kg/cm ² a 1.00k kg/cm ²
S3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa	0.25 kg/cm ² a 0.50 kg/cm ²
S4	CLASIFICACION BASADA EN EL EMS			

TIPO DE PERFIL DE SUELO= **S3**
SUELOS BLANDOS

Anexo 21. Certificado granulometria – ensayo 1



- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.

- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastián - Cusco, Tlf: 084 - 270342, RPC974279249, RPM: #998990111



Proyecto: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOGO -CUSCO, 2021

Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOGO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO

Muestra: ALTERADA

Fecha: MARZO, 2021

Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

P.R.: HUGO CUBA BENAVENTE

J.L.: JEFFERSON CHARA HOLGUIN

SUCS	CH
Sondeo	3

PESO INICIAL=	1150,00 gr
% de perdidas=	0,64%
PESO FINAL=	1142,69 gr
% Max de Perdida=	2,00%

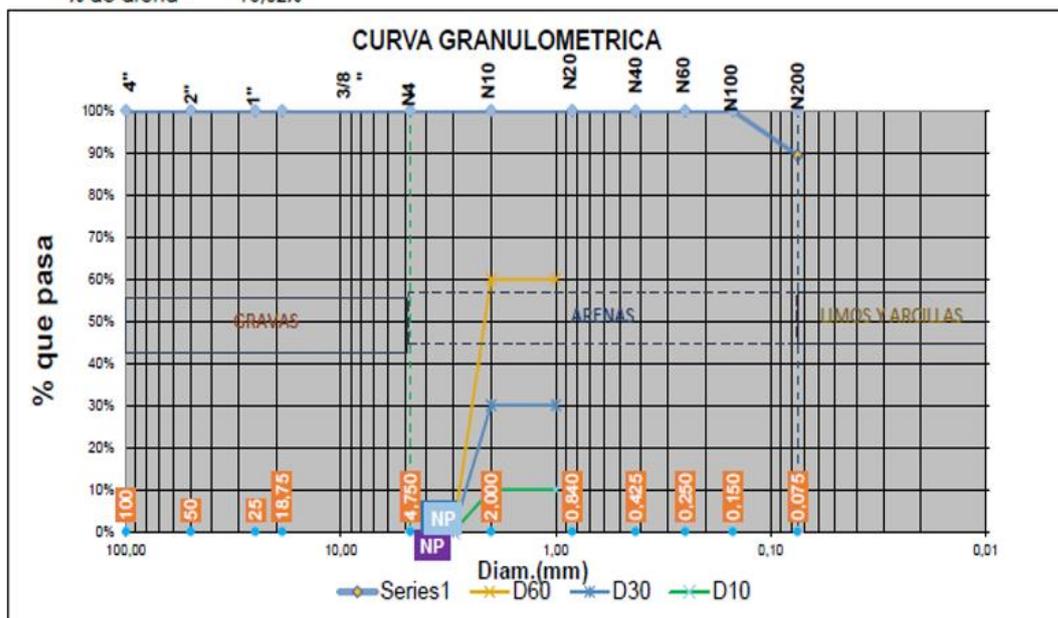
OK_{iii}

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E-107-200

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0,00	0,00%	100,00%
2"	50	0,00	0,00%	100,00%
1"	25	0,00	0,00%	100,00%
3/8"	18,75	0,00	0,00%	100,00%
4	4,750	0,00	0,00%	100,00%
10	2,000	0,00	0,00%	100,00%
20	0,840	0,00	0,00%	100,00%
40	0,425	0,00	0,00%	100,00%
60	0,250	0,00	0,00%	100,00%
100	0,150	0,00	0,00%	100,00%
200	0,075	121,36	10,62%	89,38%
bandeja	0,000	1021,33	89,38%	0,00%
		1142,69	100,00%	



% de gruesos=	10,62%	% de la fracción gruesa retenida en la malla N 4=	0,00%	(Grava)
% de finos=	89,38%	% de la fracción gruesa pasa la malla N 4=	100,00%	(Arena)
% de grava=	0,00%			
% de arena=	10,62%			



D60= NP
D30= NP
D10= NP

Cu= NP
Cc= NP

Anexo 22. Certificado sondeo de suelos – ensayo 1



- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES.
 - Urb. El Edén Lote C-3, San Sebastián - Cusco, Tlf: 084-270342, RPC: 974279249, RPM: 3998990111



Tesis: EFECTO DE LA ADICIÓN DE POLÍMERO BICOMPONENTE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL SECTOR DE CCAPAC MOQO -CUSCO, 2021
 Ubicación: SECTOR DE CCAPAC MOQO - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO
 Muestra: ALTERADA
 Fecha: MARZO, 2021
 Solicitante: BACH. MIGUEL ANGEL YANQUI QUISPE

P.R.: HUGO CUBA BENAVENTE
 J.L.: JEFFERSON CHARA HOLGUIN

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometría

% de gruesos= 10,62% Retenido en malla N 200= 10,62%
 % de finos= 89,38%
 % de grava= 0,00% Retenido en malla N 4= 0,00%
 % de arena= 10,62%
 % de la fracción gruesa retenida en la malla N 4= 0,00% (Grava)
 % de la fracción gruesa pasa la malla N 4= 100,00% (Arena)
 Cu= NP
 Cc= NP

De los límites de consistencia

LL= 103,28%
 LP= 46,87%
 IP= 56,41%

Sondeo 3

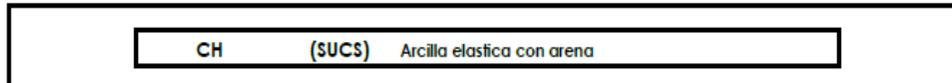
SUCS CH

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio			Clasificación de suelos	
			SÍMBOLO de grupo	Nombre del grupo
Suelos de partículas gruesas más del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3	GW	Grava bien graduada
		Cu < 4 y 1 > Cc > 3	GP	Grava mal graduada
	Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
		IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No. 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo
		Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla
	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3	SW	Arena bien graduada
		Cu < 6 y 1 > Cc > 3	SP	Arena mal graduada
	Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
		IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No. 200	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo	
	Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla	
Suelos de partículas finas El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla No. 200	Inorgánicos	Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo
		Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla
	Limos y arcillas Límite Líquido menor que 50	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad
		IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad
	Orgánicos	Límite líquido - secado al horno	OL	Arcilla orgánica
		límite líquido - no secado < 0.75	OL	Limo orgánico
	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
		IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
	Orgánicos	Límite líquido - secado al horno	OH	Arcilla orgánica
		límite líquido - no secado < 0.75	OH	Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro	PT	Turba	

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS										FINOS															
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200										MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200															
GRAVAS					ARENAS					LIMOS Y ARCILLAS								ORG (Turba)							
LIMPIAS		COMBINACIONES			CON FINOS			LIMPIAS		COMBINACIONES			CON FINOS			LL < 50%			LL > 50%						
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	PT



Anexo 23. Certificado de inspección



LABORATORIO DE METROLOGIA
CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

LABORATORIO SAC

CERTIFICADO DE INSPECCIÓN N° 335 - 2018 GLW

Página 1 de 1

FECHA DE EMISIÓN : 2021-08-29

1. SOLICITANTE : INGEOMAT E.I.R.L.

DIRECCIÓN : JR. CUSCO 539 - ABANCAY

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : CAZUELA CASAGRANDE MANUAL

MARCA : PINZUAR LTDA. PROCEDENCIA : COLOMBIANA
MODELO : PS - 11A IDENTIFICACIÓN : NO INDICA
NÚMERO DE SERIE : 242 TIPO : DIGITAL
ALCANCE DE : 0 a 999 VUELTAS UBICACIÓN : Laboratorio
DIV. DE ESCALA : 1 VUELTAS
FECHA DE INSPECCIÓN : 2018-08-27

3. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

Procedimiento de calibración Comparación directa con patrones calibrados.

4. LUGAR DE INSPECCIÓN

La inspección se realizó en el Laboratorio de INGEOMAT E.I.R.L.
JR. CUSCO 539 - ABANCAY

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura °C	22,8	22,8
Humedad Relativa %HR	56	56

6. TRAZABILIDAD

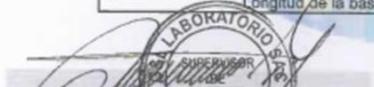
Este certificado de inspección documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

7. OBSERVACIONES

(*) Serie indicado en una etiqueta adherida al equipo.
El equipo cumple con la norma INV E125-07 / ASTM D 4318 / NTC 4630

8. RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
Peso de la copa y el soporte	207,90	g
Espesor de la copa	1,99	mm
Profundidad de la copa	28,51	mm
Altura de la base	51,23	mm
Ancho de la base	124,97	mm
Longitud de la base	151,71	mm


Téc. Gilmer Antonio Huamán Poquioma.
Responsable del Laboratorio de Metrología.
G & L LABORATORIO S.A.C.

TRAZABILIDAD: G&L LABORATORIO S.A.C. asegura y mantiene la trazabilidad de los patrones empleados en esta inspección

(*) Este certificado de inspección expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa
Los Olivos - Lima

RPC: 992 - 302 - 883
RPC: 992 - 302 - 878

SKYPE: ventas@gyllaboratorio.com
Correos: ventas@gyllaboratorio.com
servicios@gyllaboratorio.com

Horario de Atención:
Lunes a Viernes: 8:00 am a
6:00 pm
Sábados: 8:00 am a 1:00 pm

PROHIBIDO LA REPRODUCCION TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO SAC



JMR EQUIPOS SAC

Fabricación, Calibración, Servicio Preventivo y Correctivo, Asesoría y Servicio de Laboratorio, Comercialización de Equipos para Suelos, Concreto y Asfalto.

RUC 20566329728

Certificado de Calibración N° 0419002

Pág. 2 de 7

CALIBRACIÓN

1.- CERTIFICA QUE:

El instrumento de medición con el modelo y número de serie indicado líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones certificados con trazabilidad el Instituto Nacional de Calidad – INACAL.

2.- DEL SISTEMA A CALIBRAR.

HORNO		Indicación	: Digital
Marca	: PINZUAR	Marca	: AUTONICS
Modelo	: PG 190	Modelo	: TZ4ST
Serie	: 305	Punto de Operación	: 110 °C ± 5 °C
Cámara	: 100 Litros	Sensor	: Termocupla
Ventilación	: Natural	Sensibilidad	: 1 °C
Procedencia	: USA		
Identificación	: 0419002		
Ubicación	: Laboratorio de INGEOMAT E.I.R.L.		

3.- PATRONES

- Sensor de Temperatura: Marca EZDO, Mod. YC-321, N/S 151201530.
- Equipo con Certificado de Calibración N° LT-098-2018 del Laboratorio de Temperatura del Instituto Nacional de Calidad – INACAL.

4.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN.

- Fecha**: 2021-2-14
- Lugar**: Instalaciones donde se ejecuta la obra.

5.- MÉTODO DE CALIBRACIÓN.

- SNM – PC-018 2da Ed. – Procedimiento para la calibración de medios isotermos con aire como medio termostático. INDECOPI.
- ASTM D 2216, MTC E 108 – Método de ensayo para determinar el contenido de humedad del suelo.

6.- CONDICIONES AMBIENTALES.

- Temperatura Mínima**: 17.1 °C
- Temperatura Máxima**: 17.5 °C
- Humedad Relativa**: 45%

JMR EQUIPOS S.A.C.



Tco. PAUL FAVIO SOUZA PIZANGO
JEFE LABORATORIO METROLOGIA

Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 138951

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA / OFICINA CENTRAL:
ASOCIACIÓN DE VIVIENDA SAN DIEGO LAS FLORES MZ. B LT. 04 - S.M.P. - LIMA

Cel.: 989 589 974 / E-mail: ventas@jmrequipos.com, jrmventas01@gmail.com / Web: jmrequipos.com



JMR EQUIPOS SAC

Fabricación, Calibración, Servicio Preventivo y Correctivo, Asesoría y Servicio de Laboratorio, Comercialización de Equipos para Suelos, Concreto y Asfalto.

RUC 20566329728

Certificado de Calibración N° 0419002

Pág. 4 de 7

10.-

CALIBRACIÓN

Horno Pinzuar de 100 Litros, Alcance de 0 °C a 400 °C

Control de la distribución de la temperatura:

Ensayo para un valor esperado de: 110 °C ± 5 °C

Tiempo (hh:mm)	Prómetro °C	INDICACIONES CORREGIDAS DE CADA TERMOCUPLA °C										T° Prom. °C	Tmax - Tmin °C
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0:00	110,0	110,0	110,0	109,6	109,3	109,8	110,2	109,9	109,2	109,4	110,5	109,8	1,3
0:02	110,0	109,0	109,8	110,9	110,7	111,0	109,2	110,2	110,8	110,7	110,3	110,3	2,0
0:04	110,0	110,3	110,7	110,2	109,8	109,8	110,6	109,0	110,3	109,7	108,2	110,0	1,7
0:06	110,0	109,9	110,0	111,0	108,8	110,0	111,0	110,4	108,2	109,7	109,7	110,1	1,6
0:08	110,0	110,3	109,4	109,1	109,3	109,2	109,0	110,5	109,4	109,9	109,4	109,5	1,5
0:10	110,0	110,4	109,1	110,1	110,1	110,8	109,5	110,3	111,0	109,0	109,6	110,0	2,0
0:12	110,0	109,8	110,2	109,7	110,3	110,0	109,5	110,3	109,3	110,7	108,1	109,9	1,8
0:14	110,0	109,3	110,4	109,3	109,7	109,5	110,4	111,0	109,0	109,4	111,0	109,9	2,0
0:16	110,0	110,1	110,5	109,3	110,6	110,2	109,2	108,1	110,6	109,2	110,2	109,9	1,5
0:18	110,0	110,2	110,7	110,9	109,7	109,9	110,3	110,4	111,0	109,5	110,4	110,3	1,5
0:20	110,0	109,3	110,3	110,3	110,9	109,5	109,7	110,0	109,6	109,0	109,9	109,9	1,9
0:22	110,0	110,7	110,5	109,4	110,3	109,8	110,2	109,1	110,7	110,9	110,3	110,2	1,8
0:24	110,0	110,0	110,8	110,8	110,1	110,8	109,2	109,0	109,8	109,4	110,5	110,1	1,6
0:26	110,0	109,5	109,5	110,4	109,3	110,7	109,8	109,3	110,5	109,9	110,1	109,6	1,6
0:28	110,0	109,2	109,5	110,4	109,6	110,4	110,0	110,5	109,4	109,1	109,9	109,8	1,4
0:30	110,0	110,0	110,0	109,2	109,7	110,6	109,4	110,3	109,8	110,0	109,1	109,8	1,5
0:32	110,0	110,7	109,8	109,3	109,6	110,8	109,4	110,7	109,4	109,2	109,7	109,8	1,6
0:34	110,0	109,8	110,5	110,0	110,7	110,3	109,4	109,5	109,6	110,6	109,8	110,0	1,3
0:36	110,0	110,4	109,6	110,3	110,3	109,3	111,0	109,5	109,0	109,3	110,4	109,9	2,0
0:38	110,0	109,8	110,6	110,8	110,8	109,2	109,9	109,2	110,0	110,8	109,1	110,0	1,7
0:40	110,0	110,9	110,7	110,4	110,4	109,8	110,8	109,3	110,2	110,4	111,0	110,4	1,7
0:42	110,0	108,1	110,3	110,1	109,9	110,5	110,3	109,4	110,7	110,9	110,4	110,1	1,8
0:44	110,0	109,3	109,7	109,6	109,6	109,1	109,2	110,8	110,7	109,2	110,2	109,7	1,7
0:46	110,0	109,8	109,3	109,6	110,7	110,7	109,8	109,6	110,2	109,3	110,6	109,9	1,8
0:48	110,0	110,1	109,1	109,9	109,9	109,1	109,3	110,2	109,9	109,7	109,7	109,7	1,1
0:50	110,0	110,8	110,3	110,2	110,6	109,3	110,6	109,7	109,5	109,5	109,7	110,0	1,5
T. PROM	110,0	110,1	110,6	111,3	109,0	110,6	111,2	111,3	112,4	111,2	112,2	110,0	
T. MAX	110,0	110,9	110,8	111,0	110,9	111,0	111,8	111,0	111,9	110,9	111,9		
T. MIN	110,0	109,0	109,1	109,1	108,3	109,1	109,0	109,0	109,0	109,0	109,1		

Nomenclatura

- T. Prom. Promedio de indicaciones corregidas de los termopares para un instante de tiempo.
- Tmax - Tmin Diferencia entre máxima y mínima temperatura para un instante de tiempo.
- T. PROM Promedio de indicaciones corregidas para a cada termocupla durante el tiempo total.
- T. MAX La Máxima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.
- T. MIN La Mínima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.

JMR EQUIPOS S.A.C.

Tca. PAUL FAVID SOUZA
JEFE LABORATORIO 1



Ing. Hugo Luis Arellano Camacho
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 139551

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628. BREÑA - LIMA / OFICINA CENTRAL:
ASOCIACIÓN DE VIVIENDA SAN DIEGO LAS FLORES MZ. B LT. 04 - S.M.P. - LIMA
Cel.: 989 589 974 / E-mail: ventas@jmrequipos.com, jmventas01@gmail.com / Web: jmrequipos.com



JMR EQUIPOS SAC

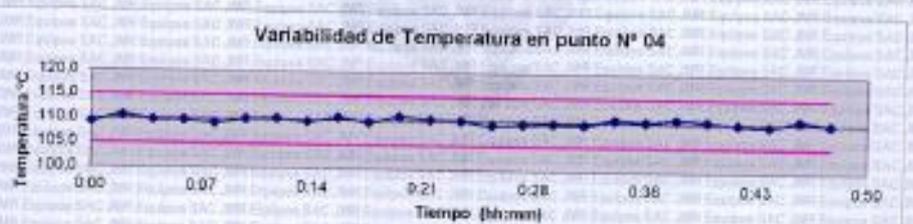
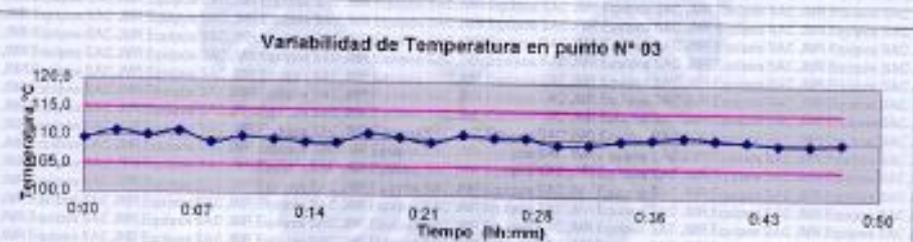
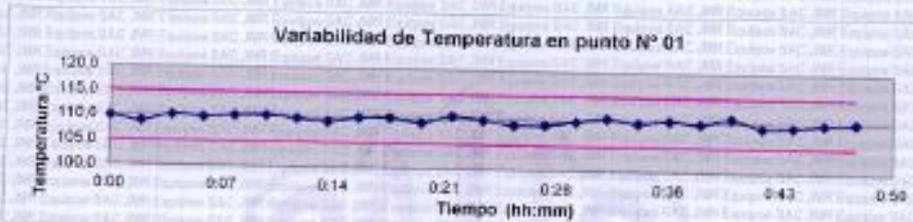
Fabricación, Calibración, Servicio Preventivo y Correctivo, Asesoría y Servicio de Laboratorio, Comercialización de Equipos para Suelos, Concreto y Asfalto.

RUC 20566329728

Certificado de Calibración N° 0419002

Pag. 5 de 7

GRÁFICOS DE VARIABILIDAD DE TEMPERATURA PARA 110 °C



JMR EQUIPOS S.A.C.
Tco. PAUL FAVIO SOUZA PIZANCO
JEFE LABORATORIO METROLOGIA

ING. LUIS ANIBALO CAMACHO
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 138351

DIRECCIÓN FISCAL: CAL JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA / OFICINA CENTRAL
ASOCIACIÓN DE VIVIENDA SAN DIEGO LAS FLORES MZ. B LT. 04 - S.M.P. - LIMA
Cel.: 999 599 974 / E-mail: ventas@jmrequipos.com, jmrvventas01@gmail.com / Web: jmrequipos.com



JMR EQUIPOS SAC

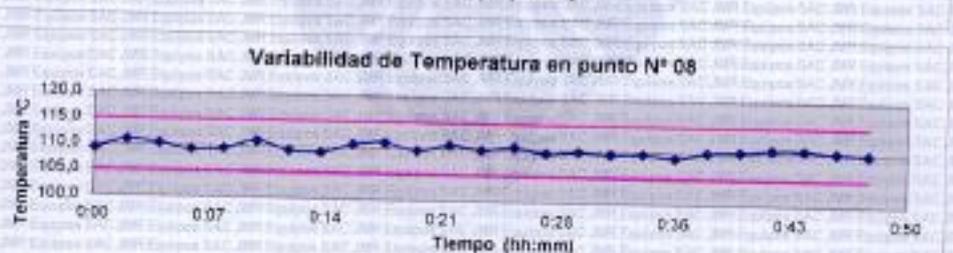
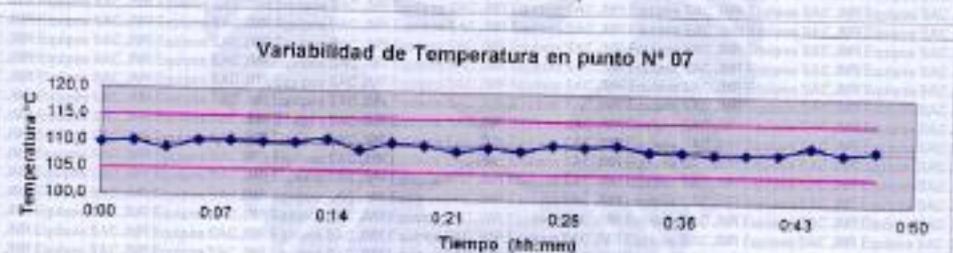
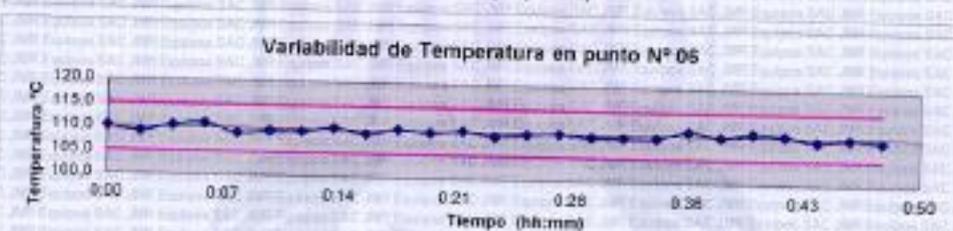
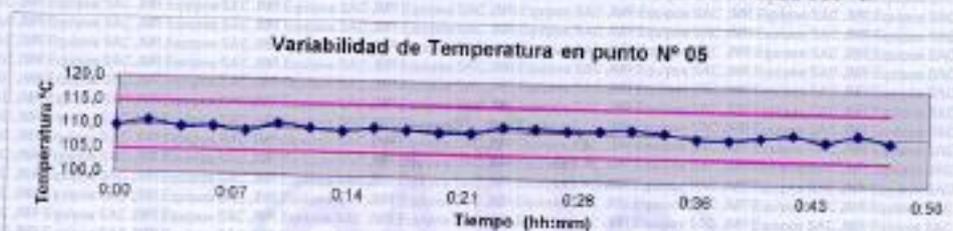
Fabricación, Calibración, Servicio Preventivo y Correctivo, Asesoría y Servicio de Laboratorio, Comercialización de Equipos para Suelos, Concreto y Asfalto.

RUC 20566329728

Certificado de Calibración N° 0419002

Pág. 6 de 7

GRÁFICOS DE VARIABILIDAD DE TEMPERATURA PARA 110 °C



JMR EQUIPOS S.A.C.

Tco. PAUL FAVID SOUZA PIZAMCO
CPE LABORATORIO VITROSOMIA



Ing. Hugo Luis Arévalo Gamiz
INGENIERO CIVIL
C.P. N° 124961

DIRECCIÓN FISCAL: CAL JANGAS N° 628, BREÑA - LIMA / OFICINA CENTRAL:
ASOCIACIÓN DE VIVIENDA SAN DIEGO LAS FLORES MZ. B LT. 04 - S.M.P. - LIMA
Cel.: 989 589 974 / E-mail: ventas@jmrequipos.com, jmrventas01@gmail.com / Web: jmrequipos.com



JMR EQUIPOS SAC

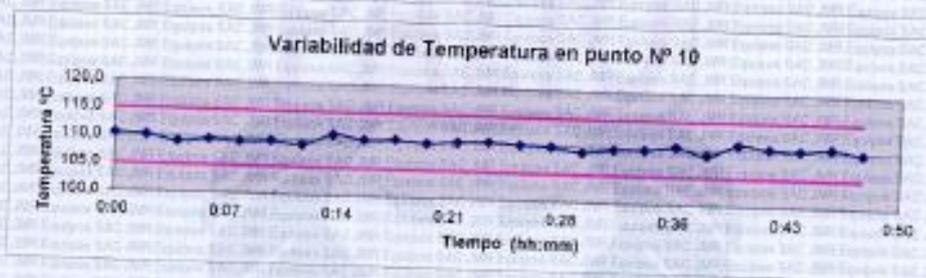
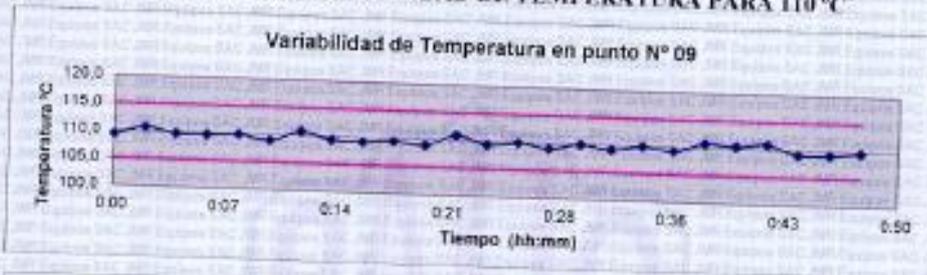
Fabricación, Calibración, Servicio Preventivo y Correctivo, Asesoría y Servicio de Laboratorio, Comercialización de Equipos para Suelos, Concreto y Asfalto.

RUC 20566329728

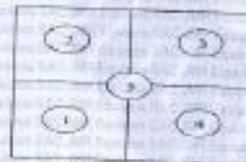
Certificado de Calibración N° 0419002

Pág. 7 de 7

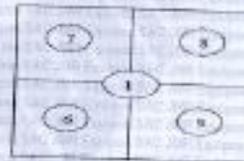
GRÁFICOS DE VARIABILIDAD DE TEMPERATURA PARA 110 °C



DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL ESPACIO PARA 110 °C



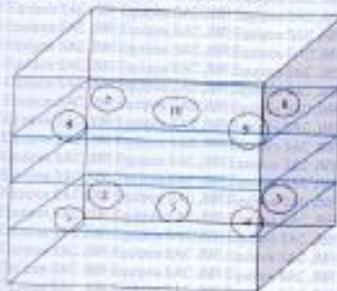
Nivel Superior



Nivel Inferior

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA

PANEL FRONTAL DEL EQUIPO



JMR EQUIPOS S.A.C.

Tra. PAUL PAVIC SOUZA PIZANGO
LABORATORIO METROLOGIA



Ing. Hugo Luis Alvarez Camero
INGENIERO CIVIL
CIP N° 138554

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA - LIMA / OFICINA CENTRAL:
ASOCIACIÓN DE VIVIENDA SAN DIEGO LAS FLORES MZ. B LT. 04 - S.M.P. - LIMA
Cel.: 999 589 974 / E-mail: ventas@jmrequipos.com, jmrventas01@gmail.com / Web: jmrequipos.com

Anexo 25. Certificado de calibración



LABORATORIO DE METROLOGÍA
CALIDAD Y RESPONSABILIDAD ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

LABORATORIO SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 257-2099 GLM

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN : 2021-08-27

1. SOLICITANTE : INGEOMAT E.I.R.L

DIRECCIÓN : MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN – CUSCO – SAN SEBASTIAN

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA

MARCA : HENKEL

MODELO : NO PRESENTA

NÚMERO DE SERIE : KG013871

ALCANCE DE INDICACIÓN : 1000 g

DIVISIÓN DE ESCALA / RESOLUCIÓN : 0.01 g

DIVISIÓN DE VERIFICACIÓN (e) : 0.1 g

PROCEDENCIA : NO PRESENTA

IDENTIFICACIÓN : NO PRESENTA

TIPO : ELECTRÓNICA

UBICACIÓN : LABORATORIO

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2019-08-07

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II; PC - 011 del SNM-INDECOPI, EDICIÓN 4° - ABRIL, 2010.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

LAB. DE INGEOMAT E.I.R.L
MZA. C LOTE. 3 APV EL EDEN – CUSCO – SAN SEBASTIAN

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

G & L LABORATORIO S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.




Gilmer Antonio Huamani Poguima
Responsable del Laboratorio de Metrología



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa
Los Olivos - Lima

FIJO: (01) 622-5814
RPC: 992-302-883
RPC: 962-227-858

Correos: ventas@gyllaboratorio.com
ventas.gyllaboratorio@gmail.com
servicios@gyllaboratorio.com
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com

Horario de Atención:
Lunes a Viernes: 8:00 am a
6:00 pm
Sábados: 8:00 am a 1:00 pm



5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	15.7 °C	15.7 °C
Humedad Relativa	33 %	33 %

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de DM - INACAL	Pesas (exactitud F1)	LM - 415 - 2018 LM - 416 - 2018

7. OBSERVACIONES

Para 1000 g la balanza indicó 1000.04 g. Se ajustó y se procedió a su calibración. Los errores máximos permitidos (emp) para esta balanza corresponden a los emp para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metrológica Peruana 004 - 2010. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático. Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	NO TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición Nº	Carga L1= l(g)	500.00 g		Carga L2= l(g)	1,000.00 g	
		Δ L (mg)	E (mg)		Δ L (mg)	E (mg)
1	500.00	4	1	1,000.01	4	11
2	500.00	4	1	1,000.01	4	11
3	500.00	5	0	1,000.01	5	10
4	500.01	5	10	1,000.01	5	10
5	500.01	5	10	1,000.01	5	10
6	500.00	6	-1	1,000.01	4	11
7	500.00	4	1	1,000.01	4	11
8	500.00	4	1	1,000.01	5	10
9	500.01	5	10	1,000.01	6	9
10	500.01	4	11	1,000.01	4	11
Diferencia Máxima		12				2
Error máximo permitido ±		100 mg		±		200 mg



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa
Los Olivos - Lima

FIJO: (01) 622-5814
RPC: 992-302-883
RPC: 962-227-858

Correos: ventas@gyllaboratorio.com
ventas.gyllaboratorio@gmail.com
servicios@gyllaboratorio.com
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com

Horario de Atención:
Lunes a Viernes: 8:00 am a
6:00 pm
Sábados: 8:00 am a 1:00 pm



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E ₀				Determinación del Error corregido				
	Carga Mínima*(g)	l(g)	Δ L (mg)	E ₀ (mg)	Carga L (g)	l(g)	Δ L (mg)	E (mg)	Ec (mg)
1	1.00	1.00	5	0	700.00	700.00	4	1	1
2		1.00	4	1		700.00	5	0	-1
3		1.00	4	1		700.00	5	0	-1
4		1.00	5	0		700.00	4	1	1
5		1.00	5	0		700.00	5	0	0

Temp. (°C) Inicial: 15.7 Final: 15.7

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido : ± 200 mg

ENSAYO DE PESAJE

Carga L(g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				emp(**) ±(mg)
	l(g)	Δ L (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l(g)	Δ L (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
1.00	1.00	4	1						100
2.00	2.00	5	0	-1	2.00	5	0	-1	100
5.00	5.00	4	1	0	5.00	4	1	0	100
10.00	10.00	4	1	0	10.00	4	1	0	100
50.00	50.00	5	0	-1	50.00	5	0	-1	100
75.00	75.00	4	1	0	75.00	4	1	0	100
100.00	100.01	4	11	10	100.01	4	11	10	100
200.00	200.01	4	11	10	200.01	4	11	10	100
500.00	500.01	4	11	10	500.01	4	11	10	100
800.00	800.01	5	10	9	800.01	5	10	9	200
1,000.00	1,000.01	4	11	10	1,000.01	4	11	10	200

Temp. (°C) Inicial: 15.7 Final: 15.7

(**) error máximo permitido

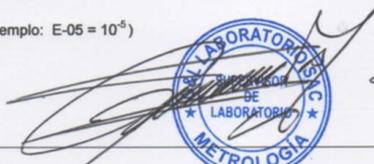
Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 1,055E-08 \times R$$

$$U_R = 2 \sqrt{4,249E-08 \text{ g}^2 + 001E-12 \times R^2}$$

R : Lectura de la balanza ΔL: Carga Incrementada E: Error encontrado E₀: Error en cero E_c: Error corregido

Número de tipo Científico E-xx = 10^{-xx} (Ejemplo: E-05 = 10⁻⁵)



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa
Los Olivos - Lima

FIJO: (01) 622-5814
RPC: 992-302-883
RPC: 962-227-858

Correos: ventas@gyllaboratorio.com
ventas.gyllaboratorio@gmail.com
servicios@gyllaboratorio.com
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com

Horario de Atención:
Lunes a Viernes: 8:00 am a 6:00 pm
Sábados: 8:00 am a 1:00 pm

Anexo 06. PANEL FOTOGRÁFICO

GALERIA 1: EXTRACCIÓN DE MUESTRA DEL SECTOR CCAPAC MOQO – CUSCO

Fotografía A1: SECTOR CCAPAC MOQO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía A2: ARCILLA EXPANSIVA DEL SECTOR



Fuente: Elaboración propia

Fotografía A3: ZONA DE EXTRACCION DE MUESTRA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía A4: HERRAMIENTAS UTILIZADAS



Fuente: Elaboración propia

Fotografía A5: ZONA DE EXTRACCION



Fuente: Elaboración propia

Fotografía A6: PROCEDIMIENTO DE EXTRACCION



Fuente: Elaboración propia

Fotografía A7: EXTRACCION CON LA PICOTA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía A8: EXTRACCION CON PALA DE MANO



Fuente: Elaboración propia

GALERIA 2: GRANULOMETRIA POR SEDIMENTACIÓN - HIDRÓMETRO

Fotografía B1: MUESTRA EXTRAIDA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía B2: MUESTRA PREPARADA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía B3: MUESTRA PARA DISGREGADO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía B4: DISGREGADO DE LA MUESTRA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía B5: TAMIZADO DE MUESTRA DISGREGADA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía B6: COLOCACION EN EL HORNO ASTM



Fuente: Elaboración propia

Fotografía B7: COLOCACION DE LA MUESTRA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía B8: COLOCACION DEL AGENTE DISPERSIVO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía B9: AGITACION DEL CILINDRO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía B10: COLOCACION DEL HIDROMETRO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía B11: ANOTACION DE LA LECTURA



Fuente: Elaboración propia

GALERIA 3: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

Fotografía C1: MEZCLA CON POLIMERO SOLIDO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C2: MEZCLA CON POLIMERO LIQUIDO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C3: MEZCLA CON POLIMERO SOLIDO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C4: ACANALADO (LIMITE LIQUIDO)



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C5: CONTEO DE GOLPES



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C6: ENCAPSULADO DE LA MUESTRA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C7: PESADO ANTES DEL SECADO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C8: EXTRACCION DEL HORNO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C9: ACANALADO MUESTRA 17



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C10: MUESTRA ACANALADA 18



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C11: EXTRACCION DE ESPECIMEN



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C12: MUESTRA PARA SECADO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C13: ESPÉCIMEN PARA SECADO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C14: MUESTRA 23 CON POLIMERO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía C15: M 23,24,25 CON POLIMERO



Fuente: Elaboración propia

GALERIA 4: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

Fotografía D1: AMASADO DEL ESPÉCIMEN



Fuente: Elaboración propia

Fotografía D3: CILINDROS EN LAS CAPSULAS



Fuente: Elaboración propia

Fotografía D5: TOMA DE CILINDROS



Fuente: Elaboración propia

Fotografía D7: CILINDROS EN EL HORNO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía D2: GENERACION DE CILINDROS



Fuente: Elaboración propia

Fotografía D4: CILINDROS EN EL VIDRIO ESMERILADO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía D6: CILINDROS PARA SECADO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía D8: PESADO DESPUES DEL SECADO



Fuente: Elaboración propia

GALERIA 5: SECADO DE MUESTRAS

Fotografía F1: SECADO DE MUESTRAS



Fuente: Elaboración propia

Fotografía F2: MUESTRAS EN EL HORNO ASTM



Fuente: Elaboración propia

Fotografía F3: CAPSULAS CON MUESTRAS SECAS



Fuente: Elaboración propia

Fotografía F4: REDUCCION VOLUMETRICA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía F5: REDUCCION VOLUMETRICA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía F6: EXTRACCION DE MUESTRAS



Fuente: Elaboración propia

Fotografía F7: MUESTRA ANTES DEL SECADO



Fuente: Elaboración propia

GALERIA 6: ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN

Fotografía G6: COLOCACION EN ANILLOS



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G7: ENSAYO DE EXPANSION 4-5



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G8: ENSAYO DE EXPANSION 6-7



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G9: COLOCACION EN ANILLOS 8-9



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G10: COLOCACION EN ANILLOS 10-11



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G11: COLOCACION DEL DISPOSITIVO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G12: ANOTACION DEL ENSAYO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G13: COLOCACION DE AGUA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G14: ENSAYO 19-20-21-22



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G15: ENSAYO 22-23-24



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G16: PESADO DE MUESTRA 1



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G17: PESADO DE MUESTRA 2



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G18: PESADO DE MUESTRA 3



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G19: PESADO DE MUESTRA 4



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G20: PESADO DE MUESTRA 5



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G21: PESADO DE MUESTRA 6



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G22: PESADO DE MUESTRA 7



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G24: PESADO DE MUESTRA 9



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G26: PESADO DE MUESTRA 11



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G28: PESADO DE MUESTRA 13



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G23: PESADO DE MUESTRA 8



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G25: PESADO DE MUESTRA 10



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G27: PESADO DE MUESTRA 12



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G29: PESADO DE MUESTRA 14



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G30: PESADO DE MUESTRA 15



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G32: PESADO DE MUESTRA 17



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G34: PESADO DE MUESTRA 19



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G36: PESADO DE MUESTRA 21



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G31: PESADO DE MUESTRA 16



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G33: PESADO DE MUESTRA 18



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G35: PESADO DE MUESTRA 20



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G37: PESADO DE MUESTRA 22



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G38: PESADO DE MUESTRA 23



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G39: PESADO DE MUESTRA 24



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G40: PESADO DE MUESTRA 25



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G41: COLOCACION DE MUESTRA EN EL HORNO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G42: PREPARACION DE MUESTRA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G43: DOSIFICACION DE POLIMERO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G44: REMEZCLADO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G45: PREPARACION DEL ANILLO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G46: INSERCIÓN EN EL ANILLO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G47: COMPACTACIÓN EN EL ANILLO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G48: ANILLO CON LA MUESTRA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G49: TAPADO DEL ANILLO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G50: COLOCAION EN EL DISPOSITIVO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G51: AJUSTE DEL DIAL



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G52: DISPENSACION DE AGUA



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G53: LECTURA DEL DIAL



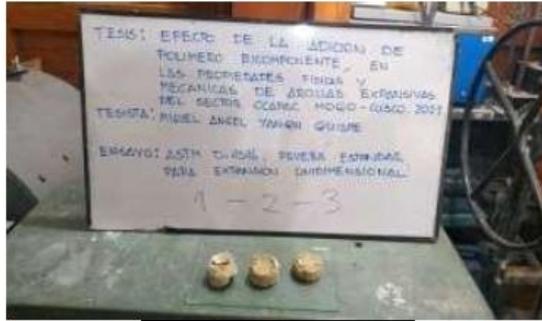
Fuente: Elaboración propia

Fotografía G54: MUESTRAS DESPUES DEL ENSAYO DE EXPANSION



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 55: ROTULADO DE MUESTRAS



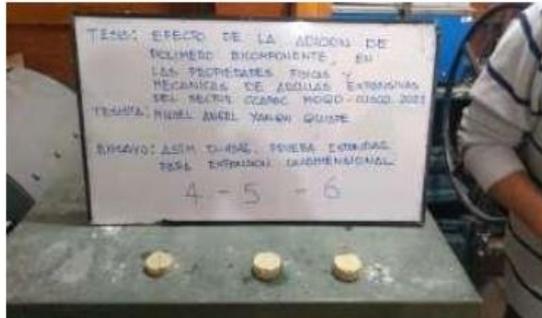
Fuente: Elaboración propia

Fotografía G56: MUESTRAS ENSAYADAS 1-2-3



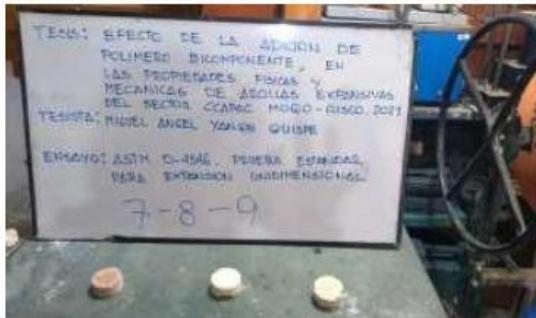
Fuente: Elaboración propia

Fotografía G57: MUESTRAS ENSAYADAS 4-5-6



Fuente: Elaboración propia

Fotografía G58: MUESTRAS ENSAYADAS 4-8-9



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 59: MUESTRAS ENSAYADAS 10-11-12



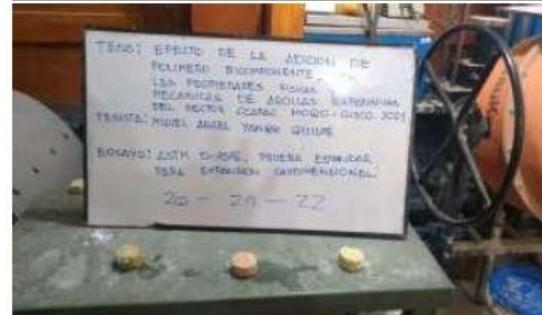
Fuente: Elaboración propia

Fotografía 60: MUESTRAS ENSAYADAS 17-18-19



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 61: MUESTRAS ENSAYADAS 20-21-22



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 62: MUESTRAS ENSAYADAS 23-24-25



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 63: MUESTRA ENSAYADA 03



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 64: MUESTRA ENSAYADA SIN POLIMERO



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 65: MUESTRA ENSAYADA 02



Fuente: Elaboración propia

GALERIA 7: ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.

Fotografía H1: ENSAYO 1 CAPSULA A20



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 2 CAPSULA A3



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 3 CAPSULA K1



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 4 CAPSULA R4



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 5-6 CAPSULA D1-A7



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 13-14 CAPSULA A16 - W2



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 7-8 CAPSULA W1-Q3



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 15-16 CAPSULA H6 - L1



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 9-10 CAPSULA P2-14



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 17-18 CAPSULA P3-A1



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 11-12 CAPSULA PQ7 - Q1



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 19-20 CAPSULA A12-R1



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 21-22 CAPSULA A19-A6



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 23-24 CAPSULA A5-L2



Fuente: Elaboración propia

Fotografía H6: ENSAYO 25 CAPSULA A8



Fuente: Elaboración propia