

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN
DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y
PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS,
HUANTA, AYACUCHO.**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

ASESOR

MSc. CÉSAR AUGUSTO ATALA ABAD

LIMA- PERÚ

2023

© 2023, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Aguilar Sulca, Edson Paúl

Eaguilars@uni.pe

929181232

DEDICATORIA

A Dios;

A mi madre por su infinita comprensión;

A mi padre y hermanos por su constante apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al MSc. César Augusto Atala Abad por haberme brindado su valiosa ayuda en la elaboración del presente trabajo de investigación. Al MSc. Héctor Espinoza Ccente, por brindarme las facilidades para realizar la investigación.

Asimismo, agradecer a las personas que laboran en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería por compartir su conocimiento en la realización de los ensayos para sacar adelante el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	7
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE SIMBOLOGÍAS Y SIGLAS.....	14
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	17
1.1. ANTECEDENTES.....	17
1.1.1. Antecedentes Internacionales	17
1.1.2. Antecedentes Nacionales.....	17
1.1.3. Antecedentes Locales	18
1.2. PROBLEMÁTICA.....	18
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	20
1.5. OBJETIVOS.....	20
1.5.1. Objetivo General	20
1.5.2. Objetivos Específicos.....	21
1.6. HIPÓTESIS.....	21
1.6.1. Hipótesis Principal.....	21
1.6.2. Hipótesis Específicas	21
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	22
2.1. BASES TEÓRICAS.....	22
2.1.1. Suelos.....	22
2.1.2. Tipos de fallas.....	22
2.1.2.1. Falla por corte general	22
2.1.2.2. Falla por punzonamiento.....	23
2.1.2.3. Falla por corte local.....	23
2.1.3. Tipos de cimentaciones	24
2.1.4. Cimentaciones superficiales.....	25
2.1.5. Zapatas rigidizadas con vigas de equilibrio.....	25
2.1.6. Distribución de esfuerzos	28
2.1.7. Ángulo de fricción.....	31

2.1.8. Cohesión.....	31
2.1.9. Resistencia cortante en los suelos.....	31
2.1.10. Capacidad portante de suelos.....	32
2.1.11. Factor de seguridad	32
2.1.12. Ecuación general de la capacidad de carga.....	33
2.1.13. Asentamientos	34
2.1.14. Residuos de concreto	41
2.1.15. Composición del concreto demolido y pulverizado.....	47
2.1.16. Estabilización de suelos	49
2.1.17. Estabilización de suelos por adiciones.....	49
CAPÍTULO III: TRABAJO DE CAMPO	51
3.1. CASO DE ESTUDIO	51
3.2. UBICACIÓN DEL MUESTREO	52
3.3. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.....	54
3.3.1. Obtención de las muestras de concreto demolido, triturado y pulverizado	54
3.3.2. Obtención del suelo cohesivo	55
CAPÍTULO IV: ENSAYOS DE LABORATORIO.....	59
4.1. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA	61
4.1.1. Análisis Granulométrico	61
4.1.1.1. Definición.....	61
4.1.1.2. Normativa	61
4.1.1.3. Finalidad	61
4.1.1.4. Instrumentos y equipos.....	61
4.1.1.5. Procedimiento.....	62
4.1.1.6. Cálculos.....	66
4.1.2. Límites de Atterberg.....	67
4.1.2.1. Definición.....	67
4.1.2.2. Normativa	69
4.1.2.3. Finalidad	69
4.1.2.4. Instrumentos y equipos.....	69
4.1.2.5. Procedimiento.....	70
4.1.2.6. Cálculos.....	72

4.1.3. Clasificación SUCS	73
4.1.4. Contenido de Humedad Natural	75
4.1.4.1. Definición	75
4.1.4.2. Normativa	75
4.1.4.3. Finalidad	75
4.1.4.4. Instrumentos y equipos.....	75
4.1.4.5. Procedimiento.....	75
4.2. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA	76
4.2.1. Ensayo peso volumétrico	76
4.2.1.1. Definición	76
4.2.1.2. Normativa	77
4.2.1.3. Finalidad	77
4.2.1.4. Instrumentos y equipos.....	77
4.2.1.5. Procedimiento.....	77
4.2.2. Ensayo Proctor Modificado	79
4.2.2.1. Definición	79
4.2.2.2. Normativa	79
4.2.2.3. Finalidad	79
4.2.2.4. Instrumentos y equipos.....	80
4.2.2.5. Procedimiento.....	80
4.2.3. Ensayo compresión triaxial no consolidado no drenado (U.U.)	83
4.2.3.1. Definición	83
4.2.3.2. Normativa	83
4.2.3.3. Finalidad	83
4.2.3.4. Instrumentos y equipos.....	83
4.2.3.5. Procedimiento.....	85
4.2.4. Ensayo consolidación unidimensional.....	89
4.2.4.1. Definición	89
4.2.4.2. Normativa	89
4.2.4.3. Finalidad	89
4.2.4.4. Instrumentos y equipos.....	89
4.2.4.5. Procedimiento.....	90

4.2.5. Ensayo expansión controlada	92
4.2.5.1. Definición	92
4.2.5.2. Normativa	92
4.2.5.3. Finalidad	92
4.2.5.4. Instrumentos y equipos.....	92
4.2.5.5. Procedimiento.....	93
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS	95
5.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA	95
5.1.1. Análisis Granulométrico	95
5.1.2. Límites de Atterberg.....	95
5.1.3. Clasificación SUCS	98
5.1.4. Contenido de Humedad	98
5.2. RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA	99
5.2.1. Peso volumétrico.....	99
5.2.2. Proctor modificado	99
5.2.3. Compresión triaxial	101
5.2.4. Consolidación unidimensional.....	102
5.2.5. Expansión controlada.....	106
5.2.6. Ensayos Químicos	112
5.3. CAPACIDAD ADMISIBLE Y ASENTAMIENTOS	115
5.3.1. Capacidad admisible.....	115
5.3.2. Asentamientos	122
5.3.3. Cimentaciones en áreas de suelos expansivos.....	127
5.3.4. Profundidad de reemplazo	127
5.4. VIABILIDAD ECONÓMICA Y DISPONIBILIDAD DE RCDTP	131
5.4.1. Viabilidad Económica.....	131
5.4.2. Disponibilidad de los RCD.....	134
5.5. SECUENCIA PROCESO CONSTRUCTIVO.....	135
CONCLUSIONES	139
RECOMENDACIONES.....	142
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143
ANEXOS.....	146

RESUMEN

La presente investigación fue elaborada teniendo en cuenta los problemas que presentan los pobladores cuando construyen sus viviendas en el Centro Poblado de Aicas perteneciente al distrito de Luricocha, provincia de Huanta del departamento de Ayacucho. Dentro del área de estudio se puede ver la presencia de suelos arcillosos de baja calidad que entran en contacto con las cimentaciones. Asimismo, mencionar que debido al cambio de humedad según sea la estación del año, el suelo cambia de comportamiento haciendo que las estructuras resulten fisuradas.

Por otro lado, según datos estimados, en la ciudad de Huanta se generan diariamente 76 toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) y que actualmente son arrojados en las vías, en botaderos no autorizados generando una contaminación del suelo, agua, tierra, flora y fauna. Los residuos de concreto son parte de los RCD, que puede contener compuestos de cemento residuales y agregados capaces de contribuir a la estabilización química y mecánica del suelo. En este contexto, en el presente trabajo, se propone una solución sustentable en el destino de estos residuos de concreto mediante la reutilización para la estabilización de los suelos de fundación. Para tal fin, mediante un proceso de molienda se obtuvo el residuo de concreto demolido triturado y pulverizado (RCDTP), del cual se usó el material pasante la malla 3/8". Se realizaron los ensayos de granulometría, peso volumétrico, límites de Atterberg, compactación, triaxial no consolidado no drenado para poder determinar la capacidad portante admisible variando los porcentajes de concreto demolido, triturado y pulverizado en 0 %, 20 %, 40 % y 60%, con relación a la masa total de la mezcla en seco. Asimismo, de manera adicional se realizaron los ensayos de consolidación unidimensional y expansión controlada para observar el comportamiento del suelo natural y el suelo combinado con RCDTP.

Los resultados muestran que el suelo del área de estudio es una arcilla de baja plasticidad (CL), clasificándose como una arcilla dura no saturada. Con el incremento del RCDTP hubo una disminución en los siguientes parámetros: límite líquido, índice plástico. El óptimo contenido de humedad también disminuyó en todos los casos con respecto al suelo sin combinar. Asimismo, se observó que a medida que aumentaba la concentración de RCDTP aumentaban los siguientes parámetros: máxima densidad seca y el ángulo de fricción. En cuanto a la

cohesión el comportamiento fue al inverso. En la capacidad portante admisible se observó también que ésta aumentaba a medida que aumentaba la concentración de RCDTP. Para una concentración de 60% de RCDTP la capacidad portante se incrementó en 128 % con respecto al suelo natural para las condiciones de fundación asumidas.

El ensayo de consolidación unidimensional nos muestra que el asentamiento por consolidación no es relevante en este tipo de suelo ya que se trata de una arcilla dura no saturada, por otro lado, en el ensayo de expansión controlada se muestra que el suelo es una arcilla expansiva con un porcentaje de expansión libre de 5.13 % y una carga para controlar la expansión de 1.731 kg/cm^2 , razón por la cual daña a las edificaciones de la zona. Con la adición de RCDTP a una concentración de 40 % se logra reducir en 21 veces el porcentaje de expansión, logrando estabilizar el suelo. Finalmente, para disminuir los efectos expansivos de la arcilla se recomienda el uso de elementos estructurales apropiados y flexibles como vigas de cimentación de modo que la edificación se adapte a los movimientos generados por los efectos de expansión.

ABSTRACT

The present investigation was elaborated considering the problems that the inhabitants present when they build their houses in the Aicas Population Center belonging to the district of Luricocha, province of Huanta of the department of Ayacucho. Within the study area, the presence of low-quality clay soils that come into contact with the foundations can be seen. Also, mention that due to the change in humidity depending on the season of the year, the soil changes its behavior, causing the structures to crack.

On the other hand, according to estimated data, in the city of Huanta, 76 tons of construction and demolition waste (C&D) are generated daily and are currently dumped on the roads, in unauthorized dumps, generating contamination of the soil, water, land, flora and fauna. Concrete residues are part of CDW, which may contain residual cement compounds and aggregates capable of contributing to the chemical and mechanical stabilization of the soil. In this context, in the present work, a sustainable solution is proposed in the destination of these concrete residues through reuse for the stabilization of foundation soils. For this purpose, through a grinding process, the crushed and pulverized demolished concrete residue (RCDTP) was obtained, of which the 3/8" mesh material was used. Particle size, volumetric weight, Atterberg limits, compaction, unconsolidated undrained triaxial tests were carried out in order to determine the allowable bearing capacity by varying the percentages of demolished, crushed and pulverized concrete in 0%, 20%, 40% and 60%. , relative to the total mass of the dry mixture. Likewise, in addition, the one-dimensional consolidation and controlled expansion tests were carried out to observe the behavior of the natural soil and the soil combined with RCDTP.

The results show that the soil in the study area is a clay with low plasticity (LC), classifying it as a hard-unsaturated clay. With the increase of the RCDTP there was a decrease in the following parameters: liquid limit, plastic index. The optimum moisture content also decreased in all cases with respect to the uncombined soil. Likewise, it was observed that as the concentration of RCDTP increased, the following parameters increased: maximum dry density and the angle of friction. Regarding cohesion, the behavior was the opposite. In the admissible bearing capacity, it was also observed that this increased as the concentration of RCDTP

increased. For a concentration of 60% of RCDTP, the bearing capacity increased by 128% with respect to the natural soil for the assumed foundation conditions.

The one-dimensional consolidation test shows us that consolidation settlement is not relevant in this type of soil since it is a hard-unsaturated clay, on the other hand, in the controlled expansion test it shows that the soil is an expansive clay with a free expansion percentage of 5.13% and a load to control the expansion of 1.731 kg/cm^2 , which is why it damages the buildings in the area. With the addition of RCDTP at a concentration of 40%, the percentage of expansion is reduced by 21 times, managing to stabilize the soil. Finally, to reduce the expansive effects of clay, the use of appropriate and flexible structural elements such as foundation beams is recommended so that the building adapts to the movements generated by the effects of expansion.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Factores de capacidad de carga, forma, profundidad.....	34
Tabla 2.2. Métodos de cálculo de asentamientos.....	35
Tabla 2.3. Tabla factor de Fox.....	38
Tabla 2.4. Constantes elásticas a escala de laboratorio para suelos	39
Tabla 2.5. Desechos producidos anualmente en Europa, Estados Unidos y Japón	41
Tabla 2.6. Población en millones en Europa, Estados Unidos y Japón	42
Tabla 2.7. Ficha técnica PEW Trituradora de Mandíbula de Tipo Europeo	47
Tabla 2.8. Ficha técnica chancadora cónica serie HP	47
Tabla 2.9. Porcentajes en peso de los principales componentes del cemento ...	48
Tabla 2.10. Análisis de fluorescencia rayos X (XRF) de agregados reciclados ..	48
Tabla 3.1 Ubicación de las muestras.....	58
Tabla 4.1. Juego de tamices estándar.....	62
Tabla 4.2. Masa mínima requerida por espécimen ensayo granulometría.	63
Tabla 4.3. Simbología clasificación SUCS	73
Tabla 4. 4. Determinación método proctor modificado	80
Tabla 4.5. Especificaciones de los métodos del ensayo proctor modificado	81
Tabla 5.1. Límites de Atterber y composición granulométrica del suelo natural. 95	
Tabla 5.2. Límites de Atterber y composición granulométrica del suelo natural. 95	
Tabla 5.3. Clasificación granulométrica.....	98
Tabla 5.4. Máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad del ensayo Proctor modificado.	100
Tabla 5.5. Máxima densidad seca al 95%.....	101
Tabla 5.6. Ángulo de Fricción y Cohesión.....	102
Tabla 5.7. Resumen resultados del ensayo consolidación unidimensional.	103
Tabla 5.8. Índices de recompresión, consolidación y expansión.	104
Tabla 5.9. Resumen de resultados del ensayo consolidación unidimensional en suelos de diferentes lugares del país.	105
Tabla 5.10. Resumen resultados del ensayo expansión controlada.....	107
Tabla 5. 11. Clasificación de suelos expansivos	110
Tabla 5. 12. Resultados ensayos químicos.....	113
Tabla 5. 13. Elementos químicos nocivos para la cimentación.....	113
Tabla 5.14. Requisitos para proteger al hormigón contra los daños provocados por ataques por sulfatos provenientes de fuentes externas.	114

Tabla 5.15. Metrado de cargas por columna zona 1 de 3 pisos.	116
Tabla 5.16. Metrado de cargas por columna zona 2 de 3 pisos.	117
Tabla 5.17. Cargas transmitidas a la zapata central para 1, 2 y 3 pisos.....	118
Tabla 5.18. Capacidad de carga última y admisible para $D_f = 1.00$ m.....	119
Tabla 5.19. Capacidad portante admisible para $D_f = 1.25$ m, $B=L= 1.00$ m.	119
Tabla 5.20. Capacidad portante admisible para $D_f = 1.50$ m, $B=L= 1.00$ m.	120
Tabla 5.21. Verificación de σ_{es} y q_{adm} variando el N° pisos y ancho zapata para $D_f=1.0$ m para el suelo natural.	121
Tabla 5.22. Verificación de σ_{es} y q_{adm} variando el N° pisos y ancho zapata para $D_f=1.25$ m.	121
Tabla 5.23. Verificación de σ_{es} y q_{adm} variando el N° pisos y ancho zapata para $D_f=1.5$ m	122
Tabla 5.24 Profundidades comunes de la zona activa en algunas ciudades de Estados Unidos.	128
Tabla 5. 25. Variación de la expansión libre con la profundidad.....	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Modo de falla general por corte	23
Figura 2.2. Modo de falla por punzonamiento	23
Figura 2.3. Modo de falla por corte local	24
Figura 2.4. Esfuerzos en un sistema aporcado con zapatas aisladas	26
Figura 2.5. Distribución esfuerzos generados en zapata excéntrica.....	26
Figura 2.6 Asentamiento diferencial en zapata excéntrica y concéntrica	27
Figura 2.7. Viga de equilibrio.....	27
Figura 2.8. Distribución de esfuerzos debajo de zapata excéntrica con viga de equilibrio.....	28
Figura 2.9. Distribución de esfuerzos bajo una superficie rectangular uniformemente cargada	28
Figura 2.10. Líneas isobáricas de esfuerzo vertical en una cimentación cuadrada.	30
Figura 2.11. Mecanismo de los fenómenos de fricción.....	31
Figura 2.12. Asentamiento inmediato o elástico	36
Figura 2.13. Asentamiento inmediato en una cimentación flexible y rígida.....	36
Figura 2.14. Ábaco para encontrar el valor del factor de Fox	38
Figura 2.15. Asentamiento por consolidación primaria de un estrato de arcilla ..	40
Figura 2.16. Esquema de distribución de planta de procesamiento de RCD.....	44
Figura 2.17. Equipos de trituración de residuos de concreto	45
Figura 2.18. Chancadora tipo quijada.....	45
Figura 2.19. Trituradora cónica	46
Figura 2.20. Chancadora vertical de impacto	46
Figura 2. 21. Presión vs penetración suelo y mezclas suelo con RCD-C fino. ...	50
Figura 3.1. Grieta en pared de ladrillo con columnas de amarre de concreto.....	51
Figura 3.2. Grieta en vivienda de paredes de bloques de cemento y arcilla	51
Figura 3.3. Grieta en vivienda con paredes de ladrillo confinada lateralmente con columna de concreto	52
Figura 3.4. Grieta en vivienda con paredes de bloques de cemento confinada mediante columnas de concreto.....	52
Figura 3.5. Ubicación de la zona de estudio.....	53
Figura 3.6. Vista aérea de la zona de estudio	54
Figura 3.7. Botadero de escombros cerca zona estudio.....	55
Figura 3.8. RCD vertidos al borde de la vía.....	55

Figura 3.9. Color y textura zona de estudio	56
Figura 3.10. C-1 extracción de muestra de suelo	56
Figura 3.11. C-2 realizada y extracción de muestra de suelo	57
Figura 3.12. C-3 extracción de muestra de suelo	57
Figura 3.13. Ubicación calicata y cortes de terreno en el lugar de estudio	58
Figura 4.1. Secuencia para obtención del RCDTP	60
Figura 4.2. Muestra para realizar el ensayo de abrasión del concreto	61
Figura 4.3. Cuarteo de la muestra de suelo	63
Figura 4.4. Disgregación de los terrones de arcilla.....	64
Figura 4.5. Lavado a través del tamiz N°200.....	65
Figura 4.6. Análisis granulométrico del RCDTP	66
Figura 4.7. Granulometría por sedimentación	67
Figura 4.8. Carta de plasticidad.....	69
Figura 4.9. Muestra de suelo para ensayo límite líquido	70
Figura 4.10. Rollitos del ensayo límite plástico.....	72
Figura 4.11. Diagrama de fluidez	72
Figura 4.12. Carta de plasticidad empleado en la clasificación SUCS	73
Figura 4.13. Muestra húmeda del suelo natural para determinar del contenido de humedad.	76
Figura 4.14. Espécimen para peso volumétrico.....	77
Figura 4.15. Parafinado del espécimen.....	78
Figura 4.16. Registro del peso aparente de la muestra parafinada	79
Figura 4.17. Ejecución proctor modificado	82
Figura 4.18. Mezcla de suelo natural al 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP.....	82
Figura 4.19. Dosificación del suelo y RCDTP para ensayo triaxial.....	84
Figura 4.20. Equipo de compresión triaxial usado en el ensayo.....	84
Figura 4.21. Instrumentos usados en ensayo triaxial	85
Figura 4.22. Especímenes preparados para ensayo triaxial de suelo natural, 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP.....	86
Figura 4.23. Marco de carga con consolidómetros.....	90
Figura 4.24. Componentes del consolidómetro	90
Figura 4.25. Especímenes remoldeados ensayo de expansion controlada.	93
Figura 4.26. Secado de los especímenes	94
Figura 5.1 Curva granulométrica suelo y combinación % RCDTP.....	97

Figura 5.2 Clasificación de cambio de potencial de volumen.	98
Figura 5.3. Abaco descripción del suelo según el densidad.	99
Figura 5.4. Curva máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad suelo y combinación % RCDTP.	100
Figura 5.5. Especímenes después del ensayo triaxial para diferentes concentraciones de RCDTP.	102
Figura 5.6. Curva de consolidacion para suelo natural y 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP.	104
Figura 5.7. Curva de consolidacion para diferentes tipos de suelo del país.	106
Figura 5.8. Curva de expansión del suelo natural.	108
Figura 5.9. Curva de expansión del suelo con 20 % de RCDTP.	108
Figura 5.10. Curva de expansión del suelo con 40 % de RCDTP.	109
Figura 5.11. Curva de expansión del suelo con 60 % de RCDTP.	109
Figura 5. 12. Curvas de expansión para el suelo natural, y estabilizado con 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP.	110
Figura 5.13. Zonas de cargas máximas según distribución arquitectónica.	115
Figura 5.14. Cálculo de asentamientos en zapata.	123
Figura 5.15. Estrato de análisis asentamiento por consolidación.	124
Figura 5.16. Presión de preconsolidación método Casagrande.	126
Figura 5.17. Definición zona activa.	128
Figura 5.18 Gráfica variación de la expansión libre con la profundidad y variación de la expansión total con la profundidad.	130
Figura 5.19. Sistema de trituración de RCD móvil.	131
Figura 5.20. Minicargador modelo 246D-CAT.	132
Figura 5.21. Esquema del terreno de construcción.	135
Figura 5.22. Desbroce y excavación con retroexcavadora.	135
Figura 5.23. Colocado de suelo estabilizado en las zapatas.	136
Figura 5.24. Vaciado de concreto en vigas de cimentación y zapatas.	136
Figura 5.25. Vaciado de sobrecimiento para tabiquería.	137
Figura 5.26. Relleno con material estabilizado.	137
Figura 5.27. Colocación de suelo estabilizado con RCDTP en fondo de falso piso.	138
Figura 5.28. Vaciado de falso piso de concreto.	138

LISTA DE SIMBOLOGÍAS Y SIGLAS

%	: Porcentaje
A	: Área
N°	: Número
m	: Metro
cm	: Centímetro
mm	: Milímetro
m^2	: Metro cuadrado
m^3	: Metro cúbico
g	: Gramo
kg	: Kilogramo
l	: Litro
ml	: Mililitro
$\frac{kg}{cm^2}$: Kilogramo por centímetro cuadrado
$\frac{g}{cm^3}$: Gramo por centímetro cúbico
N	: Newton
kN	: Kilonewton
SUCS	: Sistema unificado de clasificación de suelos
q	: Capacidad de carga (kg/cm^2)
q_u	: Capacidad de carga última (kg/cm^2)
$q_{u(1)}$: Capacidad de primera falla (kg/cm^2)
q_{adm}	: Capacidad portante admisible (kg/cm^2)
CBR	: Relación de Soporte de California
c	: Cohesión del suelo (kg/cm^2)
FS	: Factor de seguridad
ϕ	: Ángulo de fricción del suelo (°)
σ	: Esfuerzo normal (kg/cm^2)
s	: Esfuerzo cortante (kg/cm^2)
τ_{max}	: Esfuerzo cortante máximo (kg/cm^2)
μ_n	: Presión neutral del agua (kg/cm^2)
w	: Contenido de humedad (%)
w_n	: Contenido de humedad natural (%)
N_c, N_q, N_γ	: Factores de capacidad de carga, que están en función de ϕ
s_c, s_q, s_γ	: Factores de forma

- d_c, d_q, d_γ : Factores de profundidad
- γ_1 : Peso específico del suelo (g/cm^3) por encima de la cimentación
- γ_2 : Peso específico del suelo (g/cm^3) por debajo de la cimentación
- q : Esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación (kg/cm^2)
- D_f : Profundidad de cimentación (m)
- C_c : Índice de compresión
- C_r : Índice de recompresión
- $\Delta\sigma'_t$: Incremento presión efectiva arriba del estrato de arcilla ocasionado por la construcción de la cimentación (kg/cm^2)
- $\Delta\sigma'_m$: Incremento presión efectiva en el medio del estrato de arcilla ocasionado por la construcción de la cimentación (kg/cm^2)
- $\Delta\sigma'_b$: Incremento presión efectiva en el fondo del estrato de arcilla ocasionado por la construcción de la cimentación (kg/cm^2)
- $\Delta\sigma'_{prom}$: Incremento promedio de la presión efectiva en el estrato de arcilla ocasionado por la construcción de la cimentación (kg/cm^2)
- OCR : Relación de sobreconsolidación
- σ'_c : Presión de preconsolidación (kg/cm^2)
- σ'_0 : Presión efectiva promedio presente (kg/cm^2)
- S_T : Asentamiento total en un punto dado (cm)
- S_e : Asentamiento elástico (cm)
- S_c : Asentamiento por consolidación primaria (cm)
- S_c : Asentamiento por consolidación secundaria (cm)
- RCD : Residuo de concreto demolido
- m.s.n.m. : Metros sobre el nivel del mar
- ASTM : Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
- DS : Diámetro de la malla superior
- DI : Diámetro de la malla inferior
- PS : Porcentaje que pasa por la malla superior
- PI : Porcentaje que pasa por la malla inferior
- L.P. : Límite plástico
- L.C. : Límite de contracción
- I.P. : Índice plástico
- C_u : Coeficiente de uniformidad
- C_c : Coeficiente de curvatura

- CL : Arcilla de baja plasticidad
C-1 : Corte terreno 1
C-2 : Calicata de suelo 2
C-3 : Corte terreno 3
 γ_m : Peso volumétrico de masa
M : Masa
V : Volumen
 ε : Deformación Axial
 σ_1 : Esfuerzo principal mayor
 σ_3 : Esfuerzo principal menor
 σ_d : Esfuerzo desviador máximo
 ΔS_F : Expansión superficial libre
Z : Profundidad de la zona activa
 $s_{w(libre)}$: Expansión libre, como un porcentaje

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Antecedentes Internacionales

Ochoa Averos (2019), en el trabajo de investigación titulado ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA ESTABILIZACIÓN DE UNA SUBRASANTE LIMO ARCILLOSA CON RCD-CONCRETO FINO (PARTÍCULAS < 2 MM) PARA APLICACION EN PAVIMENTOS donde el objetivo principal fue mejorar la capacidad portante de la subrasante, se llegó a las siguientes conclusiones: La clasificación SUCS del suelo analizado es limo-arcilloso con 80% de finos, IP 19, con un CBR de 1.78% y una expansión de 1.23%. Los porcentajes de material reciclado ensayados fueron de 20 %, 40 % y 60 %. En todos los casos hubo una disminución de la plasticidad hasta tener una plasticidad nula con 60 % de material reciclado. En cuanto a la densidad ésta fue aumentando gradualmente desde 1.58 g/cm³ para el suelo natural, a 1.75 g/cm³ para un suelo con 60 % de material reciclado. El CBR incrementó a 12%, 21% y 32 % para el 20%, 40% y 60% de material reciclado respectivamente.

Paul & Cyrus (2016), investigaron sobre la estabilización con residuos de concreto a una matriz de suelo caolinítica. En este caso se usó residuos de concreto triturado menores a 20 mm, en proporciones de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 %. En base a los resultados, se concluyó que, para el tipo de suelo estudiado, 40 % fue el óptimo contenido de material reciclado que se usó para la estabilización, donde la máxima densidad seca aumentó de 1.24 g/cm³ a 1.46 g/cm³, el CBR pasó de 3.4% al 11.2% logrando reducir el espesor del pavimento diseñado en 25 cm.

1.1.2. Antecedentes Nacionales

Espinoza C. (2021), en el trabajo de investigación titulado "REDUCCIÓN DE LA PELIGROSIDAD DEL SUELO BLANDO POR ADICIÓN DE CÁSCARA DE ARROZ-APLICACIÓN URBANIZACIÓN SUDAMÉRICA, TALARA-PIURA", donde el objetivo principal fue reducir la peligrosidad del suelo por baja capacidad portante utilizando cenizas de cáscara de arroz en porcentajes de 10, 15 y 20 %, se llegó a las siguientes conclusiones: los ángulos de fricción se incrementaron hasta un 15% de aditivo, la cohesión efectiva disminuyó según aumentaba el porcentaje de ceniza. La capacidad admisible según Terzaghi y Peck con los parámetros de Vesic, se incrementan adicionando diferentes porcentajes de

ceniza de cáscara de arroz, mejorando la capacidad admisible de $1.601 \frac{kg}{cm^2}$ para el suelo natural a 1.627 y $1.640 \frac{kg}{cm^2}$, para 10 y 15 % de aditivo respectivamente, llegando al óptimo de $1.655 \frac{kg}{cm^2}$ para 13.9% de aditivo, es decir hubo un incremento máximo de un 5.089% de la capacidad admisible.

Contreras Quezada & Herrera Lázaro (2015), en el trabajo de investigación titulado “MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUBBASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE-ANCASH”, donde el objetivo principal fue mejorar el agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructuras de pavimentos, se llegó a las siguientes conclusiones: el mejoramiento por combinación de agregados naturales y reciclados presenta resultados óptimos para una proporción de 50%-50% siendo aptas para conformar base y sub-base granular en la estructura de un pavimento, las propiedades físicas y mecánicas del agregado reciclado como abrasión, equivalente de arena, sales solubles totales dependerán de la calidad de mortero de concreto de origen, del tipo de agregado natural utilizado así como las condiciones de humedad, salitre a las que se pueda encontrar el vertedero final. La energía de compactación juega un papel importante en el comportamiento mecánico del agregado reciclado, la presencia de cemento no hidratado logra incrementar la resistencia del material, evidenciándose en altos valores de CBR.

1.1.3. Antecedentes Locales

1.2. PROBLEMÁTICA

El crecimiento poblacional ha hecho que las poblaciones busquen nuevos espacios donde asentarse, siendo éstos muchas veces lugares donde no se proyectó como alternativa a la expansión urbana o donde no se tiene ningún tipo de estudio geotécnico de la zona. Muchas veces podrían tratarse de terrenos de mala calidad que podrían causar severos daños a las estructuras emplazadas tal como se puede observar en el Centro Poblado de Aicas, Distrito de Luricocha, provincia de Huanta, Departamento de Ayacucho.

En dicho centro poblado, se puede notar como las viviendas construidas son dañadas por la mala calidad del suelo, las grietas ocasionadas llegan al orden de

los centímetros de donde se puede intuir que existe un problema en la interacción entre el suelo y la cimentación.

Por otro lado, encontramos a los residuos que la industria de la construcción genera como restos de concreto, materiales pétreos, morteros, varillas, ladrillos, cerámicos, vidrio, asfalto, yeso, madera, metales y diversos tipos de plásticos. Siendo estos generados en cifras de millones de toneladas y almacenados en botaderos no autorizados o arrojados de forma ilegal en vertederos clandestinos, cauces de los ríos, en el mar, a lo largo de caminos vecinales, convirtiéndose en un pasivo ambiental que genera efectos negativos como el deterioro del paisaje, la contaminación del aire, la contaminación de fuentes de agua, la contaminación de suelos aledaños en contacto con este tipo de residuos. Estos residuos mencionados no son ajenos al centro poblado en estudio, es así que cerca al área de estudio existe un botadero que recibe toneladas de residuos de construcción, o son arrojados a lo largo de las vías de acceso.

Frente lo expuesto anteriormente, surge la pregunta: ¿Es posible estabilizar el suelo cohesivo mediante la adición de residuo de concreto demolido, triturado y pulverizado en el centro poblado Aicas, Huanta, Ayacucho?

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los suelos cohesivos generalmente poseen baja capacidad portante, muchos de ellos son expansivos al entrar en contacto con el agua o se consolidan frente a cargas considerables y hacen que no sean aptos como suelo de fundación para las edificaciones.

En el centro poblado de Aicas, perteneciente a la provincia de Huanta, se puede observar como las viviendas realizadas por los pobladores son afectadas por la baja calidad del suelo cohesivo, haciendo que estas viviendas resulten fisuradas, frente a este problema surge la necesidad de estabilizar y mejorar las características mecánicas utilizando residuos de concreto demolido triturado y pulverizado.

En la misma zona de estudio, se encuentran los residuos de construcción y demolición que son arrojados a lo largo de la vía de acceso, botaderos no autorizados, etc., que generan un pasivo ambiental y que se pretende usar para

estabilizar el suelo cohesivo de baja calidad para las cimentaciones en el centro poblado en mención.

1.4. JUSTIFICACIÓN

En obras de edificaciones civiles el suelo de fundación es donde se apoyan todas las obras construidas por el hombre. La capacidad portante es una característica que depende de varios factores, entre ellos el tipo de suelo. Si el suelo es de baja calidad, el suelo necesita ser estabilizado.

Desde el punto de vista técnico, la estabilización de suelos es un método que se viene utilizando en suelos de baja calidad combinado con diferentes materiales como cemento, cal, ceniza de cáscara de arroz, escoria de cobre, etc., sin embargo realizarlos con residuos de concreto demolido, triturado y pulverizado que es obtenido a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD) y que podemos encontrar en el medio en grandes cantidades desarrollaría nuevas formas de estabilizar los suelos de fundación. Todo esto aplicado a la problemática que se vive en el Centro Poblado de Aicas, donde se observa que las viviendas con fisuras que llegan al orden de los varios centímetros.

Desde el punto de vista económico se justifica la investigación porque se pretende estabilizar el suelo a costos que resulten competitivos con otros métodos de estabilización que existen en el mercado. Finalmente, desde el punto de vista ambiental, ya que los residuos de construcción y demolición que se encuentran contaminando suelos, ríos, fuentes de agua, flora y fauna, mediante la reutilización puede reducir los impactos negativos ambientales y a su vez estabilizar el suelo para un propósito ingenieril.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

- Estabilizar el suelo cohesivo por adición de 20%, 40% y 60% de residuo de concreto demolido, triturado y pulverizado con la finalidad de mejorar la capacidad portante en el centro poblado Aicas, Huanta, Ayacucho.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la capacidad portante del suelo cohesivo por adición de 20%, 40% y 60% de residuo de concreto demolido, triturado y pulverizado en el centro poblado Aicas, Huanta, Ayacucho.
- Determinar la viabilidad económica de la estabilización del suelo cohesivo con residuos de concreto demolido, triturado y pulverizado que mejora la capacidad portante en el centro poblado Aicas, Huanta, Ayacucho.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis Principal

- Es posible estabilizar el suelo cohesivo por adición de 20, 40 y 60% de residuo de concreto demolido y pulverizado en el centro poblado Aicas, Huanta, Ayacucho.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- El suelo mejorado por adición de residuo de concreto demolido triturado y pulverizado posee una mejor capacidad portante a medida que aumenta la concentración del residuo en el centro poblado Aicas, Huanta, Ayacucho.
- El suelo mejorado por adición de residuo de concreto demolido, triturado y pulverizado es económicamente viable para poder mejorar la capacidad portante del suelo cohesivo en el centro poblado Aicas, Huanta, Ayacucho.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. BASES TEÓRICAS

2.1.1. Suelos

La palabra suelo representa todo tipo de material terroso, que puede ser desde un relleno de desperdicios, areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas dentro de la definición las rocas sanas, ígneas, o metamórfica y los depósitos sedimentarios altamente cementados que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie. El agua contenida juega un papel tan importante en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005).

Los suelos son separados de acuerdo al tamaño predominante de sus partículas, pudiendo ser gruesos o finos. Dentro de los suelos gruesos encontramos a las gravas y arenas y de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos las gravas tienen un tamaño de grano entre los 76.2 – 4.75 mm y las arenas entre 4.75 – 0.075 mm. Dentro de los finos encontramos a los limos y las arcillas. Las arcillas se definen en base al tamaño de sus partículas en este caso menores de 0.002 mm pudiendo o no contener necesariamente minerales de arcilla. Las arcillas están conformadas en su mayoría por partículas en forma de láminas microscópicas y submicroscópicas de mica, minerales de arcilla y otros minerales. (Das B. M., 2018). Asimismo, según (Grim, 1953), define a las arcillas como aquellas partículas que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua.

2.1.2. Tipos de fallas

Dependiendo como produzca el tipo de falla se tendrán 3 modos de falla por corte: modo de falla general, modo de falla local y modo de falla por punzonamiento.

2.1.2.1. Falla por corte general

Se tiene una cimentación corrida de ancho B la cual es soportada por un suelo denso o cohesivo firme, si la carga que soporta dicho suelo es aplicada incrementándola de forma gradual, habrá un aumento en el asentamiento llegando al punto en el cual la carga por unidad de área es igual a la capacidad de carga última (q_u), ocurrirá entonces una falla repentina en el suelo, pudiendo ser

catastrófica, y si la estructura no permite rotación de zapatas, puede ocurrir con cierta inclinación visible de la cimentación, que provoca el hinchamiento del suelo a los lados, el colapso final se presenta en un solo lado. Esta falla es llamada falla por corte general y es mostrada en la figura 2.1. Se presenta en arenas densas y arcillas rígidas. A esta carga por unidad de área se le llama capacidad de carga última (q_u).

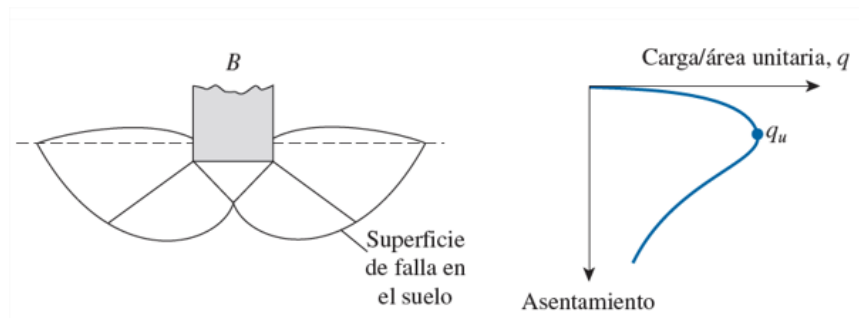


Figura 2.1. Modo de falla general por corte

Fuente: (Das B. M., 2018)

2.1.2.2. Falla por punzonamiento

Este tipo de falla ocurre en suelos bastante sueltos. En este tipo de falla la gráfica carga-aseñamiento como se muestra en la figura 2.2 será más pronunciada y para valores superiores a la capacidad de carga última la gráfica será prácticamente lineal.

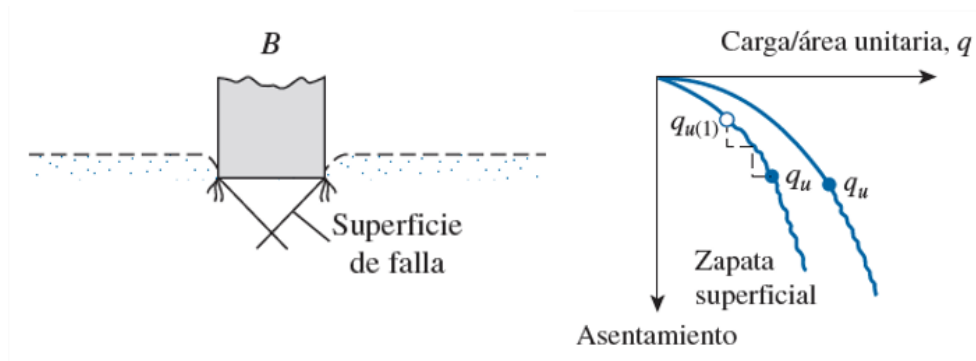


Figura 2.2. Modo de falla por punzonamiento

Fuente: (Das B. M., 2018).

2.1.2.3. Falla por corte local

Es un tipo de falla intermedia entre falla por corte general y por punzonamiento, ocurre en suelos arenosos o arcillosos medianamente densos. Cuando la carga

por unidad de área es igual a $q_{u(1)}$ conocido como carga de primera falla, ocurren sacudidas repentinas junto con el movimiento, por lo que se necesita de un movimiento considerable de la cimentación para que la superficie de falla llegue a la superficie, este movimiento ocurre cuando se alcanza la capacidad de carga última. Este tipo de falla como se muestra en la figura 2.3 presenta hinchamiento del suelo al lado de la cimentación y compresión vertical debajo de la cimentación.

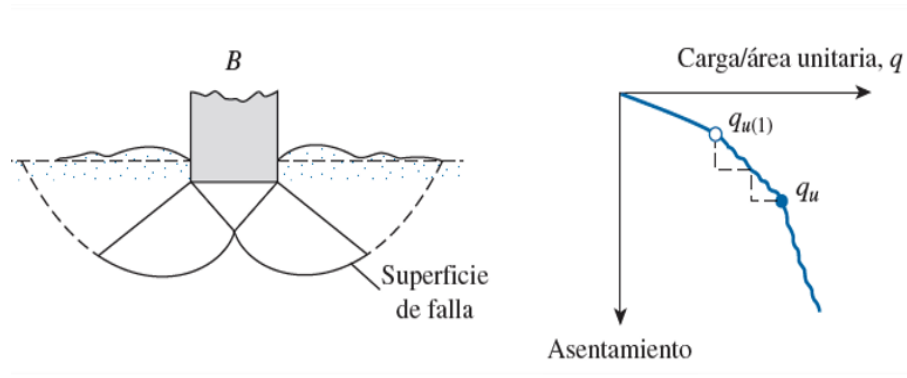


Figura 2.3. Modo de falla por corte local

Fuente: (Das B. M., 2018)

2.1.3. Tipos de cimentaciones

El arte de cimentar consiste en obtener, a partir de las características tanto del terreno como de la estructura, las condiciones más favorables de apoyo, de modo que los asentamientos no resulten perjudiciales (Roman Proaño, 2008).

Existen diversos tipos de cimentaciones: cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas y cimentaciones mixtas. Los factores que determinan el seleccionar el tipo de cimentación se realiza tomando en cuenta la capacidad de carga y la compresibilidad del suelo y en base a ello se recomienda:

- Cuando las cargas sean demasiado grandes y se utilice cimiento corrido que ocupe cerca del 50% o más del área de construcción en planta es más eficiente y económico una losa de cimentación. Si la losa de cimentación no es económicamente viable, para soportar las cargas se puede cimentarse una parte por medio de pilotes.
- En suelos de baja capacidad portante, usar pilotes de punta apoyados en un estrato resistente.

- Si el suelo posee baja compresibilidad y con asentamientos controlables, utilizar zapatas aisladas.
- Si la compresibilidad del suelo es media, para mantener los asentamientos en un rango controlable usar cimiento corrido rigidizado por medio de vigas de cimentación.
- En suelos de mediana y alta compresibilidad con baja capacidad portante, es recomendable usar cimentaciones compensadas.

2.1.4. Cimentaciones superficiales

Se considera cimentaciones superficiales a aquellas donde la profundidad de desplante (D_f) es menor o igual al ancho de la cimentación y comprendido normalmente entre los 0.5 y 4 metros.

Las cimentaciones superficiales pueden llevarse a cabo en suelos en los que sus primeras capas están compuestas por rocas, suelo granular (arenas o gravas) cuya deformabilidad sea baja o media o terrenos arcillosos de mediana a alta resistencia. Es decir, los asentamientos provocados por las cargas de la estructura no sean excesivos ya que de lo contrario la estructura podría presentar fallas. Dentro de este tipo cimentaciones se encuentran las del tipo zapatas aisladas, zapatas combinadas, zapatas combinadas con viga de fundación, zapata combinada con viga de fundación y viga rigidizante, las cimentaciones corridas, losa de cimentación.

2.1.5. Zapatas rigidizadas con vigas de equilibrio

Cuando se construye una vivienda, que está pegada al límite de propiedad del vecino o de la calle, entonces los sistemas de zapatas y columnas estarán también pegadas a límite de propiedad. Las zapatas que están pegadas al límite de propiedad reciben el nombre de zapata medianera, zapata perimetral o zapata excéntrica como se muestra en la figura 2.4.

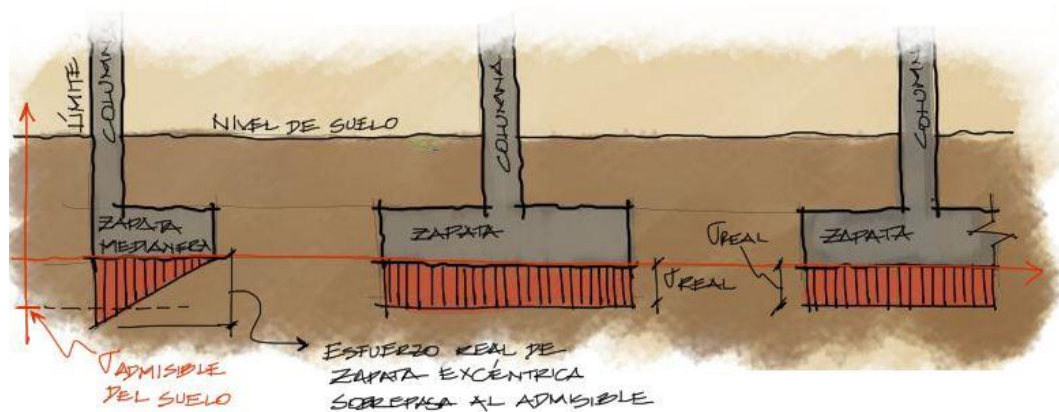


Figura 2.4. Esfuerzos en un sistema aporticado con zapatas aisladas

Fuente: <https://marcelopardo.com/teoria-vigas-equilibrio-de-hormigon-armado/>

Debido a la excentricidad de la carga en la zapata excéntrica, se generan esfuerzos dispares entre la interacción suelo - zapata y que a su vez genera momentos en la columna que podrían ser elevados dependiendo de la carga, la excentricidad, la rigidez de la columna, la rigidez de la zapata, dimensiones de la base de la zapata, coeficiente de balasto del suelo, pero una simplificación como se muestra en la figura 2.5.

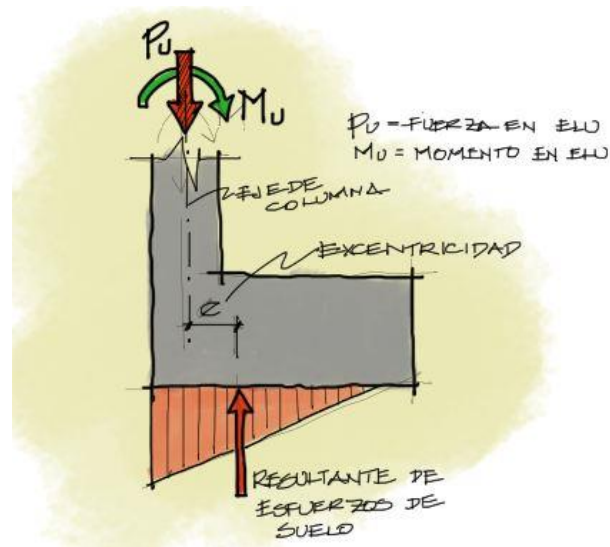


Figura 2.5. Distribución esfuerzos generados en zapata excéntrica

Fuente: <https://marcelopardo.com/teoria-vigas-equilibrio-de-hormigon-armado/>

Un análisis simplificado para entender la interacción columna – zapata se muestra en la figura 2.6, donde se considera que la columna como la zapata son completamente rígidas y además existe una desconexión entre los elementos de

zapata y columna. Debido a la aplicación de la carga, en la zapata excéntrica se producirá un asentamiento diferencial, contrario a la zapata concéntrica donde tiene las cargas distribuidas uniformemente en el suelo

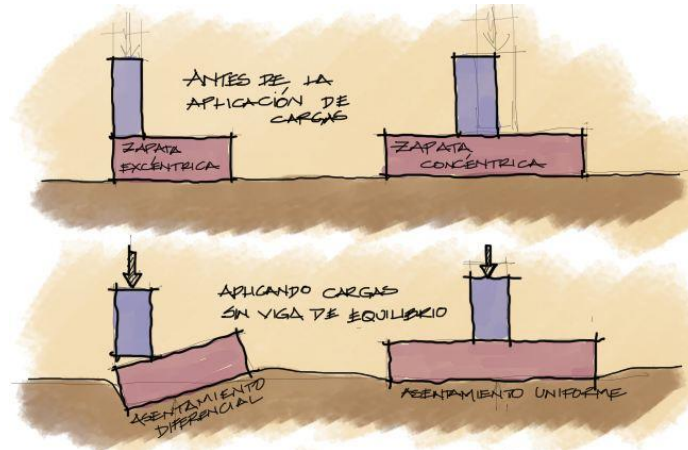


Figura 2.6 Asentamiento diferencial en zapata excéntrica y concéntrica

Fuente: <https://marcelopardo.com/teoria-vigas-equilibrio-de-hormigon-armado/>

Por lo tanto, una solución factible para evitar el asentamiento diferencial que sufre la zapata excéntrica es colocar una viga de equilibrio como se muestra en la figura 2.7.

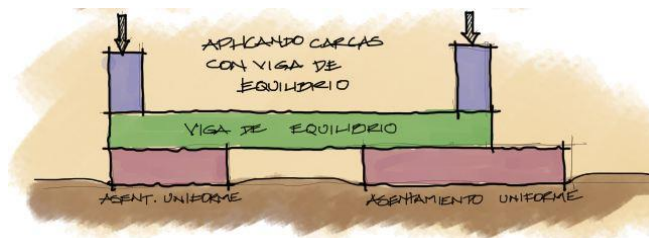


Figura 2.7. Viga de equilibrio

Fuente: <https://marcelopardo.com/teoria-vigas-equilibrio-de-hormigon-armado/>

El efecto de la viga de equilibrio hace que la zapata excéntrica no se eleve del lado alejado de la columna y que por tanto los esfuerzos en el suelo sean completamente uniformes al igual que en una zapata concéntrica. Este esfuerzo uniforme alcanzado en la zapata excéntrica debido a la viga de equilibrio se muestra en la figura 2.8.

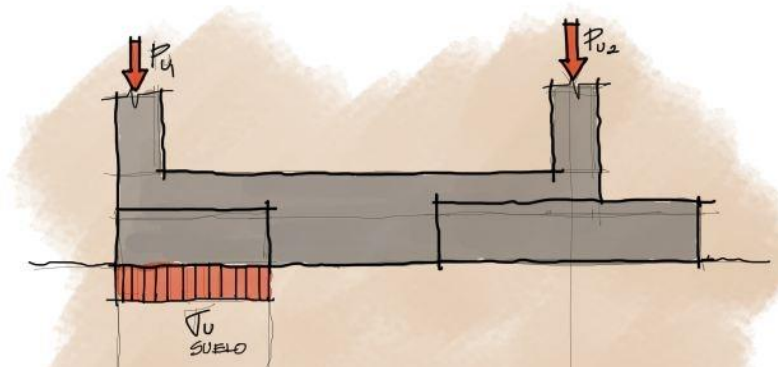


Figura 2.8. Distribución de esfuerzos debajo de zapata excéntrica con viga de equilibrio

Fuente: <https://marcelopardo.com/teoria-vigas-equilibrio-de-hormigon-armado/>.

2.1.6. Distribución de esfuerzos

Cuando se tiene una carga uniforme sobre una superficie rectangular con q unidades de carga por unidad de área tal como se muestra en la figura 2.9 y donde se desea calcular el esfuerzo σ_z bajo una superficie y a una profundidad z .

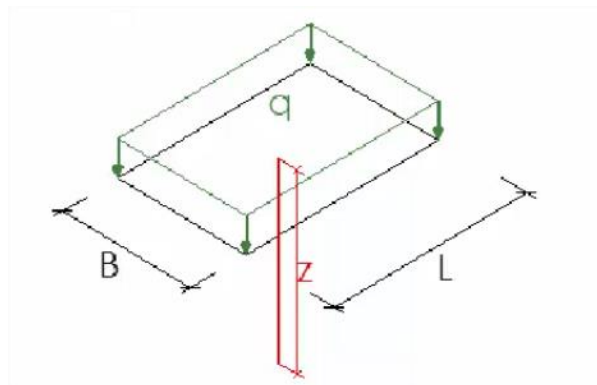


Figura 2.9. Distribución de esfuerzos bajo una superficie rectangular uniformemente cargada

Fuente: Elaboración propia

La expresión que relaciona σ_z (esfuerzo vertical máximo al centro de la zapata) con el ancho y largo de la zapata, y la profundidad a la que se desea saber fue desarrollada por Boussinesq de acuerdo a:

$$m = \frac{B}{2 \cdot z} \quad ; \quad n = \frac{L}{2 \cdot z}$$

$$V = m^2 + n^2 + 1 \quad W = m^2 \cdot n^2 \quad X = 2 \cdot m \cdot n$$

$$\sigma_z = q \cdot I_z$$

Donde I_z toma el valor de:

$$\text{Si } V > W, I_z = \frac{1}{\pi} \left(\frac{X\sqrt{V}}{V+W} \cdot \frac{V+1}{V} + \arctg\left(\frac{X\sqrt{V}}{V-W}\right) \right)$$

$$\text{Si } V < W, I_z = \frac{1}{\pi} \left(\frac{X\sqrt{V}}{V+W} \cdot \frac{V+1}{V} + \arctg\left(\frac{X\sqrt{V}}{V-W}\right) + \pi \right)$$

Antiguamente antes de la aparición de los sistemas de cómputo era común el uso de ábacos como en la figura 2.10, donde se muestra un ábaco de Boussinesq para una cimentación cuadrada para diferentes relaciones profundidad y ancho zapata.

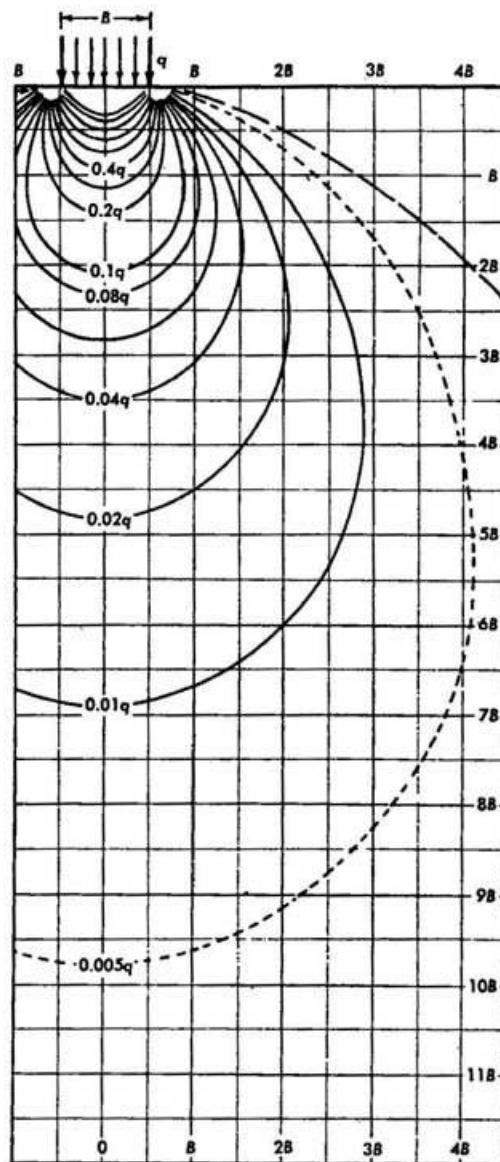


Figura 2.10. Líneas isobáricas de esfuerzo vertical en una cimentación cuadrada.

Nota. La figura muestra líneas isobáricas de esfuerzo vertical debajo de una cimentación cuadrada en un suelo elástico e isotrópico según análisis de Boussinesq. Los esfuerzos están dados en función de la presión uniforme q , en la cimentación, las distancias y profundidades están dadas en función del ancho de la cimentación B .

Fuente: (Sowers & Sowers, 1961).

2.1.7. Ángulo de fricción

El ángulo de fricción es un parámetro geotécnico que hace referencia a la medida de la resistencia cortante debido a la fricción mecánica entre las partículas del suelo. El ángulo de fricción de un suelo está definido por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste al deslizamiento y la fuerza normal aplicada.

El ángulo de fricción depende de varios factores, entre los más importantes: forma de los granos, tamaño de los granos, distribución del tamaño de los granos, densidad de campo.

2.1.8. Cohesión

La cohesión es la atracción entre partículas, originadas por las fuerzas moleculares y las películas de agua. La cohesión varía si cambia el contenido de humedad y la velocidad de deformación (Bowles J. , 1980). Los suelos arcillosos tienen una cohesión alta, los suelos limosos tienen una cohesión baja y las arenas limpias tienen una cohesión prácticamente nula.

2.1.9. Resistencia cortante en los suelos

De acuerdo al postulado de Coulomb los suelos fallan por esfuerzo cortante a lo largo de planos de deslizamiento donde esencialmente su comportamiento es similar a un mecanismo donde una fuerza normal P ha de deslizarse sobre una superficie rugosa, se encuentra que la fuerza F , resulta ser proporcional a P y el coeficiente de fricción μ .

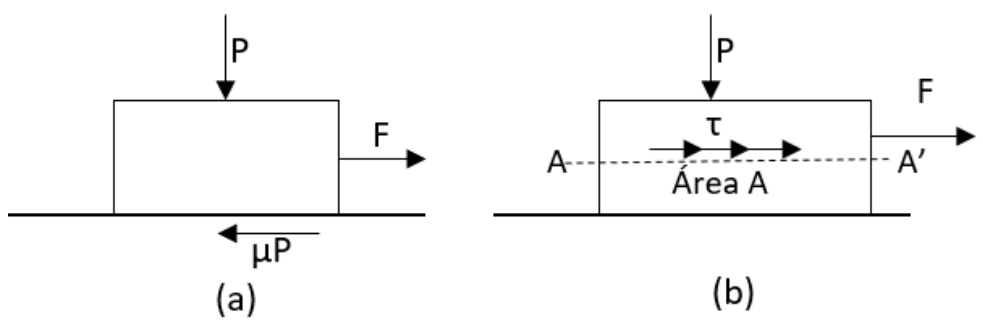


Figura 2.11. Mecanismo de los fenómenos de fricción

Fuente: (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005).

Dada una masa de suelo con características friccionantes y un potencial plano de falla AA' como mostrado en la figura 2.11, la resistencia al esfuerzo cortante del

suelo por unidad de área en ese plano es proporcional a la presión normal σ mediante la relación:

$$\frac{F}{A} = s = \tau_{max} = \sigma \tan\phi$$

Asimismo, Coulomb observó algunos suelos a pesar que el esfuerzo normal era nulo exhibían una resistencia cortante, a esta característica la llamó cohesión.

$$s = c$$

En suelos con características mixtas, se cumple la tradicional ley de Coulomb:

$$s = \sigma \tan\phi + c$$

Posteriormente en 1925 Terzaghi estableció en base a una serie de experimentos que la presión normal debía sustituirse por la presión intergranular tomando la forma:

$$s = (\sigma - \mu_n) \tan\phi + c$$

Donde μ_n representa la presión neutral en el agua.

Posteriormente Hvorslev hizo notar que el valor de la cohesión de las arcillas saturadas no era constante, sino que dependía del contenido de humedad (w), resultando finalmente en la ecuación:

$$s = (\sigma - \mu_n) \tan\phi + f(w)$$

2.1.10. Capacidad portante de suelos

En cimentaciones, la capacidad portante es la capacidad del terreno de soportar las cargas aplicadas sobre él. La capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno de modo que no se produzca un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo (Das B. , 2012).

2.1.11. Factor de seguridad

Para el cálculo de la capacidad de carga permisible en cimentaciones superficiales se requiere aplicar un factor de seguridad (FS) tal que:

$$FS = \frac{q_u}{q_{adm}}$$

Donde:

q_{adm} = Capacidad de carga admisible (kg/cm^2)

q_u = Capacidad de carga última (kg/cm^2)

FS = Factor de Seguridad

El factor de seguridad debe ser al menos de 3 en todos los casos (Das B. , Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012). Asimismo, de acuerdo a la NTP. 050 – Suelos y cimentaciones, artículo 21 indica: “El factor de seguridad mínimo frente a una falla por corte para cargas estáticas es 3”, por lo tanto, se asume el factor de seguridad FS=3 para capacidad de resistencia admisible.

2.1.12. Ecuación general de la capacidad de carga

La capacidad de carga última se calculó en base a la fórmula de Alexander Vesic (Terzaghi 1943 y modificado por Vesic 1975).

$$q_u = c N_c S_c d_c + q N_q S_q d_q + \frac{\gamma_2 B}{2} N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

Donde:

q_u : Capacidad de carga última (kg/cm^2)

c : Cohesión del suelo (kg/cm^2)

γ_1 : Peso específico del suelo (g/cm^3) por encima del nivel cimentación

γ_2 : Peso específico del suelo (g/cm^3) por debajo del nivel cimentación

q : Esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación (kg/cm^2)

D_f : Profundidad de cimentación (m)

N_c, N_q, N_γ : Factores de capacidad de carga que son adimensionales

y funciones sólo del ángulo ϕ

S_c, S_q, S_γ : Factores de forma

d_c, d_q, d_γ : Factores de profundidad

La relación entre los factores de carga, forma, profundidad e inclinación y ángulo de fricción se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Factores de capacidad de carga, forma, profundidad.

Factor	Relación
Carga	$N_c = \cot(\Phi)(N_q - 1)$ $N_q = e^{\pi \tan \Phi} \tan^2\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right)$ $N_\gamma = 2(1 + N_q) \tan \Phi$
Forma	$S_c = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$ $S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \Phi$ $S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \geq 0.6$
Profundidad	$d_c = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B}\right)$ $d_q = 1 + 2 \tan \Phi (1 - \sin \Phi)^2 k$ $d_\gamma = 1$ $k = \frac{D}{B} ; \text{ si } \frac{D}{B} \leq 1$ $k = \arctan\left(\frac{D}{B}\right) ; \text{ si } \frac{D}{B} > 1$

Fuente: Bowles J. E., (1996)

Con respecto a la capacidad portante, la norma E.050 en su artículo 20.2 nos menciona que en suelos cohesivos (arcilla, arcilla limosa y limo-arcilloso), se emplea el ángulo de fricción igual a cero.

Por otro lado, en su artículo 20.3 menciona que en el caso de suelos friccionantes (gravas, arenas y gravas arenosas) se emplea una cohesión (c) igual a cero.

2.1.13. Asentamientos

Para la predicción de los asentamientos de una cimentación cargada existen tres tipos de asentamientos que se desarrollan: asentamiento elástico, asentamiento por consolidación primaria y asentamiento por consolidación secundaria.

$$S_T = S_e + S_c + S_s$$

Donde:

S_T : asentamiento total

S_e : asentamiento elástico

S_c : asentamiento por consolidación primaria

S_s : asentamiento por consolidación secundaria

Cuando se realiza una edificación sobre un terreno, inmediatamente (en cuestión horas o días) se produce el asentamiento elástico, posteriormente entra a la fase de asentamiento por consolidación primaria que ocurre en años en suelos de media a baja permeabilidad y finalmente el asentamiento por consolidación secundaria que puede demorar siglos y ocurre en suelos de mediana a baja permeabilidad.

Según la tabla 2.2, la aplicación de los métodos para determinar el asentamiento estará determinada por el tipo de suelo, el grado de saturación y la densidad a la que se encuentra.

Tabla 2.2. Métodos de cálculo de asentamientos

Tipo De Asentamiento	Método	Parámetro Base	Aplicación
Inmediato	Elástico	Propiedades Elásticas del Suelo	Arenas, gravas, suelos no saturados, arcillas duras y rocas
Inmediato	MEYERHOF	N (SPT)	Arenas, gravas y similares
Inmediato	Prueba de Carga	Prueba de Carga	Arenas, gravas, suelos no saturados, arcillas duras y rocas
Consolidación Primaria	Teoría de la Consolidación	Ensayo Consolidación	Arcillas blandas a medias saturadas
Consolidación Primaria y Secundaria	IDEM.	IDEM.	Arcillas blandas a muy blandas, turbas y suelos orgánicos y similares

Fuente: Alva, 2008

El asentamiento elástico ocurre en cualquier tipo de suelo (finos o gruesos), el asentamiento por consolidación primaria y secundaria generalmente ocurren en suelos finos.

En la figura 2.12 se muestra un esquema del asentamiento elástico o inmediato que se produce cuando inmediatamente después de la aplicación de la carga.

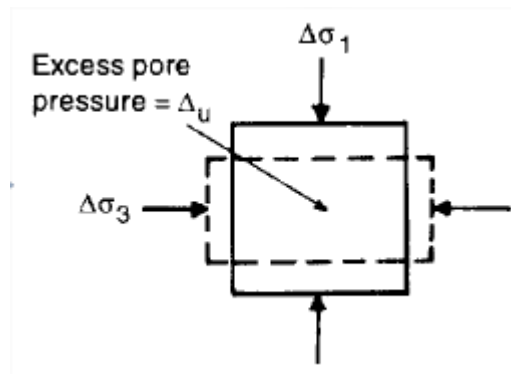


Figura 2.12. Asentamiento inmediato o elástico

Fuente: (Das B. M., 2018).

Como se puede observar, la deformación vertical es preeminente con respecto a la deformación horizontal.

Para el cálculo del asentamiento elástico se usan diferentes métodos, en este caso utilizaremos el cálculo basado en la teoría de la elasticidad.

De acuerdo a la figura 2.13, el asentamiento de una cimentación flexible será mayor en la parte central a diferencia del asentamiento de una cimentación rígida donde el asentamiento es más uniforme.

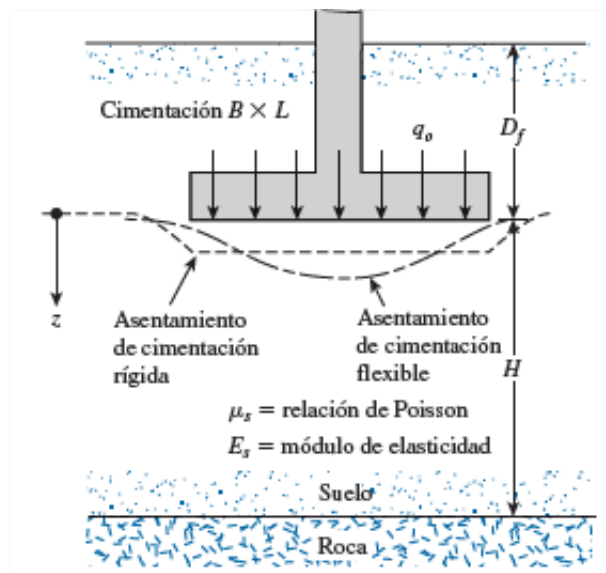


Figura 2.13. Asentamiento inmediato en una cimentación flexible y rígida

Fuente: Das, 2012.

Si la cimentación es perfectamente flexible, según Bowles, 1987 el asentamiento se puede calcular como:

$$S_e = q_0(\alpha B') * \frac{1 - (\mu_s)^2}{E_s} * I_s * I_f$$

donde

q_0 = presión neta actuante sobre la cimentación

μ_s = relación de Poisson del estrato del suelo arcilloso

E_s = módulo de elasticidad promedio del suelo debajo de la cimentación desde el fondo de la cimentación $z=0$ hasta $z=5B$

B' = $B/2$ si se calcula al centro de la cimentación

= B para una esquina de la cimentación

I_s = factor de forma

I_f = factor de profundidad

Según Steinbrenner, 1934:

$$I_s = F_1 + \frac{1-2\mu_s}{1-\mu_s} F_2$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} (A_0 + A_1)$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1}(A_1)$$

$$A_0 = m' \ln \left(\frac{1 + \sqrt{m'^2 + 1} * \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m' (1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})} \right)$$

$$A_1 = \ln \left(\frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1}) * \sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \right)$$

$$A_2 = \frac{m'}{n' \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$I_f = f \left(\frac{D_f}{B}, \mu_s, \frac{L}{B} \right) = \text{Factor de profundidad (según Fox, E.N., 1948)}$$

α = Factor que depende del lugar de la cimentación donde el asentamiento está siendo calculado.

Para el cálculo del asentamiento en el centro de la cimentación se usa:

$$\alpha = 4; m' = \frac{L}{B}; n' = \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)}$$

Para el cálculo del asentamiento en una esquina de la cimentación usamos:

$$\alpha = 1; m' = \frac{L}{B}; n' = \frac{H}{B}$$

Para el cálculo del factor de Fox, usamos la tabla 2.3 o el ábaco de la figura 2.14.

Tabla 2.3. Tabla factor de Fox

μ_s	D_f/B	B/L		
		0.2	0.5	1.0
0.3	0.2	0.95	0.93	0.90
	0.4	0.90	0.86	0.81
	0.6	0.85	0.80	0.74
	1.0	0.78	0.71	0.65
0.4	0.2	0.97	0.96	0.93
	0.4	0.93	0.89	0.85
	0.6	0.89	0.84	0.78
	1.0	0.82	0.75	0.69
0.5	0.2	0.99	0.98	0.96
	0.4	0.95	0.93	0.89
	0.6	0.92	0.87	0.82
	1.0	0.85	0.79	0.72

Nota: La tabla muestra la variación de I_f con D_f/B , B/L y μ_s . Fuente: (Das B. M., 2018)

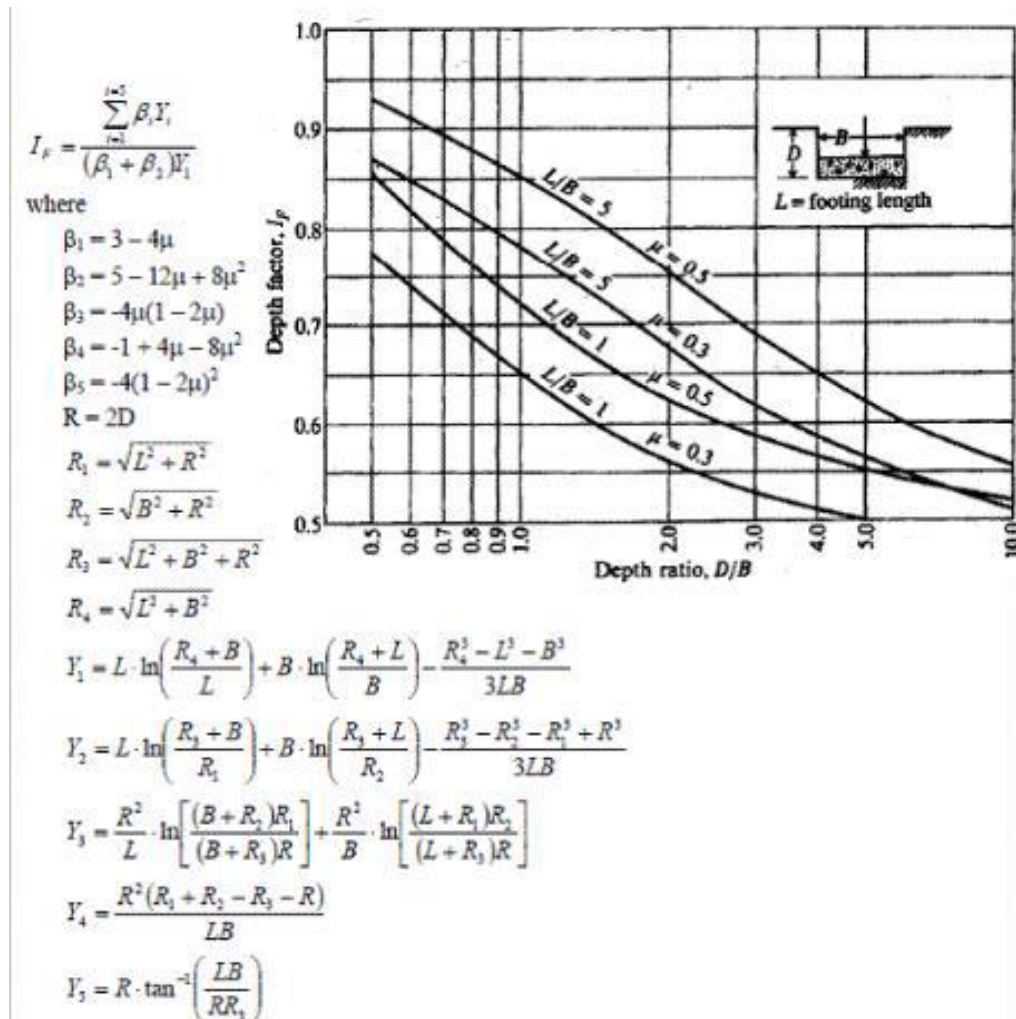


Figura 2.14. Ábaco para encontrar el valor del factor de Fox

Fuente: Fox E., 1948.

Asimismo, cuando se desea calcular el asentamiento elástico de una cimentación rígida, Braja Das (2012), propone la siguiente relación a partir del cálculo del asentamiento flexible en el centro según:

$$S_{e(rígida)} = 0.93S_{e(flexible,centro)}$$

Cuando existen diferentes estratos de suelo, donde el valor de E_s varía con la profundidad, Bowles (1987) recomienda usar un promedio ponderado de E_s según:

$$E_s = \frac{\sum E_{s(i)} \Delta z}{\bar{z}}$$

Donde

$E_{s(i)}$ = módulo de elasticidad del suelo con una potencia Δz

$\bar{z} = H$ o $5B$, el que resulte menor

Algunos valores típicos del modulo de elasticidad de suelos encontramos en la siguiente tabla.

Tabla 2.4. Constantes elásticas a escala de laboratorio para suelos

	Dry Density (kg/m ³)	Elastic Modulus E (MPa)	Poisson's Ratio
loose uniform sand	1470	10 - 26	0.2 - 0.4
dense uniform sand	1840	34 - 69	0.3 - 0.45
loose, angular-grained, silty sand	1630		
dense, angular-grained, silty sand	1940		0.2 - 0.4
stiff clay	1730	6 - 14	0.2 - 0.5
soft clay	1170 - 1490	2 - 3	0.15 - 0.25
loess	1380		
soft organic clay	610 - 820		
glacial till	2150		

Fuente: (Das B. M., 2018)

El asentamiento por consolidación primaria que se produce en estratos de arcilla saturada que ocurre con el paso de los años cuando el suelo es sometido a una carga por ejemplo el peso de una edificación y se calcula en base a las ecuaciones del asentamiento por consolidación unidimensional. La figura 2.15 muestra las variables involucradas en este proceso de consolidación.

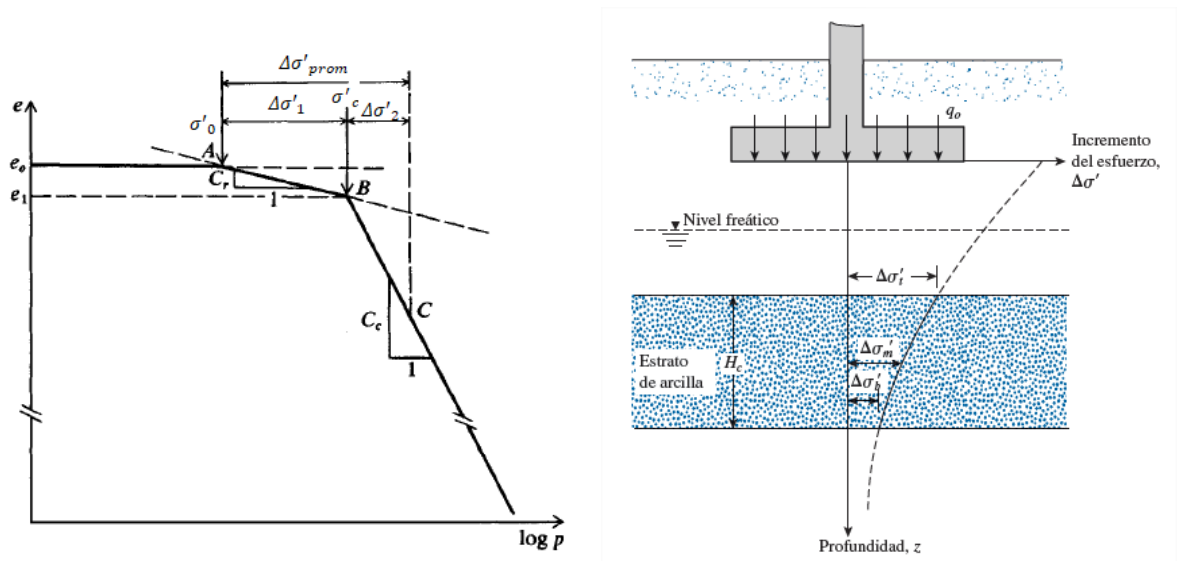


Figura 2.15. Asentamiento por consolidación primaria de un estrato de arcilla

Fuente: (Das B. M., 2018)

En arcillas normalmente consolidadas:

$$S_{c(p)} = \frac{C_c * H_c}{1 + e_0} * \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_0}\right)$$

En arcillas sobreconsolidadas donde $\sigma'_0 + \Delta\sigma' < \sigma'_c$

$$S_{c(p)} = \frac{C_r * H_c}{1 + e_0} * \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_0}\right)$$

En arcillas sobreconsolidadas donde $\sigma'_0 < \sigma'_c < \sigma'_0 + \Delta\sigma'$

$$S_{c(p)} = \frac{C_r * H_c}{1 + e_0} * \log\left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0}\right) + \frac{C_c * H_c}{1 + e_0} * \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_c}\right)$$

donde

σ'_0 = la presión efectiva promedio sobre la capa de arcilla antes de la construcción de la cimentación

$\Delta\sigma'_{prom}$ = aumento promedio en la presión efectiva sobre el estrato de arcilla debido a la construcción de la cimentación

σ'_c = la presión de preconsolidación

e_0 = relación de vacíos inicial de la capa de arcilla

C_c = índice de consolidación

C_r = índice de recompresión

H_c = espesor del estrato de arcilla

El aumento de la presión efectiva disminuye a medida que aumenta la profundidad, es por ello que para el cálculo de $\Delta\sigma'$ se utiliza las expresiones analíticas dadas por Boussinesq, el ábaco de Boussinesq de la figura 2.10 o la siguiente relación:

$$\Delta\sigma'_{prom} = \frac{(\Delta\sigma'_t + 4 * \Delta\sigma'_m + \Delta\sigma'_b)}{6}$$

donde $\Delta\sigma'_t$, $\Delta\sigma'_m$ y $\Delta\sigma'_b$ son respectivamente los aumentos en la presión efectiva arriba, en el centro y en fondo de la capa de arcilla que ocurre debido a la carga que transmite la cimentación al suelo.

2.1.14. Residuos de concreto

Según el reporte de la Asociación Global de Cemento y Concreto la producción mundial de concreto fue de 14 billones de metros cúbicos (30 billones de toneladas), llegando a ser el segundo material más usado por el hombre después del agua. Para la producción de este concreto se necesitaron 4.2 billones de toneladas de cemento. Haciendo la comparación a nivel nacional, según el reporte estadístico de la Asociación de Productores de Cemento en el Perú se produjo 1 millón de toneladas de cemento, que equivaldría a producir 7 millones de toneladas de concreto.

Para saber la cantidad estimada de cuanto de residuo de concreto lo realizaremos de manera indirecta en base al estudio en otros países. En la tabla 2.5 se muestran los datos de desechos producidos en otras partes del mundo.

Tabla 2.5. Desechos producidos anualmente en Europa, Estados Unidos y Japón

Cantidad de desechos (millones de toneladas)	Europa	Estados Unidos	Japón
Desechos de construcción y demolición (RCD)	510	317	77
Desechos municipales	241	228	53

Fuente: Cement Sustainability Initiative, 2009.

Asimismo, en la tabla 2.6 se muestra la población de las áreas mencionadas.

Tabla 2.6. Población en millones en Europa, Estados Unidos y Japón

Lugar	Europa	Estados Unidos	Japón
Población (millones de habitantes)	746	330	125

Fuente: Cement Sustainability Initiative, 2009.

De acuerdo a las tablas anteriores, se podría decir que en Europa por cada habitante se genera al año 0.68 toneladas, en Estados Unidos 0.96 toneladas y en Japón 0.62 toneladas. Si bien es cierto estos países son más desarrollados que el nuestro sin embargo tienen sistemas de producción de concreto más eficiente con menos pérdidas, nos ayudará a estimar en nuestro país cuanto de residuo de construcción se genera.

Siguiendo esta misma analogía y sabiendo que la ciudad de Lima cuenta con una población de 10 millones de habitantes, y considerando una generación de residuo de concreto 0.62 toneladas por habitante, se generaría 6.2 millones de toneladas de RCD, que equivaldría 16986 toneladas de RCD diarias.

De acuerdo a la publicación realizada por (León, 2017), nos menciona que en Lima diariamente se generan 17 mil toneladas de residuos de construcción y demolición, de los cuales el 70 % van a parar al mar o a los ríos. Sólo una pequeña fracción va a zonas autorizadas del municipio y que también llega a ser un problema por las extensiones de terreno que necesita para poder contener los volúmenes de residuo que llegan a diario. Con lo cual podríamos validar la estimación realizada.

Esta investigación pretende estudiar la viabilidad del uso de los residuos de construcción y demolición, en este caso particular el uso del concreto demolido, triturado y pulverizado para mejorar el suelo cohesivo de matriz la arcillosa. Frente a ello, debemos estudiar primero las definiciones, características y propiedades de dicho residuo de construcción.

Para definir el concreto demolido, triturado y pulverizado se debe definir primero a los residuos de construcción y demolición. Los residuos sólidos de construcción y demolición son aquellos residuos generados durante el proceso de construcción

de edificaciones e infraestructura, el cual comprende las obras nuevas, ampliación, remodelación, demolición, rehabilitación, cercado, obras menores, acondicionamiento o refacción u otros (Ministerio de Energía y Minas, 2013).

Asimismo, el D.S. N° 003-2013-Vivienda en su artículo 28 clasifica estos residuos en: residuos peligrosos y residuos no peligrosos (reutilizables, reciclables, aprovechables). Dentro de los residuos no peligrosos, encontramos a los residuos de concreto, provenientes de vigas, pilares, losas, elementos prefabricados de hormigón, etc., que en términos de peso y volumen representa grandes cantidades. En el artículo 29 menciona que el material granulado no clasificado proveniente de demoliciones de construcciones puede ser reutilizado en la preparación de capas de fundación, mezclas asfálticas recicladas, concreto reciclado, rellenos no portantes, entre otras aplicaciones en concordancia con las normativas vigentes. El material a reaprovechar deberá estar libre de fierro, plásticos, madera u otros elementos peligrosos. Para su uso el material deberá ser chancado y tamizado reduciendo el tamaño de sus partículas según lo requerido.

Por lo tanto, podemos definir al concreto demolido, triturado y pulverizado como parte de los residuos sólidos de construcción y demolición, donde el componente principal es el concreto demolido y que a través de un proceso de trituración es descompuesto en sus componentes básicos como agregados, polvo mineral y cemento.

El concreto demolido triturado y pulverizado se obtiene a partir de los residuos de construcción que genera el sector construcción. Estos residuos de concreto pueden venir separados, así como también combinados con otros tipos de residuos. Previamente a ello se debe hacer una selección de materiales para luego realizar el proceso de trituración. En la figura 2.16 se muestra un esquema de distribución de espacios en una planta de procesamiento de RCD.

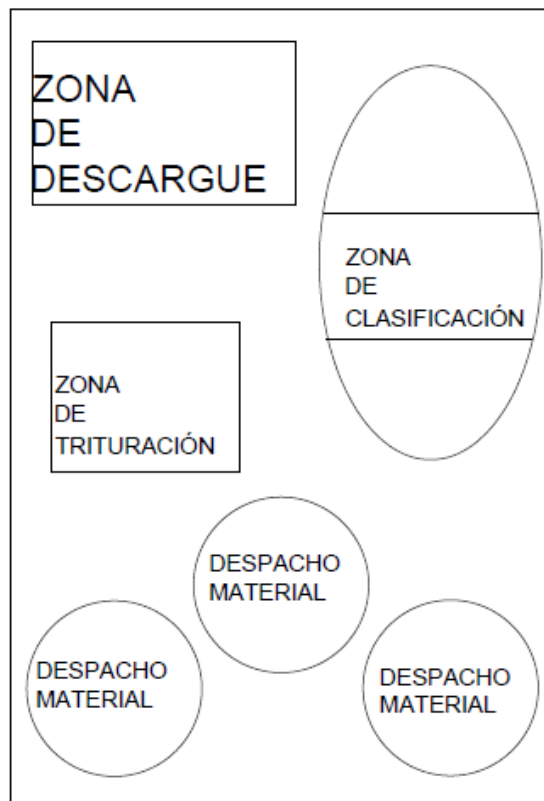


Figura 2.16. Esquema de distribución de planta de procesamiento de RCD

Fuente: Elaboración propia.

Estos residuos de concreto para poder ser usados necesitan ser triturados y pulverizados, ya que se encuentran en bloques de dimensiones considerables. Para el proceso de trituración, se necesita realizar en 3 etapas: un chancado primario, chancado secundario y chancado terciario. En la figura 2.17 se muestra un esquema de los equipos de trituración de residuos de concreto demolido.

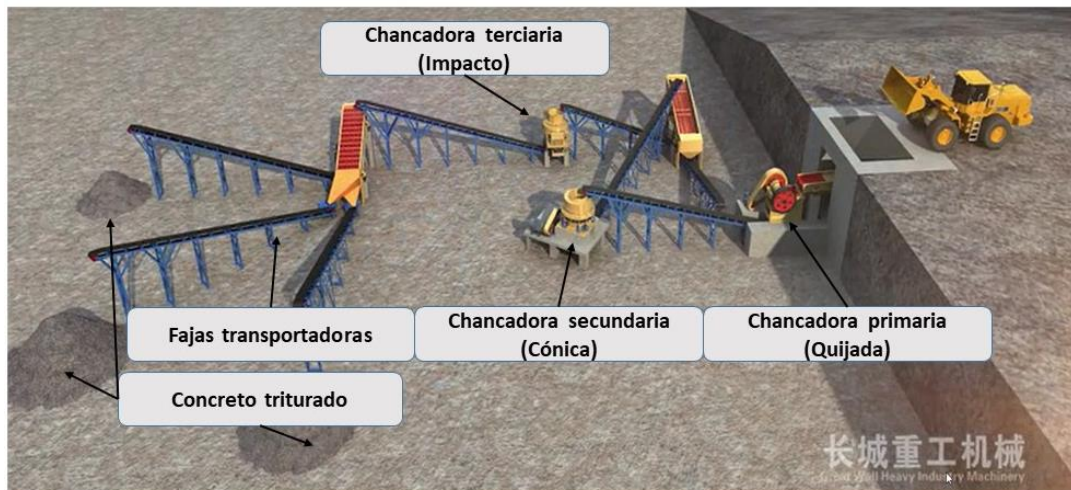


Figura 2.17. Equipos de trituración de residuos de concreto

Fuente: <http://www.greatwallcrusher.com/>.

El proceso empieza clasificando el residuo en la planta de trituración, posteriormente el material seleccionado (concreto) es llevado a la zona de trituración mediante un cargador frontal. El material es dosificado mediante un alimentador vibratorio hacia la chancadora primaria, en este caso se usa el de tipo quijada donde el tamaño de boca de entrada máximo es de 930 mm y un rango de salida ajustable entre 10-275 mm dependiendo del modelo de chancadora. La figura 2.18 muestra una chancadora tipo quijada.



Figura 2.18. Chancadora tipo quijada

Fuente: <http://www.greatwallcrusher.com/>.

El material triturado es llevado por medio de fajas a un proceso de chancado secundario para un triturado fino mediante una trituradora cónica (tamaño máximo alimentación 105 mm y una salida de descarga entre 8 a 22 mm regulable) como se muestra en la figura 2.19.



Figura 2.19. Trituradora cónica

Fuente: <http://www.greatwallcrusher.com/>.

Posteriormente las partículas son llevadas a una zaranda, donde se tamiza el material. Las partículas que no cumplen con el tamaño exigido son devueltas a la chancadora cónica para un rechancado. Si se desea continuar con el chancado, las partículas pueden entrar en una chancadora terciaria tipo vertical de impacto o a un molino de bolas si se desea pulverizar como en la figura 2.20.



Figura 2.20. Chancadora vertical de impacto

Fuente: <http://www.greatwallcrusher.com/>.

Las partículas trituradas de este proceso son llevadas mediante una faja transportadora a una zaranda donde las partículas que no cumplen los tamaños especificados nuevamente son devueltas a la chancadora terciaria para un rechancado. El material que si cumple es tamizado y separado en diferentes granulometrías listo para ser distribuido de acuerdo a la necesidad del cliente. En

las tablas 2.7 y 2.8 me muestran las especificaciones técnicas para la selección del tipo de chancadora a usar.

Tabla 2.7. Ficha técnica PEW Trituradora de Mandíbula de Tipo Europeo

Modelo	Tamaño de Boca de Entrada (mm)	Máximo Tamaño de Alimentación (mm)	Rango Ajustable de Salida (mm)	Capacidad (t/h)	Potencia de Motor (kw)	Peso (t)	Dimensión Exterior (mm)
PEW180×1300	180×1300	150	10-30	12-35	30-37	6	1320×2150×1175
PEW250×1000	250×1000	220	20-40	15-50	30-37	5.9	1400×1850×1310
PEW250×1200	250×1200	220	20-40	18-60	37-45	7	1400×2050×1310
PEW400×600	400×600	350	35-85	15-70	37-45	8	1920×1460×1840
PEW760×1100	760×1100	640	75-200	150-310	110-132	24	2950×2360×2760
PEW860×1100	860×1100	720	100-225	200-420	132-160	32	3300×2320×3120
PEW1100×1200	1100×1200	930	150-275	300-600	185-200	59.2	4140×2660×3560

Fuente: <http://www.greatwallcrusher.com/>.

Tabla 2.8. Ficha técnica chancadora cónica serie HP

modelo	Cavidad tamaño (grueso / fino)	Tamaño mínimo de descarga (mm)	Tamaño máximo de alimentación (mm)	capacidad (t/h)	peso (t)	poder (kw)
HP-160	C	13	150	120-240	13	160
	F	6	76	55-180		
HP-220	C	13	225	150-430	18	220
	F	6	86	90-260		
HP-315	C	13	290	190-610	26	315
	F	6	100	108-320		
HP-400	C	16	320	230-700	33	400
	F	8	110	145-430		

La capacidad arriba es correspondiente a caliza de media dureza.

Fuente: <http://www.greatwallcrusher.com/>.

2.1.15. Composición del concreto demolido y pulverizado

El concreto demolido y pulverizado contiene cemento, arena y áridos (gravas y piedra) en suficientes cantidades capaz de alterar la gradación del suelo, mejorando la máxima densidad seca, además de producir reacciones químicas debido a la presencia de granos de cemento remanentes (Kerni, Sonthwal, & Jan, Review on Stabilization of Clayey Soil Using Fines Obtained From Demolished Concrete Structures, 2015).

Los componentes del cemento son básicamente: silicato tricálcico (C_3S , $3CaO.SiO_2$), silicato bicálcico (C_2S , $2CaO.SiO_2$), aluminato tricálcico (C_3A , $3CaO.Al_2O_3$), ferroaluminato tetracálcico (C_4AF , $4CaO.Al_2O_3.FeO_3$) y

además se tiene entre 2 a 3% de yeso que es el sulfato de calcio ($CaSO_4$). En la tabla 2.9 podemos observar los porcentajes en peso de los componentes.

Tabla 2.9. Porcentajes en peso de los principales componentes del cemento

	FÓRMULA	PORCENTAJE
Silicato tricálcico	C3S	40 %
Silicato bicálcico	C2S	32 %
Aluminato tricálcico	C3A	10 %
Ferroaluminato Tetracálcico	C4AF	9 %
Sulfato de calcio	$CaSO_4$	2-3 %

Fuente: (Moreno Pérez, 2018)

Moreno Pérez (2018), realiza un análisis de fluorescencia de rayos X (XRF), de las muestras de agregados reciclados y lo expresa en porcentajes de peso de acuerdo a la tabla 2.10.

Tabla 2.10. Análisis de fluorescencia rayos X (XRF) de agregados reciclados

Óxidos	Concretos Reciclados S.A.		Concreto de vertederos	
	Grava reciclada Planta	Arena reciclada Planta	Arena reciclada Laboratorio	Arena reciclada laboratorio
CaO	19.11	15.76	9.78	12.33
SiO ₂	49.41	50.76	55.75	56.98
Al ₂ O ₃	8.44	9.25	10.52	10.84
Fe ₂ O ₃	3.99	4.40	4.59	4.21

Nota. La tabla muestra un análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) de las muestras de agregados reciclados, expresados en porcentaje en peso (principales óxidos). Fuente: Moreno Pérez (2018).

Como se puede notar el componente más abundante dentro del concreto demolido es el óxido de silicio, más conocido como sílice. Le sigue el óxido de calcio y óxido de aluminio, que proviene del cemento cuando el cemento fraguó.

Por otro lado, como sabemos el tipo de cemento también influye en las características del concreto, donde el cemento tipo I es el de uso general donde no se requiere propiedades especiales de otros tipos de cemento. El cemento tipo II que tiene una moderada resistencia a los sulfatos y al calor de hidratación donde

en su composición contiene no más de 8 % de aluminato tricálcico (C3A). El cemento tipo V de alta resistencia a los sulfatos donde el aluminato tricálcico no excede al 5%. Los porcentajes de óxido que contiene los residuos de concreto están influenciados tanto por el tipo de cemento que se usó como por los agregados.

2.1.16. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos consiste en mejorar las propiedades físicas del suelo y esto puede lograrse a través de procedimientos mecánicos o la incorporación de productos que pueden ser químicos (aditivos y aceites sulfonados), naturales o sintéticos (cal, cemento). Existen estabilizaciones bastante conocidas como estabilización con suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto. En casos donde se tenga suelos inadecuados o pobres se procede a estabilizar la zona que entra en contacto con el cemento para obtener un material de mejor calidad, denominándose cemento tratado (Das B. , 2012).

Al realizar estas estabilizaciones se espera que su resistencia bajo la deformación de cargas estáticas mejore, las propiedades mejoradas permanezcan en el tiempo y su sensibilidad frente al agua sea más estable. Los aditivos pueden actuar física o químicamente sobre las propiedades del suelo (Iglesias Perez, 1997) .

El tipo de estabilización dependerá del tipo de suelo existente y para ello es necesario previamente realizar una clasificación. Generalmente los suelos a estabilizar son los limos, arcillas, arenas arcillosas o limosas.

2.1.17. Estabilización de suelos por adiciones

Cuando el terreno donde se pretende realizar el emplazamiento de una obra y carece de buena capacidad de soporte, generalmente se recurre a fundaciones profundas como el uso de pilotes diseñados por punta si es que se cuenta con un estrato inferior de buena calidad o micropilotes si la profundidad de dicho estrato lo hace inviable. Sin embargo, en edificaciones unifamiliares, esta técnica resulta costosa, por lo tanto, se recurre al mejoramiento y estabilización de suelos.

Uno de los conceptos a tener en cuenta para estabilizar el suelo arcilloso por combinación es que los residuos de concreto demolido y pulverizado deban de tener una naturaleza alcalina. Ahora surge la pregunta si los residuos de construcción y demolición (concreto pulverizado) tienen esa naturaleza alcalina. El trabajo de investigación realizado por (Moreno Pérez, 2018), demuestra que la

naturaleza del concreto es alcalina ya que la pasta de cemento que aglomera los agregados (grava y arena) está compuesta principalmente por silicatos de calcio hidratados y portlandita $Ca(OH_2)$.

La portlandita es la responsable del ambiente alcalino del concreto, y los silicatos de calcio hidratados responsables del endurecimiento del concreto ya que cuando crecen sus fibras y agujas favorecen la trabazón (entrelazamiento) que forma puentes entre las partículas adyacentes (granos de cemento o agregados) propiciando la coalescencia y el endurecimiento del concreto (Tzschichholz, Herrmann, & Zanni, 1996).

Moreno Perez (2018), la variación de la presión vs la penetración para el suelo de matriz limo arcilloso y mezclas de suelo con adición de residuos de construcción y demolición- concreto fino, incrementando 17.56 veces el valor del CBR. En la figura 2.21, se puede notar la variación.

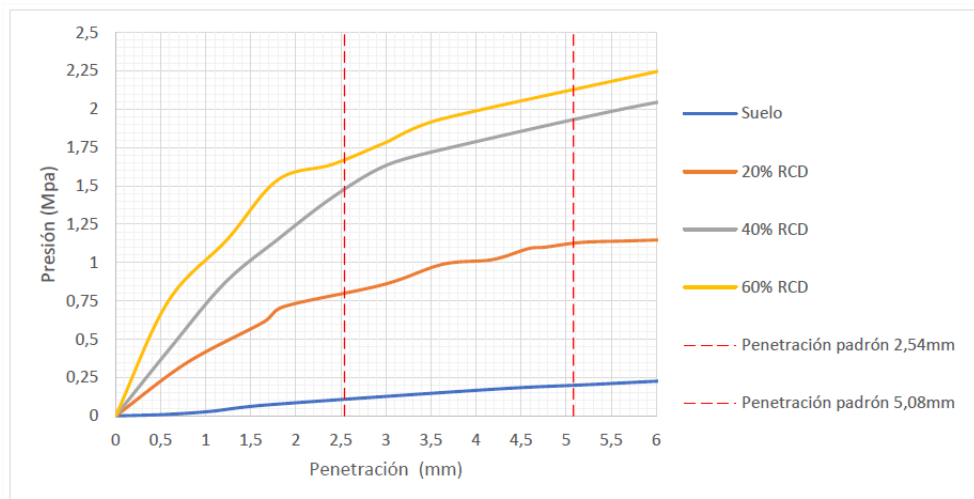


Figura 2. 21. Presión vs penetración suelo y mezclas suelo con RCD-C fino.

Nota. La figura muestra la resistencia a la penetración del suelo y 3 combinaciones con RCD al 20%, 40% y 60%. Fuente: (Moreno Pérez, 2018).

CAPÍTULO III: TRABAJO DE CAMPO

3.1. CASO DE ESTUDIO

El estudio realizado en el Centro Poblado de Aicas está relacionado a la baja calidad del suelo cohesivo, con baja capacidad de soporte, y con un potencial expansivo que impacta sobre las viviendas y conlleva a agrietamientos, fisuras y grietas en los muros de las viviendas. En las figuras 3.1 a la 3.5 se muestran algunas fotografías de los daños.



Figura 3.1. Grieta en pared de ladrillo con columnas de amarre de concreto

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.2. Grieta en vivienda de paredes de bloques de cemento y arcilla

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.3. Grieta en vivienda con paredes de ladrillo confinada lateralmente con columna de concreto

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.4. Grieta en vivienda con paredes de bloques de cemento confinada mediante columnas de concreto

Fuente: Elaboración propia.

3.2. UBICACIÓN DEL MUESTREO

El Centro Poblado de Aicas, se encuentra ubicado en el distrito de Luricocha, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho. Se encuentra a 6 km de la ciudad de Huanta.

En la figura 3.5 muestra la ubicación de la zona de estudio.

El clima de la zona es templado – cálido y se ubica a 3200 m.s.n.m. con precipitaciones durante los meses de diciembre a marzo.

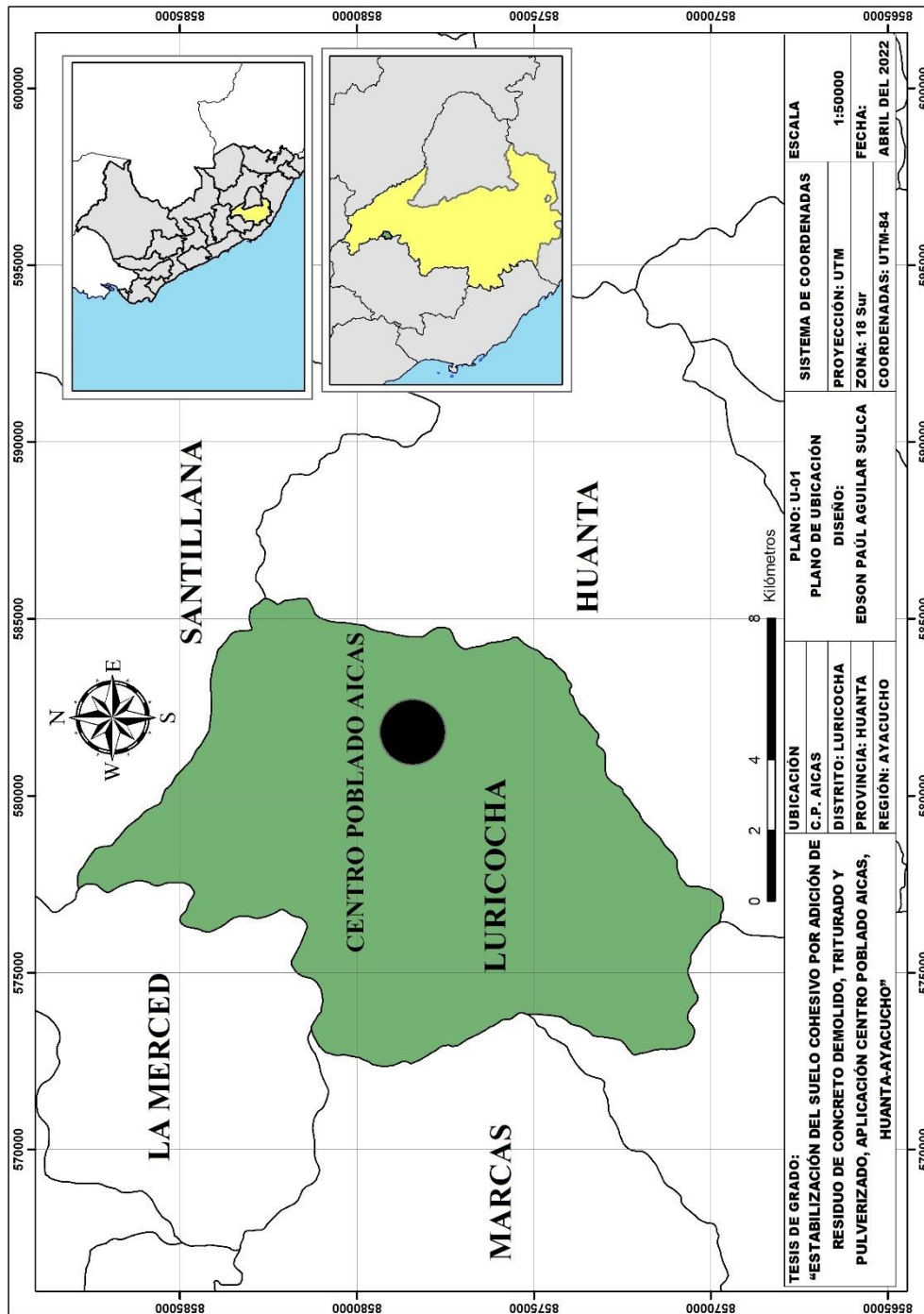


Figura 3.5. Ubicación de la zona de estudio

Elaboración propia.

La figura 3.5 muestra la ubicación del área de estudio en el Centro Poblado Aicas, Luricocha, Huanta



Figura 3.6. Vista aérea de la zona de estudio

Fuente: Google Maps, 2022.

La figura 3.6 muestra una vista aérea del Centro Poblado de Aicas-Huanta.

3.3. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

3.3.1. Obtención de las muestras de concreto demolido, triturado y pulverizado

El concreto demolido utilizado para estabilizar el suelo cohesivo en esta investigación proviene del botadero ubicado a 100 m. de la zona de estudio. Dicho botadero actualmente recibe toneladas de residuos de concreto, desmonte y tierra como se puede observar en la figura 3.7. Asimismo, en la ruta que conduce a su acceso también encontramos cúmulos de residuos de construcción como se muestra en la figura 3.8.



Figura 3.7. Botadero de escombros cerca zona estudio

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.8. RCD vertidos al borde de la vía

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Obtención del suelo cohesivo

Con la finalidad de cumplir con los objetivos de la investigación, se recolectó muestras para conocer las características físicas y químicas del suelo dentro del área de estudio. Como el presente trabajo solo tiene fines académicos se realizaron solamente tres puntos de exploración de los cuales dos fueron recolectados del corte de terreno y se realizó una calicata.

En la figura 3.9 se muestra una vista del terreno donde se aprecia las propiedades físicas del terreno (color y textura) de suelo arcilloso.



Figura 3.9. Color y textura zona de estudio

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.10, se muestra la toma de muestra el corte de terreno C-1 a una profundidad de 2 m de la superficie del suelo.



Figura 3.10. C-1 extracción de muestra de suelo

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.11 se muestra la calicata 2, donde se puede observar que el estrato arcilloso abarca varios metros de profundidad. Asimismo, se puede observar las mismas propiedades del suelo arcilloso (color y textura) extraídos de la primera. Es de la calicata 2 de donde se extrajo muestras inalteradas.



Figura 3.11. C-2 realizada y extracción de muestra de suelo

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.12 se muestra el corte de terreno C-3, donde se puede observar que el estrato arcilloso abarca varios metros de profundidad. Asimismo, se puede observar las mismas propiedades del suelo arcilloso (color y textura) extraídos de la primera y segunda calicata.



Figura 3.12. C-3 extracción de muestra de suelo

Fuente: Elaboración propia.

Las coordenadas de los puntos de exploración se muestran en la tabla 3.1 así como la distribución según la figura 3.13 en un área donde se ubican viviendas con fallas en las cimentaciones.

Tabla 3.1 Ubicación de las muestras.

Muestra	Coordenadas UTM (m)		Profundidad (m)
	Norte	Este	
C-1	8574134	577549	2.00
C-2	8574137	577580	2.00
C-3	8574141	577606	2.00

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.13. Ubicación calicata y cortes de terreno en el lugar de estudio

Fuente: Maps Google, 2022.

CAPÍTULO IV: ENSAYOS DE LABORATORIO

Para poder realizar los diferentes ensayos de laboratorio, primero fue necesario preparar la muestra de suelo natural y la muestra de residuos de concreto demolido, triturado y pulverizado. Para la obtención de la muestra de concreto demolido triturado y pulverizado se siguió la secuencia como se muestra en la figura 4.1.

En primer se recogió muestras de residuos de construcción y demolición de concreto, luego éstos fueron llevados a un proceso de chancado manual para reducir su tamaño máximo nominal de aproximadamente 3 pulgadas. El material triturado es llevado a un proceso de chancado mediante un molino de bolas, que en este caso se realizó con la máquina de abrasión de los Ángeles. Se extrae el material para posteriormente ser tamizado. El material con el que se trabaja en esta investigación es con el pasante la malla 3/8". Inicialmente se realizaron pruebas con otras granulometrías como por ejemplo usando el material pasante la malla N° 10 pero se observó por ejemplo que en el ensayo de compactación la máxima densidad seca no aumentaba, es por ello que en base a diferentes ensayos se decide trabajar con el material pasante la malla 3/8". Posteriormente el material es clasificado en 4 grupos. El primero es el material pasante la malla 3/8" y retenido en la 1/4", el segundo pasante 1/4" y retenido en la N° 4, el tercero pasante la N°4 y retenido en la N° 10, y el cuarto pasante la malla N° 10.

Al realizar el proceso de molienda, se observó que dependía de la cantidad de muestra ingresada, el número de revoluciones de la máquina y el número de bolas usadas. En el caso particular, se usó por cada molienda 10 kg de muestra con 11 bolas de acero con una masa comprendida entre 390 a 445 gramos y 500 revoluciones propios del ensayo de abrasión.

Asimismo, se observó que cuando la masa de la muestra excede a la capacidad del molino, el triturado se hace más ineficiente.



Fuente: Elaboración propia.

Para saber la facilidad con la que se realiza el triturado, se realizó un ensayo de abrasión de los Ángeles obteniéndose un desgaste del orden del 36%. Si bien es cierto que el concreto es un material bastante resistente a la compresión, su

resistencia a la abrasión es muy limitada, es por ello la facilidad de realizar el proceso de trituración. En la figura 4.2 se muestra la preparación de la muestra de concreto que se usó para realizar el ensayo de abrasión, en este caso se usó el método A que permite usar muestras de mayor tamaño nominal.



Figura 4.2. Muestra para realizar el ensayo de abrasión del concreto
Fuente: Elaboración propia.

4.1. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA

4.1.1. Análisis Granulométrico

4.1.1.1. Definición

El análisis granulométrico de suelos por tamizado es la distribución del tamaño de partículas presentes en el suelo.

4.1.1.2. Normativa

El ensayo está normado por la norma técnica peruana NTP 339.128 o su equivalente ASTM D6913.

4.1.1.3. Finalidad

Tiene por finalidad determinar la distribución del tamaño de partículas (gradación) de una muestra de suelo, es decir separados en función de su tamaño de partículas y expresado en porcentajes.

4.1.1.4. Instrumentos y equipos

Para este ensayo se necesitan los siguientes materiales y equipos:

- Juego de tamices estándar de acuerdo a la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Juego de tamices estándar

3 in (75.0 mm)	N° 4 (4.75 mm)
2 in (50.0 mm)	N° 10 (2.00 mm)
1 ½ in (37.5 mm)	N° 20 (0.850 mm)
1 in (25.0 mm)	N° 30 (0.600 mm)
¾ in (19.0 mm)	N° 40 (0.425 mm)
½ in (12.5 mm)	N° 60 (0.250 mm)
3/8 in (9.5 mm)	N° 100 (0.150 mm)
¼ in (6.3 mm)	N° 200 (0.075 mm)

Fuente: Norma ASTM D6913-17

- Balanza capaz de registrar con 4 cifras significativas (sensibilidad 0.01 g.).
- Bandejas rectangulares de 35x50 cm
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Escobilla y brocha
- Cucharón
- Pipeta, vasijas
- Tamiz N°200 (para lavado)
- Pala, barra metálica para cuarteo.
- Recipientes
- Muestra de suelo.

4.1.1.5. Procedimiento

Primero se debe obtener una muestra representativa del suelo a estudiar a través de una serie de cuarteos.



Figura 4.3. Cuarteo de la muestra de suelo

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 4.2, la norma recomienda utilizar un determinado método y para un tamaño máximo de partículas una cantidad mínima de suelo.

Tabla 4.2. Masa mínima requerida por espécimen ensayo granulometría.

Maximum Particle Size of Material (99 % or more passes)		Minimum Dry Mass of Specimen, g or kg ^A	
Alternative Sieve Designation	Maximum Particle Size, mm	Method A Results Reported to Nearest 1 %	Method B Results Reported to Nearest 0.1 %
No. 40	0.425	50 g	75 g
No. 10	2.00	50 g	100 g
No. 4	4.75	75 g	200 g ^B
3/8 in.	9.5	165 g ^C	D
3/4 in.	19.0	1.3 kg ^C	D
1 in.	25.4	3 kg ^C	D
1-1/2 in.	38.1	10 kg ^C	D
2 in.	50.8	25 kg ^C	D
3 in.	76.2	70 kg ^E	D

Fuente: Fuente: Norma ASTM D6913-17.

Los suelos arcillosos tienen sus partículas del orden de micras, y el concreto demolido y pulverizado con el que se está trabajando es pasante la malla 3/8". Por lo tanto, se escoge una cantidad mínima de 165g método A.

Segundo, después de obtener la muestra en la serie de cuarteos, pesarlo y llevarlo al horno para secado a temperatura 110 ± 5 °C hasta obtener una masa constante. Si el material presenta terrones con la ayuda del mortero de porcelana y el maso

se puede ayudar a disgregar las partículas en fragmentos pequeños de modo que se facilite su posterior lavado.



Figura 4.4. Disgregación de los terrones de arcilla

Fuente: Elaboración propia

Tercero, la muestra seca se deja enfriar y utilizando una balanza de sensibilidad adecuada se registra la masa inicial seca.

Cuarto, lavar la muestra a través del tamiz N°200, efectuar el lavado hasta asegurarse que todos los finos han sido eliminados es decir hasta que el agua de lavado empiece a salir limpia y cristalina.



Figura 4.5. Lavado a través del tamiz N°200

Fuente: Elaboración propia.

Quinto, el suelo lavado y retenido en el tamiz N°200 vaciar en un recipiente y secar en el horno a temperatura estándar por 24 horas.

Sexto, registrar la masa del suelo lavado y seco.

Séptimo, efectuar el tamizado de la muestra lavada y seca, utilizando la balanza con sensibilidad de 0.1 g y el juego de tamices de la tabla 4.1 colocados en orden descendente de mayor a menor.

Octavo, registrar la masa retenida en cada malla en la balanza, se recupera con la escobilla para los tamices gruesos y con una brocha de cerdas suaves para el caso de los tamices finos.

Noveno, verificar que la suma de las masas retenidas en cada uno de los tamices usados sea igual a la masa original de la muestra, o caso contrario que no difiera en más de 1%.



Figura 4.6. Análisis granulométrico del RC-DTP
Fuente: Elaboración propia

4.1.1.6. Cálculos

Calcular el porcentaje retenido de acuerdo a la relación:

$$\% \text{ Retenido tamiz } N = \frac{M_{\text{Tamiz } N}}{M_1} \times 100 \quad \dots (1)$$

Donde

$M_{\text{Tamiz } N}$: Masa retenida en tamiz N

M_1 : Masa de la muestra secada al horno.

- Cálculo de Coeficientes de uniformidad (C_u) y de curvatura (C_c)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \dots (2), \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad \dots (3)$$

Donde: C_u , Coeficiente de uniformidad.

C_c , Coeficiente de curvatura.

D_{10} , Diámetro efectivo o diámetro correspondiente al 10% acumulado que pasa.

D_{30} , Diámetro correspondiente al 30% acumulado que pasa.

D_{60} , Diámetro correspondiente al 60% acumulado que pasa.

Para el cálculo de los Diámetro incógnita (10, 30, 60) se puede hallar visualmente o con la siguiente ecuación:

$$D_x = DS - \frac{(\%PS - X)(DS - DI)}{\%PS - \%PI} \dots (4)$$

Donde:

D_x , diámetro correspondiente al X % acumulado que pasa.

DS, Diámetro de la malla superior.

DI, Diámetro de la malla inferior.

PS, Porcentaje que pasa por la malla superior.

PI, Porcentaje que pasa por la malla inferior.

Asimismo, cuando se desea saber los tamaños de la partícula menores a la malla 200, se recurre a la granulometría por sedimentación como se muestra en la figura 4.7.



Figura 4.7. Granulometría por sedimentación

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Límites de Atterberg

4.1.2.1. Definición

Conocido también como límites de plasticidad o límites de consistencia, se utiliza para caracterizar los suelos finos y su nombre se debe al científico sueco Albert Mauritz Atterberg (William Lambe & Whitman, 2012). Originalmente Atterberg definió seis "límites de consistencia" de los suelos de grano fino: el límite superior de flujo viscoso, el límite líquido, el límite pegajoso, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. Actualmente el término suele referirse únicamente al límite líquido, al límite plástico y, en algunas referencias, al límite de contracción.

Los límites se basan en el concepto de que un suelo fino puede existir en 4 estados de consistencia según su humedad: estado sólido, semisólido, plástico y líquido. El porcentaje de agua en los puntos de transición corresponden a los límites de consistencia.

El límite líquido (L.L.), en suelos cohesivos, es el contenido de agua (expresado en porcentaje) de un suelo, entre el límite de los estados semilíquido y plástico. Para la determinación del límite líquido se usa la copa de Casagrande donde se coloca la muestra de suelo y se golpea consecutivamente la copa contra la base de la máquina haciéndola girar mediante una manivela, hasta que el surco que se realizó previamente cierra en una longitud de 12.7 mm para 25 golpes, la humedad del suelo en esas condiciones es el límite líquido. Para calcularlo, la norma permite hacer de modo mono punto o multipunto. Se prefiere el método multipunto por la fiabilidad que este ofrece.

El límite Plástico (L.P.), en suelos cohesivos, es el contenido de agua de un suelo, entre el límite de los estados plástico y semisólido. Para el cálculo del límite plástico de debe encontrar la humedad más baja con la que pueden formarse con el suelo rollitos de 3.2 mm de diámetro, rodando dicho suelo entre los dedos de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), hasta que los rollitos presenten fisura.

El límite de contracción (L.C.) es el contenido de humedad entre los estados de consistencia semisólido y sólido. También se entiende como el contenido mínimo de agua (expresado en porcentaje), por debajo del cual una reducción de la humedad, no causará una disminución de volumen de la muestra de suelo, pero un aumento de la humedad causará un aumento en el volumen de la masa de suelo.

Relacionados con los límites líquido y límite plástico se encuentra el índice de plasticidad (I.P.).

El índice de plasticidad bajo (por ejemplo 5%) significa que un pequeño cambio de contenido de humedad lo convierte rápido de un estado semisólido a un estado líquido, es decir el suelo es muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, si el índice de plasticidad es alto (por ejemplo 25%), indica que el suelo requiere mayor cantidad de agua para pasar del estado semisólido al estado líquido. Asimismo, el índice de plasticidad logra relacionar muy bien la cantidad de

suelos finos presentes, un I.P. alto corresponde a un suelo muy arcilloso o de alta plasticidad, un I.P. bajo corresponde a un suelo poco arcillosos o de baja plasticidad.

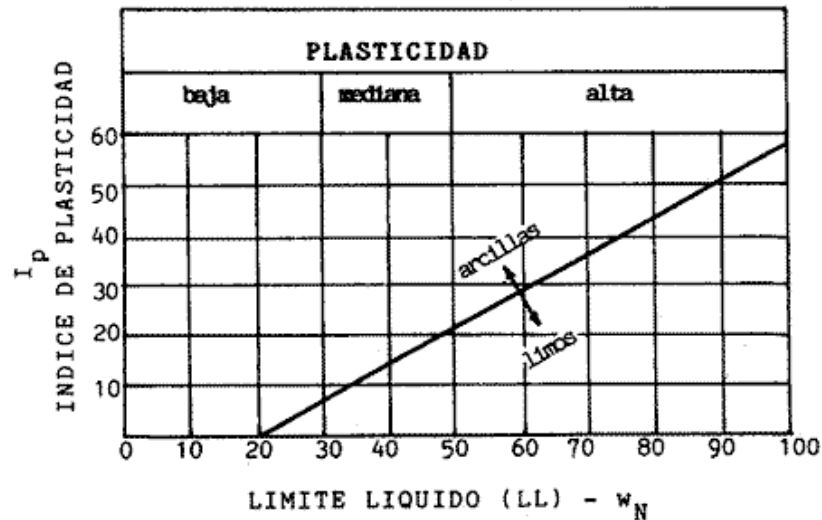


Figura 4.8. Carta de plasticidad

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2. Normativa

El ensayo está normado por la norma técnica peruana NTP 339.129 o su equivalente ASTM D4318.

4.1.2.3. Finalidad

Determinar los límites líquidos y límite plástico y poder usar estos valores para clasificar el suelo según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

4.1.2.4. Instrumentos y equipos

- Copa Casagrande
- Malla N° 40
- Ranurador plano o curvo
- Piseta de punta fina
- Vasijas de dimensiones 2.5 cm de altura por 5 cm de diámetro de aluminio o acero inoxidable
- Balanza con precisión de 0.01g
- Cápsula de porcelana
- Espátula
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.

- Franela
- Agua
- Papel absorbente
- Superficie lisa de vidrio esmerilado de dimensiones 30 cm largo y 30 cm de ancho.
- Malla N° 40
- Muestra de suelo

4.1.2.5. Procedimiento

Límite Líquido

La fracción de suelo a emplear para este ensayo es la pasante la malla N° 40.

Primero vierta 100 g. de la fracción de suelo pasante la malla N° 40 en la vasija de acero inoxidable y agregue agua destilada.

Segundo remueva bien hasta obtener una consistencia uniforme. La humedad que se debe alcanzar es tal que requiera entre 30 a 35 golpes de la cazuela que ocasiona el cierre de la franja. Si se requiere adicionar una mayor cantidad de agua agregar gradualmente en cantidades entre 1 a 3 ml.

Tercero coloque la muestra de suelo en la cazuela de bronce como se muestra en la figura 4.9. Luego con la ayuda del acanalador dividir la muestra del suelo en 2 mitades. Para evitar rasgaduras a la muestra de suelo se pueden realizar hasta en 6 pasadas del acanalador.



Figura 4.9. Muestra de suelo para ensayo límite líquido

Fuente: Elaboración propia.

Cuarto golpear la cazuela haciendo girar la manivela a una velocidad de 2 vueltas por segundo hasta que las 2 mitades del suelo se pongan en contacto en una

longitud de 13 mm. Registrar el número de golpes que se requirió para realizar el cierre de la ranura.

Quinto extraiga una franja de la muestra que hizo contacto del suelo del tamaño del ancho de la espátula.

Sexto seleccionar una tara de aluminio, registrar el peso de la tara, luego colocar la muestra de suelo que se extrajo en el paso anterior y registrar el peso de la tara incluido el peso de la muestra húmeda.

Séptimo lave, seque la cazuela y el ranurador y repita el procedimiento aumentando agua a la muestra hasta obtener otros tres puntos en este caso donde el número de golpes caiga entre 25 a 30 golpes, 20 a 25 golpes y 15 a 20 golpes.

Octavo las muestras extraídas en las cuatro taras de aluminio deben ser secados a una temperatura constante en el horno.

Límite Plástico

El material a usar para este ensayo es la fracción del suelo pasante la malla N° 40.

Primero se empieza cogiendo 20 gramos del material ensayado para el límite líquido. Luego se toman masas de 1.5 a 2 gramos y se empiezan a realizar rollitos con los dedos sobre la superficie de vidrio esmerilado.

Segundo los rollitos deben tener un diámetro de 3.2 mm, si llega a esta medida presentando fisuras o desmoronamiento, el proceso ha terminado y se coloca en el recipiente de aluminio previamente tarado. En caso no se observen las fisuras a los 3.2 mm de diámetro, se vuelve a unir y se repite el procedimiento. Se recomienda para este ensayo realizar un mínimo de 2 ensayos donde en cada ensayo se debe tener un mínimo de 6 gramos en el estado descrito y la humedad calculada se promedia, siendo este promedio el límite plástico. En la figura 4.10 se muestra los rollos en el límite plástico.



Figura 4.10. Rollitos del ensayo límite plástico

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.6. Cálculos

Calcúlese el contenido de humedad del suelo como un porcentaje del peso de suelo seco de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{Contenido de Humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} * 100$$

Trace el diagrama de fluidez que corresponde a la relación entre el número de golpes en las abscisas a escala logarítmica y el contenido de humedad a escala aritmética. La curva de flujo es la línea recta que pasa tan cercana a los 4 puntos ensayados como se muestra en la figura 4.11. Tome el límite líquido como el contenido de humedad que se obtiene de la recta para 25 golpes.

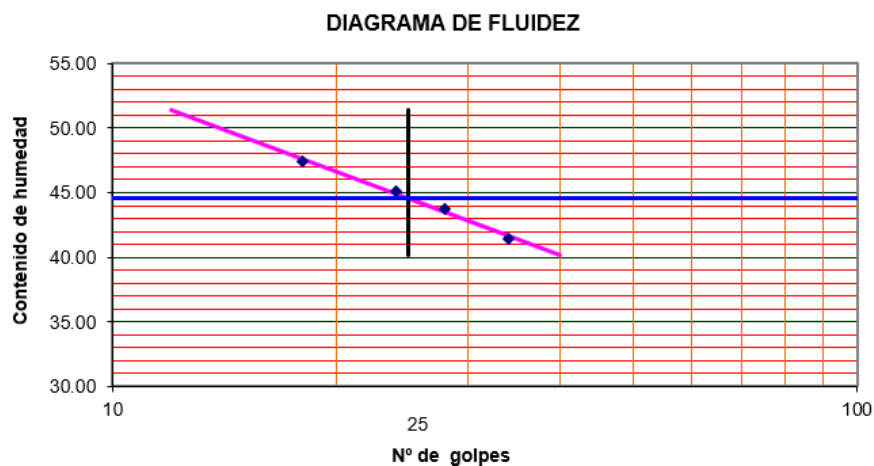


Figura 4.11. Diagrama de fluidez

Fuente: Elaboración propia

El límite plástico se calcula como el promedio de las humedades halladas en el ensayo de límite plástico, redondeado al entero.

El índice plástico se calcula como la diferencia numérica entre el límite líquido y límite plástico.

$$I.P.= L.L.-L.P.$$

4.1.3. Clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se rige en base a la norma ASTM D-2487 y su uso es el más extendido en la ingeniería geotécnica cuando se trata de fundaciones. Se basa en el análisis granulométrico y límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico) del suelo.

El sistema divide a los suelos en los suelos gruesos y suelos finos usando el tamiz N° 200. Si más del 50% es retenido en dicho tamiz el suelo es grueso y se subclasifica en grava o arena por medio del tamiz N°4. Si más del 50% es retenido por dicho tamiz el suelo es una grava, y si el pasante es más del 50% el suelo es una arena.

Si se trata de un suelo fino se subclasificación en limo o arcilla según los valores de los límites líquido y plástico de acuerdo a la carta de plasticidad figura 4.12.

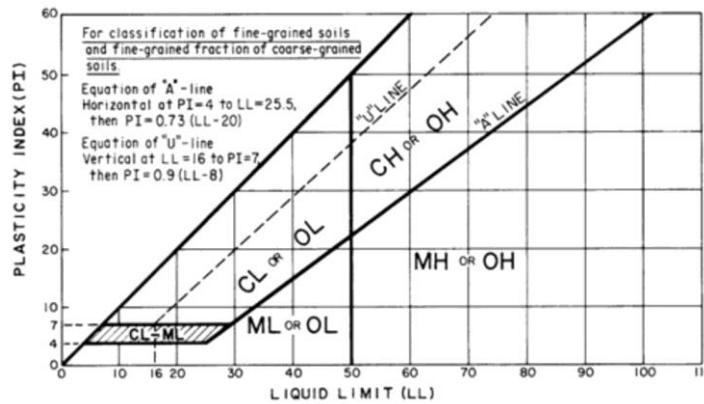


Figura 4.12. Carta de plasticidad empleado en la clasificación SUCS

Fuente: Norma ASTM D2487.

La simbología empleada para esta clasificación es según la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Simbología clasificación SUCS

G	Grava	Gravel
S	Arena	Sand
M	Limo	Mo y Mjala (Sueco)

C	Arcilla	Clay
O	Orgánico	Organic
W	Bien graduado	Well graded
P	Mal graduado	Poorly graded
C_u	Coeficiente de uniformidad	
C_c	Coeficiente de curvatura	

Fuente: (Das B. M., 2018)

Cuando se trata de una grava bien gradada (W), debe cumplir $C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$, siendo suficiente que uno de ellos no cumpla para ser mal gradada (P).

Cuando se trata de una arena bien gradada (W), debe cumplir $C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$, siendo suficiente que uno de ellos no cumpla para ser mal gradada (P).

De acuerdo al porcentaje que contiene de grava, arena, finos, los límite líquido y límite plástico podemos encontrar las siguientes combinaciones:

GW: Grava bien graduada

SW: Arena bien graduada

GP: Grava pobremente graduada

SP: Arena pobremente graduada

GM: Grava limosa

SM: Arena limosa

GC: Grava arcillosa

SC: Arena arcillosa

CL: Arcilla de baja plasticidad

CH: Arcilla de alta plasticidad

ML: Limo de baja plasticidad

MH: Limo de alta plasticidad

OL: Suelo orgánico de baja plasticidad

OH: Suelo orgánico de alta plasticidad

4.1.4. Contenido de Humedad Natural

El contenido de humedad de una muestra de suelo es la relación entre la masa de agua contenida en los espacios porosos del suelo y la masa del suelo en estado seco, expresado en porcentaje.

4.1.4.1. Definición

El peso volumétrico o densidad de suelo cohesivo, es la relación entre la masa del agua y masa del suelo seco según:

$$w_{\%} = \frac{M_w}{M_s} * 100\%$$

$w_{\%}$: Contenido de humedad expresado en porcentaje

M_w : Masa de agua presente en el suelo

M_s : Masa del suelo seco

4.1.4.2. Normativa

Determinación del contenido agua (humedad) de suelo y roca por masa ASTM D2216.

4.1.4.3. Finalidad

Para muchos materiales, el contenido de humedad es una de las propiedades más significativas usadas al establecer la correlación entre el comportamiento del suelo y los índices de propiedades.

4.1.4.4. Instrumentos y equipos

- Horno de secado capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Balanza de 0.1 gr de precisión para masas mayores a 200g y de 0.01g para masas menores a 200g.
- Bandeja para contener la muestra resistente a la corrosión y al cambio de masa debido al secado y enfriamiento continuo.
- Guantes de cuero, tenazas, etc. para manipular muestra caliente.

4.1.4.5. Procedimiento

Primero obtenga una muestra del suelo que sea representativa. Cuando la muestra es extraída del campo, esta debe ponerse en un recipiente hermético y ser ensayado lo más antes posible en el laboratorio ya que se corre el riesgo de que la muestra pierda humedad debido a la evaporación.

Segundo, registre la masa de la bandeja y la masa de la muestra húmeda usando la balanza de acuerdo al método seleccionado. Si se usa el método A, el contenido de humedad se reporta al 1.0 % y con el método B al 0.1 %.

Tercero coloque la bandeja con la muestra húmeda en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta lograr una masa constante, el cual ocurre para la mayoría de las muestras en un tiempo de secado de 12 a 16 horas.

Cuarto, después de que la muestra haya secado y tenga una masa constante, retire la bandeja del horno y dejar enfriar de modo que se pueda manipular con las manos. Cuando se le deja enfriar es recomendable tapar el contenedor para que no capte humedad del ambiente.

Quinto, registre la masa del recipiente más la masa de la muestra secada al horno. La figura 4.13 muestra el suelo natural usado para el contenido de humedad.



Figura 4.13. Muestra húmeda del suelo natural para determinar del contenido de humedad.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

4.2.1. Ensayo peso volumétrico

4.2.1.1. Definición

El peso volumétrico o densidad de suelo cohesivo, es la relación entre la masa y el volumen del suelo según:

$$\gamma_m = \frac{M}{V}$$

γ_m : Peso volumétrico de masa

M: Masa del suelo

V: Volumen de la masa del suelo

4.2.1.2. Normativa

Determinación del Peso Volumétrico de Suelo Cohesivo NTP 339.139

4.2.1.3. Finalidad

Es un método indirecto para determinar la medición de la densidad de campo para suelos cohesivos.

4.2.1.4. Instrumentos y equipos

- Balanza de 0.1 gr de precisión
- Canastilla de acero galvanizado sumergido en agua
- Recipiente para fusión de parafina
- Pipetas, espátulas, herramientas para tallado
- Recipientes para determinación de contenido de humedad

4.2.1.5. Procedimiento

Primero obtenga el espécimen de aproximadamente 10 cm, prismática o de forma irregular, cuidando que ninguna dimensión sea mucho menor que las otras como se muestra en la figura 4.14. Pesar y registrar la masa del espécimen.



Figura 4.14. Espécimen para peso volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

Segundo calentar la parafina hasta fundirlo y dejar que se enfríe de forma que sea manipulable y trabajable.

Tercero coger la muestra con los dedos y sumergir en la parafina, girar hasta cubrirla completamente como se muestra en la figura 4.15. La parafina no debe entrar a los poros del suelo, tampoco deben formarse burbujas debajo de la capa de parafina.

Cuarto deje enfriar la parafina y luego registrar la masa del suelo más parafina.

Quinto sumergir la muestra parafinada en la canastilla y registre el peso aparente como se muestra en la figura 4.16. Retire la muestra parafinada de la canastilla, seque la superficie y rómpala, tome una muestra representativa de suelo que esté libre de parafina y determine su contenido de humedad.



Figura 4.15. Parafinado del espécimen

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.16. Registro del peso aparente de la muestra parafinada
Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Ensayo Proctor Modificado

4.2.2.1. Definición

El ensayo del Proctor modificado es parte de los ensayos de compactación en laboratorio usado para determinar la relación entre el contenido de agua y la densidad seca que puede alcanzar un suelo para una energía de compactación de 2700 kN-m/m³.

4.2.2.2. Normativa

El ensayo está normado por la ASTM D1557.

4.2.2.3. Finalidad

La compactación de suelos es uno de los métodos ingenieriles bastante usado para mejorar las propiedades del suelo en terraplenes, fundaciones, bases de obras viales, etc., cuando el suelo es colocado como un relleno ingenieril. Tiene por finalidad:

- Aumentar la resistencia al corte (aumentando su estabilidad y capacidad de carga)
- Disminuir la compresibilidad reduciendo los asentamientos
- Reducir la permeabilidad disminuyendo la relación de vacíos.

Este ensayo nos brinda la máxima densidad seca que puede alcanzar un suelo bajo unas condiciones de humedad óptima y energía de compactación.

4.2.2.4. Instrumentos y equipos

- Horno
- Balanza de 1 gr de precisión y 30 kg de capacidad
- Molde cilíndrico de acero de 4" y 6" (dependiendo del método a utilizar)
- Martillo de compactación de 10lb de peso y con una caída de compactación de 18"
- Bandejas
- Tamices de 3/4", 3/8" y N°4.
- Regla metálica de 40 cm.
- Taras, espátulas, cucharas, brocha, pipeta con agua
- Muestra de suelo
- Equipo de desmolde

4.2.2.5. Procedimiento

Primero secar el material al aire libre, realizar la granulometría de la muestra por los tamices 3/4", 3/8" y N°4. Registrar el peso retenido en cada tamiz.

Segundo en base a la tabla 4.4, seleccionar el método y con ello el material a usar.

Tabla 4. 4. Determinación método proctor modificado

MÉTODO	% Acumulado retenido N°4	% Acumulado retenido 3/8"	% Acumulado retenido 3/4"	Material a usar
A	≤ 25%	-	-	Pasa N°4
B	> 25%	≤ 25%	-	Pasa 3/8"
C	-	> 25%	≤ 30%	Pasa 3/4"

Fuente: ASTM D1557-12.

Con el método seleccionado se obtiene el diámetro de molde a usar de acuerdo a la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Especificaciones de los métodos del ensayo proctor modificado

ASTM D 1557 Proctor Modificado		
Ec = Energía de Compactación	= 56,250 Lb.ft/ft ³ .	
W = Peso del martillo	= 10 lb	
h = Altura de caída del martillo	= 18 pulgadas	
N = Número de golpes por capas	= depende del molde	
n = Número de capas	= 5	
V = volumen del molde cm³	= depende del método de prueba	
Suelo y Molde a Utilizar		
Método A	Método B	Método C
Pasa la malla No. 4.	Pasa la malla 3/8"	Pasa la malla 3/4".
Molde 4 Pulg.diam.	Molde 4 pulg. Diam.	Molde 6 " pulg. diam
V = 1/30 pie ³	V = 1/30 pie ³	V = 1/13.3 pie ³
N = 25 golpes/capa	N = 25 golpes/capa	N = 56 golpes/capa

Fuente: ASTM D1557-12.

Tercero separar cuatro o cinco muestras de 2.3 kg aproximadamente método A y B, y 5.9 kg para el método C. Agregar agua a una de las muestras, mezclar hasta que quede uniformemente distribuido la humedad y separarlo en 5 porciones.

Cuarto registrar el peso del molde y su base.

Quinto colocar la primera porción en el molde y compactar con el martillo con 25 ó 56 golpes dependiendo del método hallado. Repetir con las demás porciones hasta completar la quinta capa. La última capa de suelo debe quedar de tal modo que no exceda 6 mm de la parte superior del molde.

Sexto desmontar el collarín del molde y registrar el peso del suelo compactado con el molde y la base.

Séptimo extraer el suelo del molde y hallar el contenido de humedad.

Octavo repetir el ensayo a las tres muestras adicionales aumentando o disminuyendo el contenido de humedad.



Figura 4.17. Ejecución proctor modificado

Fuente: Elaboración propia.

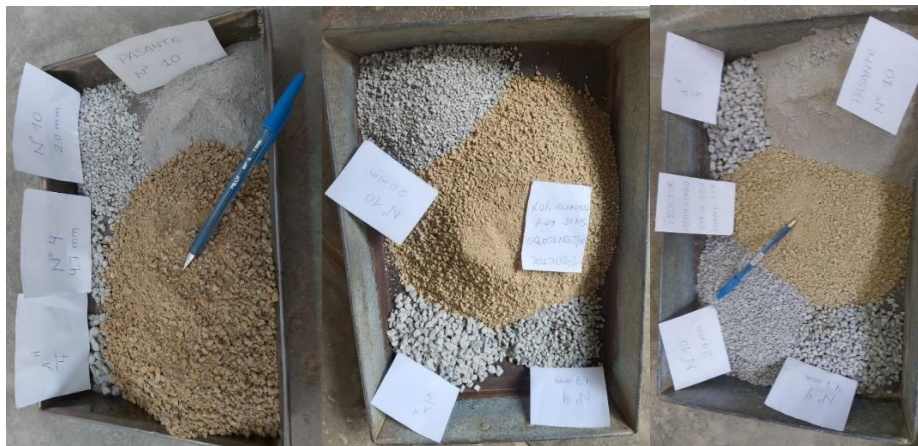


Figura 4.18. Mezcla de suelo natural al 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.18 se muestra las combinaciones de suelo natural y RCDTP en el ensayo Proctor modificado para 20, 40 y 60% de RCDTP.

4.2.3. Ensayo compresión triaxial no consolidado no drenado (U.U.)

4.2.3.1. Definición

Mediante este ensayo se determina la resistencia y las relaciones de esfuerzo-deformación de un espécimen cilíndrico inalterado o remoldeado de un suelo cohesivo. El espécimen es sujeto a una presión de confinamiento mediante un fluido (agua) en una celda triaxial. En este ensayo no se permite el drenaje durante la aplicación de la presión de confinamiento o durante la fase de compresión originándose en ambos casos una variación de presión de poros. Por lo tanto, los parámetros obtenidos en este ensayo son valores totales.

4.2.3.2. Normativa

El ensayo está normado por la ASTM D2850 Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.

4.2.3.3. Finalidad

Obtener parámetros de resistencia y relaciones de esfuerzo-deformación no consolidado- no drenado (c , ϕ totales).

4.2.3.4. Instrumentos y equipos

- Dispositivo de carga axial
- Dispositivo de medición de carga axial
- Celda de compresión triaxial de lucita
- Pistón de carga axial
- Dispositivo de control de presión
- Placa base
- Deformímetro
- Membrana de caucho
- Extractor de muestra
- Balanza (con sensibilidad de 0.01)
- Cronómetro,
- Vernier
- Regla de acero
- Sello O-ring
- Recipientes para contenido de humedad
- Muestra de suelo



Figura 4.19. Dosificación del suelo y RCDTP para ensayo triaxial

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.20. Equipo de compresión triaxial usado en el ensayo

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.21. Instrumentos usados en ensayo triaxial

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.5. Procedimiento

Preparación del espécimen

El diámetro del espécimen deberá ser como mínimo de 33mm con una relación de altura/diámetro de 2 a 2.5 el tamaño máximo del suelo a usar será menor a 1/6 del diámetro del espécimen. En este caso particular se está trabajando con un diámetro de 2.8" y una altura de 14 cm, con material pasante la malla N°4 para preparar el espécimen. Los especímenes pueden ser inalterados o remoldeados.

Cuando se trabaja con especímenes remoldeados se usa un molde partido de 2 vías y se sigue los siguientes pasos: se seca la muestra y se determina la cantidad de agua para obtener el contenido de humedad y densidad que simula las condiciones naturales en las que se encuentra el suelo. La mezcla de suelo-agua se debe dejar reposar por lo menos 16 horas antes de efectuarse el remoldeo. La masa húmeda debe ser dividida en 6 partes a fin de realizar el remoldeo en 6 capas, donde entre capa y capa se debe realizar un escarificado. Una vez formado el espécimen quitar el molde y determinar las dimensiones y masa del espécimen. El diámetro del espécimen será un promedio de los diámetros superior, inferior y medio y la altura el promedio de las alturas medias cada 120° alrededor del cilindro. Verificar el contenido de humedad con el exceso de material usado para preparar el espécimen.



Figura 4.22. Especímenes preparados para ensayo triaxial de suelo natural, 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP.

Fuente: Elaboración propia.

Ejecución del Ensayo

Primero con la ayuda del expansor de membrana colocar el espécimen dentro la membrana de látex, luego llevar el espécimen a la base de la celda donde previamente se colocó la placa de plástico o piedra porosa de ser el caso y el papel filtro tanto por la parte superior como inferior. Para asegurar que la sujeción de la membrana a la base de la celda, se usa un par de O'ring por cada lado.

Segundo cuando el espécimen queda ubicado en la base de la cámara se coloca la celda triaxial de lucita y suavemente se introduce el pistón de carga axial asegurando que quede en contacto con el cabezal. Cuando el pistón este en contacto registre la lectura del dial de deformación. Debe tener cuidado en no aplicar una presión axial al espécimen durante este proceso. Luego fije el al pistón de modo que quede por encima de la tapa del espécimen después de verificar el asentamiento y el alineamiento listo para la aplicación de la presión de cámara.

Tercero colocar la celda triaxial con el espécimen en el equipo de carga triaxial, luego realizar las conexiones correspondientes y abrir la válvula de agua hasta llenar la celda triaxial. Mediante las perillas regular la presión de confinamiento proporcionada por la compresora del equipo. Asimismo, abrir las válvulas de ingreso de agua tanto por la parte superior e inferior del espécimen para la saturación de la muestra. Una recomendación es por ejemplo saturar la presión de cámara a 10 Psi, presión de saturación en la parte superior a 8 Psi y la presión de saturación inferior a 6 Psi de modo que se garantiza que la muestra no sufrirá una consolidación en las paredes del cilindro, es decir la presión de saturación

debe ser inferior a la presión de confinamiento. Si la presión de saturación es superior, el espécimen se hinchará y se perderá el ensayo. El espécimen como mínimo debe estar saturado al 95% y para garantizar ello, se abren unas conexiones especiales que miden la presión de poros superior e inferior con la ayuda de un manómetro, se toma un promedio y éste dividido entre la presión de confinamiento como mínimo debe ser de 95%.

Cuarto posteriormente la celda triaxial con el espécimen se lleva para realizar la aplicación del esfuerzo axial en la prensa de compresión. Para ello ajuste el dispositivo medidor de carga axial y registre la lectura inicial del deformímetro al momento en que el pistón contacta con el cabezal del espécimen.

La velocidad con que se aplica la carga dependerá del tipo de suelo. La velocidad será entre 0.3 a 1 %/min. En materiales frágiles que alcanzan el esfuerzo desviador máximo a 3% a 6% de deformación se ejecuta a la menor velocidad. Las lecturas a las que se deben registrar inicialmente son cada 0.1 % hasta 0.5 %, luego cada 0.5% hasta 3%, posteriormente cada 1% hasta 15% o cuando el esfuerzo desviador haya caído un 20% o más con respecto al pico.

Cálculos:

- Calcule la deformación axial, ε para una carga aplicada dada, como sigue:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \cdot 100\%$$

Donde:

ε : Deformación axial para una carga dada

ΔH : Cambio de la altura del espécimen registrado en el deformímetro

H_0 : Altura inicial del espécimen

- Calcule el promedio del área de sección transversal A , para una carga axial aplicada dada como sigue:

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

Donde:

A_0 : promedio inicial del área de sección transversal del espécimen

ε : deformación Axial para la carga axial dada.

- Calcule la diferencia de esfuerzos principales (esfuerzo desviador), $\sigma_1 - \sigma_3$, para una carga axial aplicada dada como sigue:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{P}{A}$$

Donde:

P : medida de la carga axial aplicada (corregida para el desplazamiento y fricción del pistón, si se requiere.

A : promedio correspondiente al área de sección transversal

- Gráfico Esfuerzo-deformación:

Prepare un gráfico que muestre el esfuerzo desviador (diferencia entre los esfuerzos principales) en la ordenada y la deformación axial en porcentaje en la abscisa.

Seleccione la resistencia a la compresión no consolidada no drenada y la deformación axial en la falla.

- Gráfico Círculo de Mohr

Dibuje el diagrama Círculo de Mohr con los esfuerzos principales en la falla, que se obtienen como:

Esfuerzo principal mayor = $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d$ (máx.)

Esfuerzo principal menor = σ_3 = Presión de confinamiento en la cámara triaxial

Esfuerzo desviador máximo = σ_d (máx.)

- Trace la envolvente de falla como una tangente a los círculos construidos que intercepte los ejes de coordenadas
- Para especímenes 100% saturados la envolvente de falla de Mohr – Coulomb usualmente debe ser una línea recta horizontal en el rango de esfuerzos de confinamiento aplicados a los especímenes.
- Para especímenes parcialmente saturados la envolvente de falla de Mohr Coulomb usualmente es una curva.
- En base a la intersección de la tangente con la ordenada obtenga los parámetros de resistencia C y ϕ para la condición no consolidada no drenada.

4.2.4. Ensayo consolidación unidimensional

4.2.4.1. Definición

Mediante este ensayo se determina disminución del volumen y la velocidad con que esta disminución se produce a un espécimen de suelo, confinado lateralmente sujeto a una carga axial. En esta prueba se aplica una serie de incrementos de carga axialmente y por efecto de estos incrementos el agua tiende a salir a salir del espécimen a través de la piedra porosa que está colocada en la parte superior e inferior. El cambio de volumen que experimenta el espécimen se mide con dial montado en un puente fijo y conectado a la placa de carga que esta sobre la piedra porosa superior.

4.2.4.2. Normativa

El ensayo está normado por la ASTM D2435 Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading.

4.2.4.3. Finalidad

Determinar los parámetros de compresibilidad del suelo para la evaluación del asentamiento por consolidación.

4.2.4.4. Instrumentos y equipos

- Consolidómetro
- Discos porosos
- Equipo de transmisión de carga
- Dial de deformación
- Balanza
- Horno
- Conjunto de pesas de 100 gramos, 200 gramos, 0.5 Kg, 1 Kg, 4 Kg y 16 Kg.
- Balanza (con sensibilidad de 0.1 gramo)
- Vernier



Figura 4.23. Marco de carga con consolidómetros

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.24. Componentes del consolidómetro

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4.5. Procedimiento

Preparación del espécimen

Realizar el tallado del espécimen dentro del anillo de consolidación con la ayuda de un tallador y tener cuidado para evitar la alteración de la muestra en el proceso

de tallado o cambios en el contenido de humedad. El espécimen debe estar lo más inalterado que sea posible. Muestras alteradas darán resultados erróneos. El volumen de la muestra debe ser exactamente el del anillo de consolidación, ya que de lo contrario no se garantiza el confinamiento lateral completo.

El espécimen debe estar orientado en la misma dirección que se encuentra en el terreno.

Ejecución del Ensayo

Determinar la masa inicial del espécimen en el anillo de consolidación para ello calcule la masa del espécimen más el anillo de consolidación, luego reste la masa del anillo. Regístrese con una aproximación de 0.01 g. Asimismo determine la altura inicial y el diámetro de la muestra.

Ubicar la muestra en el consolidómetro de modo que el espécimen esté protegido por papel filtro en ambas caras y piedra porosa que permita el drenaje en las caras superior e inferior.

Ubicar el espécimen en el equipo de transmisión de carga y centre cuidadosamente la piedra porosa superior bajo el marco de carga.

Fijar el anillo para la saturación y colocar el deformímetro.

Balancee las palancas de carga y coloque un pequeño peso de 100 gramos de modo que el brazo haga un contacto estable con el espécimen. Verificar que la piedra porosa superior esté colocada de forma horizontal.

Sature la muestra y si se observa que la muestra se expande, añada progresivas cargas para detener la expansión. Una vez alcanzado el equilibrio, se procede a realizar el incremento de cargas.

Realizar el incremento de cargas que dupliquen la presión sobre la muestra obteniendo presiones sobre el espécimen del orden de 0.25, 0.5, 1, 2, 4 y 8 kg/cm². Observe y registre lecturas a los 8s, 15s, 30s, 1 minuto, 2 minutos, 4 minutos, 8 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas y 24 horas. Al colocar las cargas deberá siempre evitarse el impacto.

Una vez culminada con la serie de incrementos, continúa la etapa de descarga, reduciendo a la mitad la presión cada 24 horas. Luego de descargar totalmente, se deja recuperar el espécimen hasta observar que la diferencia en el dial de deformación no varíe o sea mínima.

Se retira el consolidómetro del equipo de carga, se vacía el agua, se desmonta y recupera el anillo con la muestra. Se registra la masa del suelo saturado con el

anillo y se resta la masa del anillo para obtener las condiciones de humedad final y masa de suelo seco. Se debe evitar cualquier pérdida de partículas de suelo.

4.2.5. Ensayo expansión controlada

4.2.5.1. Definición

Mediante este ensayo se estiman las magnitudes de expansión de un perfil de suelo confinado lateralmente en un molde rígido y cargado verticalmente con incrementos que depende del propósito del ensayo. El método que se usa para el caso particular es el método A donde se trabaja con especímenes remoldeados. El método B se usa en especímenes inalterados y el método C es usado para medir la carga inducida de compresión subsecuente a la etapa de expansión inducida por humedecimiento.

4.2.5.2. Normativa

El ensayo está normado por la ASTM D4546 Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils.

4.2.5.3. Finalidad

Estimar la expansión de un perfil de suelo confinado a través de la medición de las expansiones inducidas por humedecimiento. Asimismo, también es posible estimar la magnitud de la presión de expansión y las deformaciones en la etapa de expansión libre usando el método A.

4.2.5.4. Instrumentos y equipos

- Consolidómetro
- Discos porosos
- Equipo de transmisión de carga
- Dial de deformación
- Balanza
- Horno
- Conjunto de pesas de 100 gramos, 200 gramos, 0.5 Kg, 1 Kg, 4 Kg y 16 Kg.
- Balanza (con sensibilidad de 0.1 gramo)
- Vernier

4.2.5.5. Procedimiento

Preparación del espécimen

El espécimen se prepara de manera similar que en el ensayo de consolidación unidimensional. En el caso particular la densidad a la que se preparó el espécimen de suelo natural fue a la densidad seca con que se obtuvo en el campo de 1.868 g/cm^3 , que es equivalente al 98 % de la máxima densidad seca del ensayo del Proctor modificado con un contenido de humedad equivalente al óptimo igual a 12.4 %. Posteriormente una vez remoldeada la muestra, la humedad fue reducida hasta llegar a 5.8% para tener un mayor rango de variación de humedad que simula las estaciones de calor y lluvia a la que se encuentra la zona de estudio. En la figura 4.25 se muestra los especímenes usados en este ensayo.



Figura 4.25. Especímenes remoldeados ensayo de expansion controlada.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 4.26 muestra el proceso de secado que se realizó a los especímenes a una baja temperatura ($28 \text{ }^\circ\text{C}$) de modo que no se altere la estructura de los minerales del suelo. Recalcar nuevamente que esta parte no se menciona en la norma, pero por razones de adaptar las condiciones a las que es expuesto el suelo en la zona de estudio por el cambio de estaciones climáticas fue necesario realizarlo para observar mejor su comportamiento.



Figura 4.26. Secado de los especímenes

Fuente: Elaboración propia.

Ejecución del Ensayo

En primer lugar, este ensayo es parecido al ensayo de consolidación unidimensional hasta la colocación de los especímenes en el marco de carga. En segundo lugar, inundar el espécimen con agua y registrar las deformaciones en intervalos de tiempo de 0.1 min, 0.25 min, 0.5 min, 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min, 1h, 2h, 4h, 8h, 24h, 48h, 72 h hasta que la expansión por cambio de volumen sea completada. Posteriormente para controlar la expansión se precede a realizar incrementos de carga. Inicie con una presión de 0.1 kg/cm^2 y registre las deformaciones intervalos de tiempo de 0.1 min, 0.25 min, 0.5 min, 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min, etc., hasta que la lectura en el dial de deformaciones se estabilice. Posteriormente, incremente la presión para contrarrestar la expansión y repita el paso anterior. Esta etapa culmina hasta que se haya contrarrestado completamente la expansión que se produjo en la anterior etapa.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS**5.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA**

Los resultados de los ensayos de laboratorio se encuentran en este en el anexo.

5.1.1. Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico de suelos por tamizado es la distribución del tamaño de partículas presentes en el suelo.

Tabla 5.1. Límites de Atterber y composición granulométrica del suelo natural.

Muestra	Límites de Atterberg			Composición granulométrica		
	L.L.	L.P.	I.P.	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)
C-1	45	25	20	0.2	0.8	98.9
C-2	47	20	27	0	0.4	99.6
C-3	48	22	26	0	0.7	99.3

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Límites de Atterberg

Tabla 5.2. Límites de Atterber y composición granulométrica del suelo natural.

Concentración RCDTP (%)	Gravedad específica relativa de sólidos G_e	Límites de Atterberg				Composición granulométrica		
		L.L.	L.P.	I.P.	L.C.	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)
0	2.718	47	20	27	13.1	0	0.4	99.6
20	2.698	44	28	16	29.3	4.6	12.7	82.7
40	2.679	41	29	12	28.16	9.2	24.8	66.0
60	2.659	37	28	9	26.45	13.7	36.9	49.4
100	2.620	NP	NP	NP	NP	22.7	60.7	16.6

Fuente: Elaboración propia.

La gravedad específica del suelo disminuye al incrementar el porcentaje de residuo de concreto demolido y pulverizado hasta alcanzar valores cercanos a los del residuo de concreto.

El suelo es plástico con un I.P. de 27 a comparación del residuo de concreto demolido y pulverizado que no tiene plasticidad, es así que al incrementar el porcentaje de residuo la mezcla resultante reduce su plasticidad hasta un I.P. de 9 para 60 % de residuo de concreto. Un comportamiento similar en la reducción de la gravedad específica y límites de consistencia se observó en la investigación realizada por Ochoa Averos,(2019), los mismos que usaron una matriz limo arcillosa con porcentajes de concreto pulverizado de 20%, 40%, 60% y 80% donde a partir de 60% de material reciclado la muestra perdía por completo su plasticidad.

SILVA,, FUCALE, & FERREIRA (2019), trabajaron con una matriz de suelo arena arcillosa donde usaron residuos de construcción y demolición fino combinando en porcentajes de 10%, 20% y 30% tambien observaron el comportamiento de la reduccion de la gravedad especifica y la plasticidad a medida que aumentaba el porcentaje de residuo.

En el ensayo de granulometría por sedimentación el agente dispersante usado fue hexametáfosfato de sodio, por la alta efectividad dispersante en arcillas (Bowles J. , 1980).

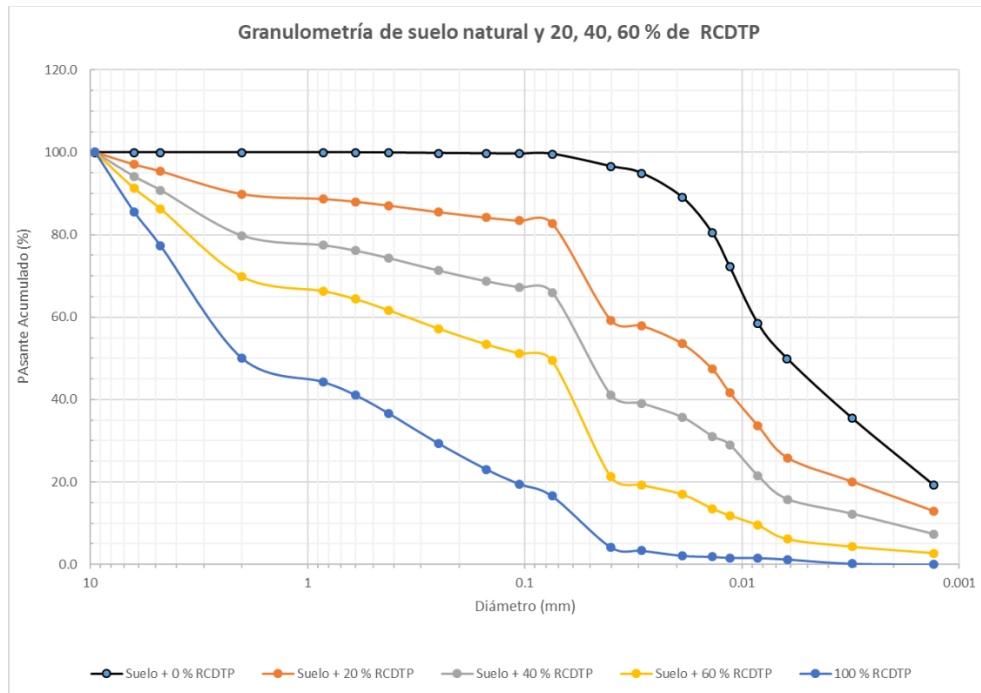


Figura 5.1 Curva granulométrica suelo y combinación % RCDTP.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo la norma E.050 en su artículo 37 nos menciona que en suelos cohesivos con bajo grado de saturación y alta plasticidad ($LL \geq 50$) el profesional responsable debe incluir en su estudio de mecánica de suelos un análisis del potencial de expansión (E_p) en base al índice plástico, el porcentaje de partículas menores a 2 μm y de la actividad de la arcilla (A).

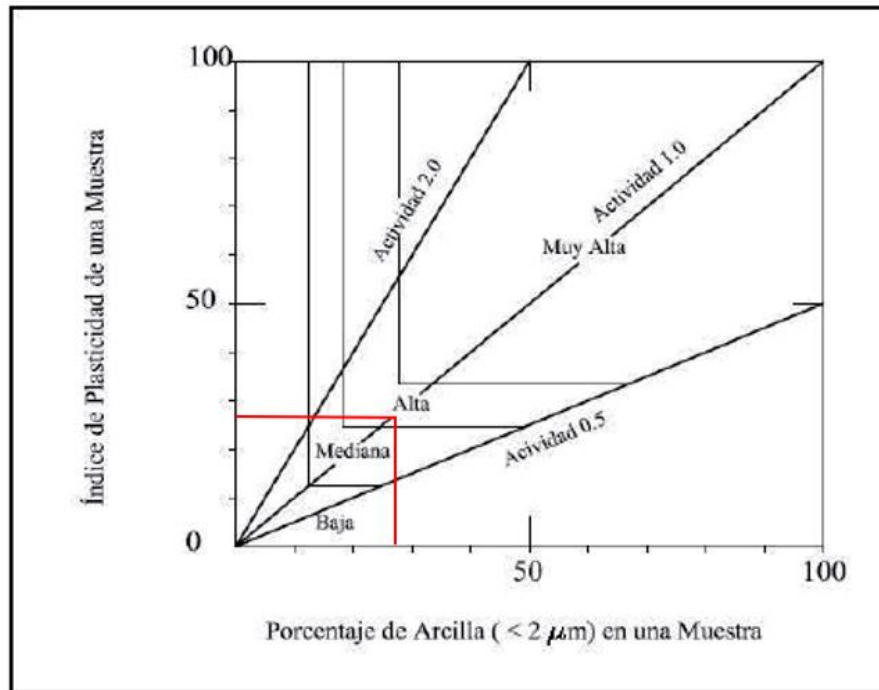


Figura 5.2 Clasificación de cambio de potencial de volumen.

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018.

5.1.3. Clasificación SUCS

La tabla 5.3 muestra la clasificación granulométrica del suelo natural y el suelo a diferentes porcentajes de RCDTP.

Tabla 5.3. Clasificación granulométrica

Concentración RCDTP (%)	SUCS	AASHTO
	Siglas	Siglas
0	CL	A-7-6(1)
20	ML	A-7-6(4)
40	ML	A-7-6(1)
60	SM	A-4(2)
100	SM	A-1-b(0)

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Contenido de Humedad

El contenido de humedad natural de la muestra de acuerdo a los resultados de laboratorio es de 13 %.

5.2. RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

5.2.1. Peso volumétrico

De acuerdo al reporte de resultados de laboratorio, se observa que el peso volumétrico de la muestra inalterada es de 2.111 g/cm^3 . Asimismo, con un contenido de humedad natural de 13% resulta una densidad seca de 1.868 g/cm^3 . Asimismo, según la figura 5.3, se trataría de una arcilla dura.

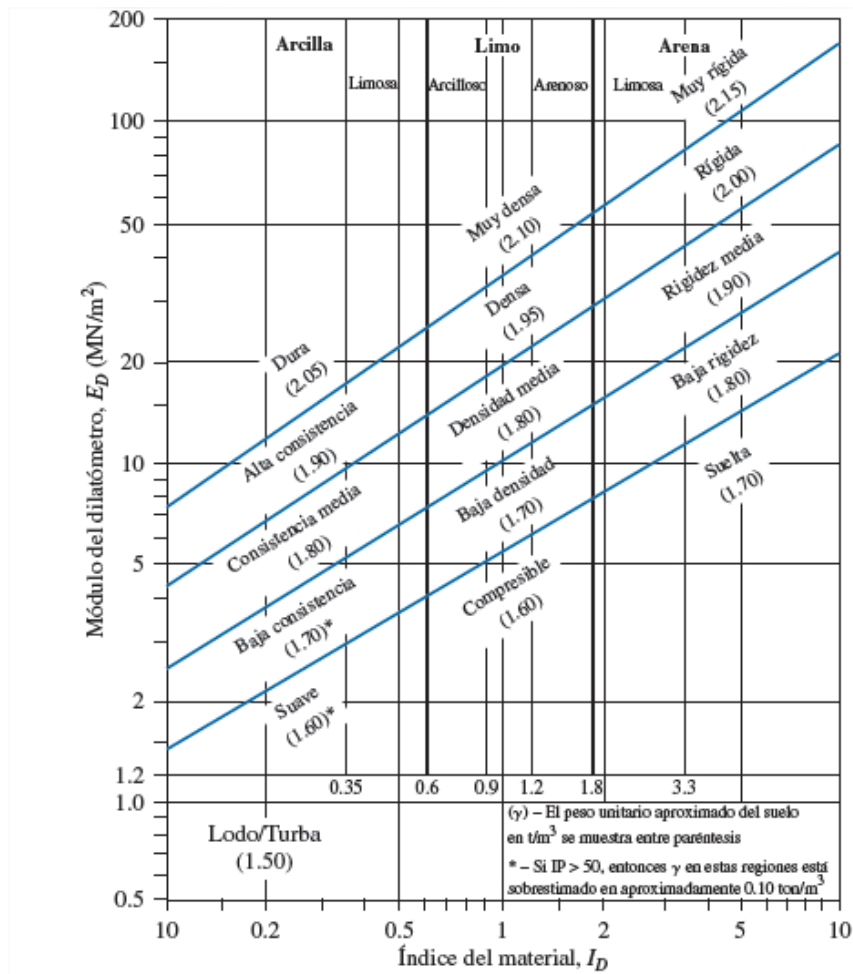


Figura 5.3. Abaco descripción del suelo según el densidad.

Fuente: Schmertmann, J.H., 1986.

5.2.2. Proctor modificado

En la tabla 5.4 se resume los resultados del ensayo de Proctor modificado, donde se muestran los valores del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca alcanzados para el suelo natural y diferentes concentraciones de RCDTP.

Tabla 5.4. Máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad del ensayo Proctor modificado.

Concentración RCDTP (%)	Óptimo contenido de humedad (%)	Máxima densidad seca γ_s (g/cm)
0	12.40	1.906
20	10.20	1.953
40	12.15	1.980
60	12.05	1.996

Fuente: Elaboración propia.

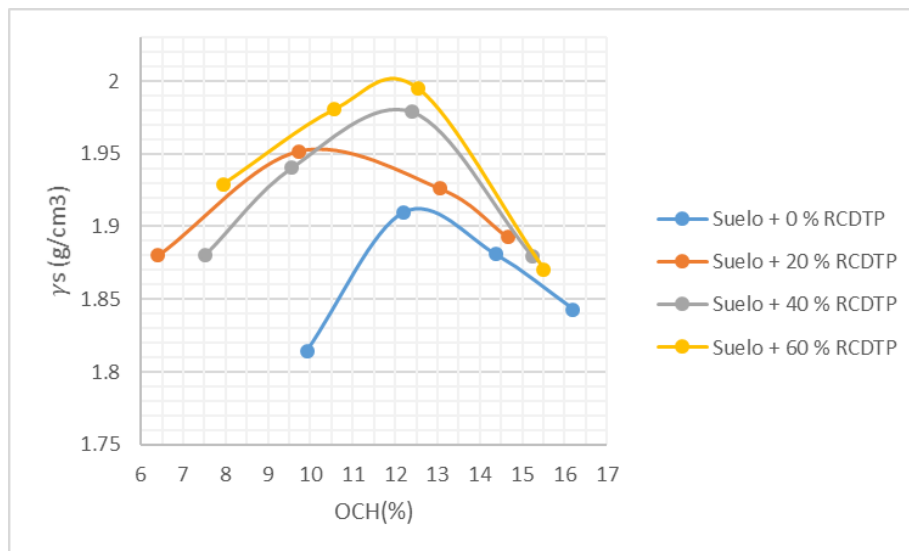


Figura 5.4. Curva máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad suelo y combinación % RCDTP.

Fuente: Elaboración propia.

Con el aumento del porcentaje de residuo de concreto demolido y pulverizado se observó un incremento de la máxima densidad seca. En todos los casos se observa una reducción del óptimo contenido natural con respecto al suelo natural. Para un 20% de residuos el óptimo contenido de humedad disminuye en más del 2% y aumenta la máxima densidad seca en más de 2%. Para un 40% de residuo, el óptimo contenido de humedad aumenta ligeramente respecto al anterior y la máxima densidad seca también se incrementa. Con un 60% de residuo, se observa el mayor incremento de la máxima densidad seca, incrementando de 1.906 a 1.996 g/cm³, es decir un incremento de 4.5% referente al suelo natural.

La densidad de campo hallada para el suelo natural húmedo por el método del parafinado es de 2.111 g/cm³ para el suelo con una humedad de 13 %. Por lo tanto haciendo el cálculo para la densidad seca obtenemos 1.868 g/cm³. Comparando con el ensayo del Proctor modificado el suelo natural se encuentra al 98 % de la máxima densidad seca.

En caso del suelo con las combinaciones de concreto demolido, triturado y pulverizado la densidad seca garantizada sería al 95% de la máxima densidad seca, obteniéndose la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Máxima densidad seca al 95%.

Suelo Natural + % RCDTP	Máxima densidad seca (g/cm ³)	95% Máxima densidad seca (g/cm ³)
Natural + 0 %CDTP	1.906	1.811
Natural + 20 %CDTP	1.953	1.855
Natural + 40 %CDTP	1.980	1.881
Natural + 60 %CDTP	1.996	1.896

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Compresión triaxial

Se encontraron los valores del ángulo de fricción y cohesión totales para los diferentes porcentajes de residuo de concreto demolido, triturado y pulverizado. En la siguiente tabla 5.6 se muestran dichos valores.

Tabla 5.6. Ángulo de Fricción y Cohesión.

Suelo natural + % RCDTP	Ángulo de fricción (°)	Cohesión ($\frac{kg}{cm^2}$)
Natural + 0 % RCDTP	18.72	0.08
Natural + 20 % RCDTP	24.59	0.06
Natural + 40 % RCDTP	27.21	0.03
Natural + 60 % RCDTP	29.09	0.02

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5.4 podemos observar el tipo de falla de los especímenes ensayados en suelo natural, al 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP.



Figura 5.5. Especímenes después del ensayo triaxial para diferentes concentraciones de RCDTP.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4. Consolidación unidimensional

En la tabla 5.7 se muestra un resumen de los principales parámetros del ensayo de consolidación unidimensional que se llevó a cabo. Para el suelo natural, la

curva de consolidación como se muestra en la figura 5.5 indica una mayor variación de relación de vacíos desde que la muestra se empieza a consolidar con una carga de $0.25 \frac{Kg}{cm^2}$ hasta que se le aplica una carga de $8 \frac{Kg}{cm^2}$ es de $\Delta e_{natural} = 0.060$, siguiendo esa misma lógica para el suelo con una combinación de 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP las variaciones de relación de vacíos son $\Delta e_{20\% RCDTP} = 0.092$, $\Delta e_{40\% RCDTP} = 0.029$ y $\Delta e_{60\% RCDTP} = 0.054$ respectivamente. De ahí se puede observar que para una concentración de 40 % de RCDTP la muestra tiene un mejor comportamiento. Lo anteriormente indicado también se puede ver en la figura 5.5 donde la curva de consolidación para 40 % de RCDTP es más plana con respecto a las otras curvas.

Tabla 5.7. Resumen resultados del ensayo consolidación unidimensional.

Condiciones	Iniciales				Finales			
	0%	20 %	40 %	60 %	0%	20 %	40 %	60 %
Caract. del Especimen / % RCDTP								
Diámetro (cm)	11.217	11.240	11.240	11.217	11.217	11.240	11.240	11.217
Altura (cm)	3.836	3.826	3.832	3.836	3.677	3.572	3.571	3.680
Densidad Húmeda (g/cm3)	2.111	2.152	2.221	2.239	2.243	2.318	2.285	2.350
Densidad Seca (g/cm3)	1.868	1.953	1.980	1.998	1.949	2.092	2.023	2.083
Humedad (%)	13.0	10.2	12.15	12.05	15.1	10.8	12.9	12.8
Gravedad Específica	2.718	2.698	2.679	2.659	2.718	2.698	2.679	2.659
Relación de vacíos , e	0.455	0.381	0.353	0.330	0.395	0.289	0.324	0.276

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.8. Índices de recompresión, consolidación y expansión.

Parámetros	% RCDTP			
	0%	20 %	40 %	60 %
Índice de Recompresión Cr	0.019	0.031	0.003	0.012
Índice de Consolidación Cc	0.072	0.085	0.054	0.052
Índice de Expansión Cs	0.011	0.012	0.004	0.007

Fuente: Elaboración propia.

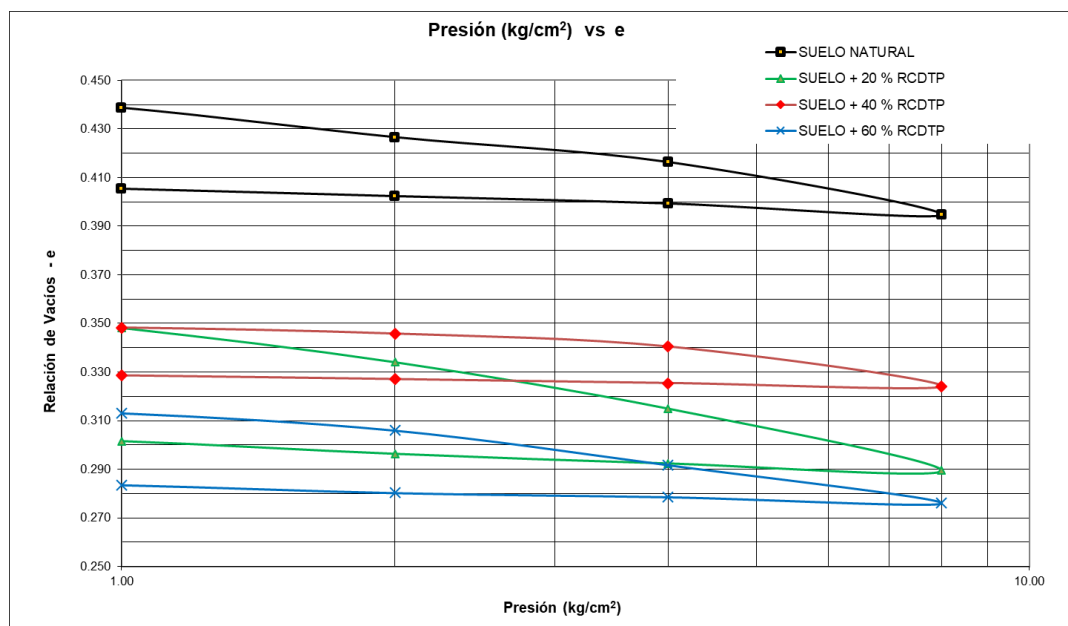


Figura 5.6. Curva de consolidación para suelo natural y 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP.

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, para poder tener una mejor idea de cuan influyente puede ser el proceso de consolidación de la arcilla de la zona de estudio cuando se ejecute la construcción de la vivienda se necesita comparar con otros tipos de suelos, es por ello que se toman como puntos de comparación en diferentes tipos de suelos donde también se realizó el ensayo de consolidación en base a la data recolectada con permiso del laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNI, entre estos tenemos suelo del Callao tipo MH, suelo de Tacna tipo GP-GM, suelo de Andahuaylas tipo CL y suelo de Ucayali tipo CH. Los datos del suelo antes y

después del ensayo de consolidación se muestran en la tabla 5.9 y las gráficas donde se comparan los resultados se muestran en la figura 5.6.

Tabla 5.9. Resumen de resultados del ensayo consolidación unidimensional en suelos de diferentes lugares del país.

Condiciones	Iniciales					Finales				
	Suelo CC.PP. Aicas	Suelo Callao MH	Suelo Tacna GP-GM	Suelo Andahuaylas CL	Suelo Ucayali CH	Suelo CC.PP. Aicas	Suelo Callao MH	Suelo Tacna GP-GM	Suelo Andahuaylas CL	Suelo Ucayali CH
Diámetro (cm)	11.217	11.230	11.240	11.24	11.217	11.217	11.230	11.240	11.24	11.217
Altura (cm)	3.836	3.160	3.832	3.770	3.836	3.591	2.550	3.751	3.285	3.273
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2.111	1.654	1.998	1.642	1.987	2.263	1.933	2.125	1.930	2.201
Densidad Seca (g/cm ³)	1.868	1.243	1.782	1.297	1.635	1.995	1.541	1.821	1.489	1.917
Humedad (%)	13.0	33.0	12.2	26.6	21.5	13.4	25.5	16.7	29.6	14.8
Gravedad Específica	2.718	2.742	2.740	2.660	2.669	2.718	2.742	2.740	2.660	2.669
Relación de vacíos, e	0.455	1.205	0.537	1.051	0.632	0.362	0.779	0.505	0.787	0.393

Fuente: Elaboración propia.

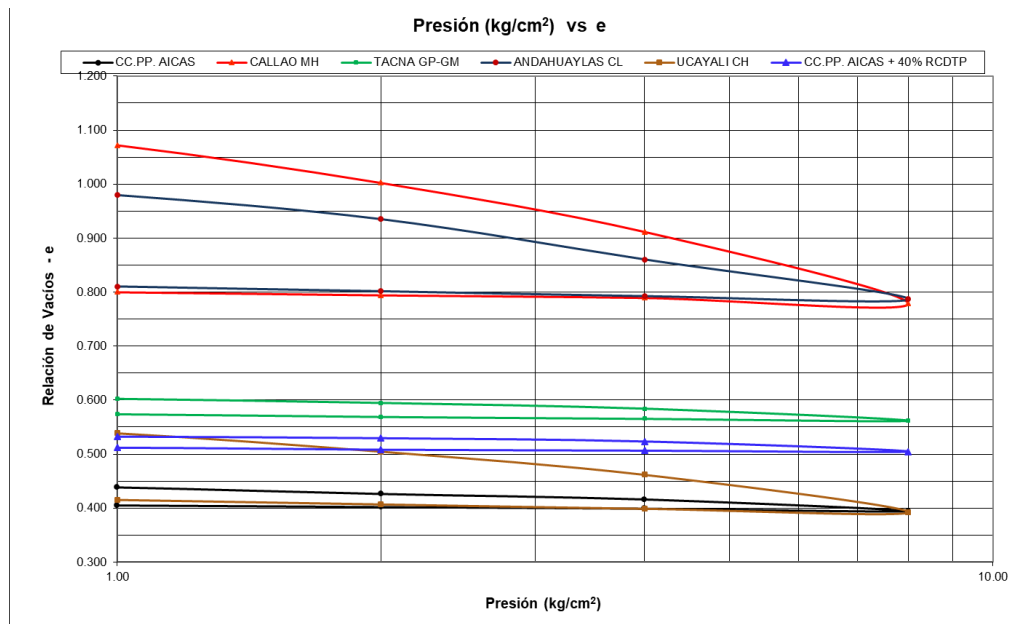


Figura 5.7. Curva de consolidación para diferentes tipos de suelo del país.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 5.7 se puede notar claramente que tanto el suelo del Callao tipo MH el efecto de la consolidación será más influyente, luego le sigue el suelo de Andahuaylas tipo CL y el suelo de Ucayali tipo CH. El suelo de Tacna tipo GP-GM se observa que la curva al estar más plana el efecto de la consolidación es prácticamente despreciable. Ahora si comparamos la arcilla que se encuentra en el CC.PP. de Aicas, el efecto de la consolidación también será poco influyente el cual se contrasta ya que se trata de una arcilla dura. Por otro lado se observa también que el comportamiento del suelo con un porcentaje de 40 % de RCDTP se tiene un mejor comportamiento que todos los suelos anteriormente mencionados.

5.2.5. Expansión controlada

En la tabla 5.10 se muestra un resumen de los principales parámetros del ensayo de expansión controlada que se llevó a cabo.

Tabla 5.10. Resumen resultados del ensayo expansión controlada.

Condiciones	Iniciales				Finales			
	0%	20 %	40 %	60 %	0%	20 %	40 %	60 %
Caract. del Especimen / % RCDTP								
Diámetro(mm)	112.17	112.40	112.23	112.40	112.17	112.40	112.23	112.40
Altura(mm)	38.36	38.32	38.23	38.26	40.42	38.59	38.27	38.36
Densidad Seca (gr/cm3)	1.868	1.953	1.980	1.956	1.773	1.939	1.978	1.951
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.983	2.066	2.095	2.069	2.119	2.223	2.240	2.220
Húmedad (%)	6.1	5.8	5.8	5.8	19.5	14.6	13.2	13.8
Saturación (%)	36.7	41.0	44.01	42.9	99.4	100.0	100.00	100.0
Gravedad de solidos (Gs)	2.718	2.698	2.679	2.659	2.718	2.698	2.679	2.659
Relacion de vacios (e)	0.45	0.382	0.353	0.360	0.53	0.391	0.354	0.363
Expansion %	-	-	-	-	5.13	0.75	0.24	0.3

Fuente: Elaboración propia.

Para el suelo natural y combinaciones con 20 %, 40% y 60 % de RCDTP , la curva de expansión es como se muestra en la figura 5.8, figura 5.9, figura 5.10 y figura 5.11 respectivamente. Un mayor índice indica una mayor expansión desde el momento que el espécimen entra en contacto con el agua hasta la saturación final.

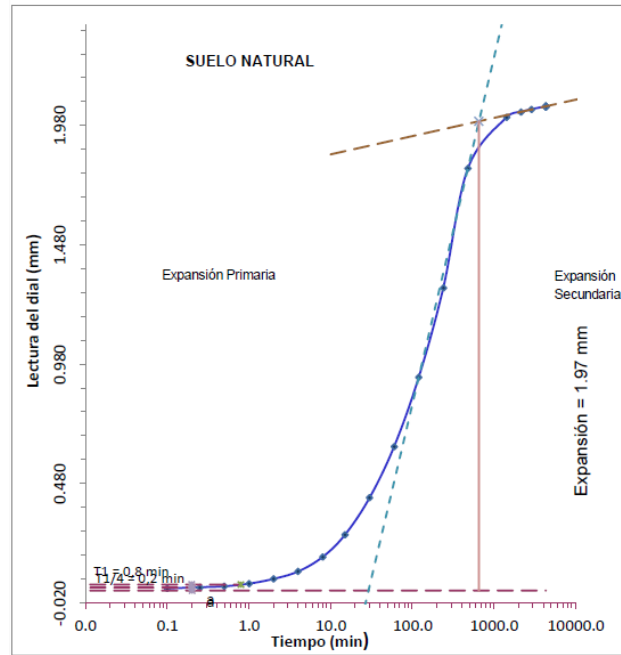


Figura 5.8. Curva de expansión del suelo natural.
Fuente: Elaboración propia.

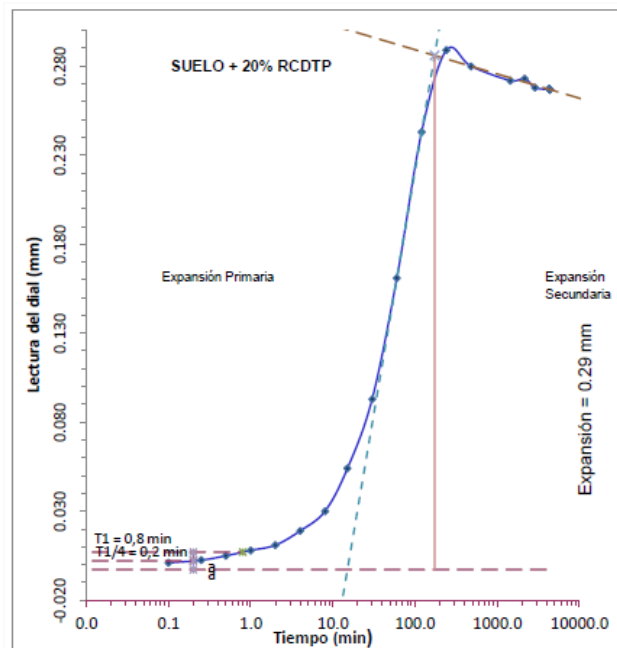


Figura 5.9. Curva de expansión del suelo con 20 % de RCDTP.
Fuente: Elaboración propia.

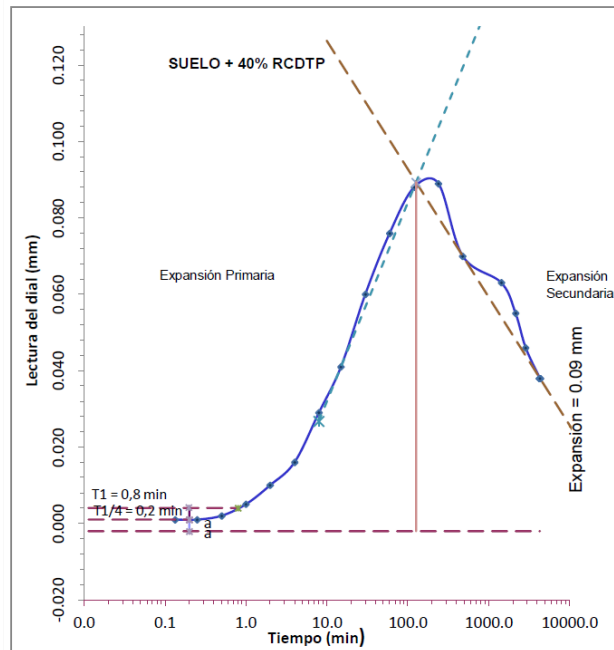


Figura 5.10. Curva de expansión del suelo con 40 % de RCDTP.

Fuente: Elaboración propia.

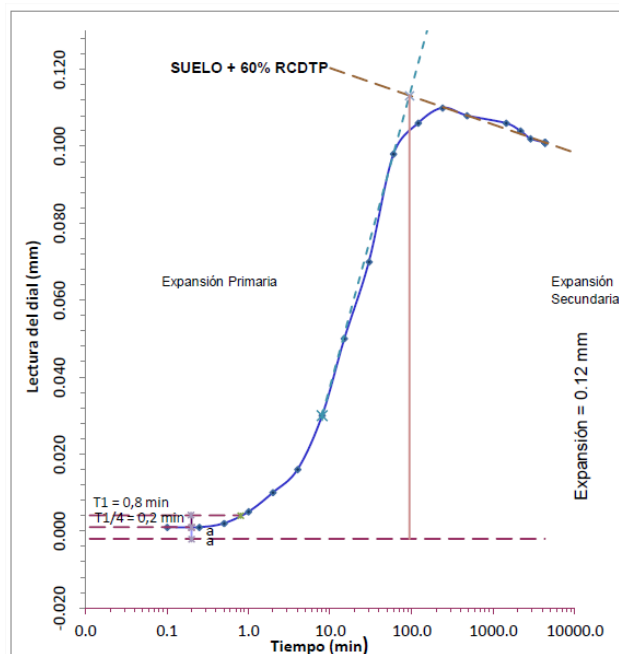


Figura 5.11. Curva de expansión del suelo con 60 % de RCDTP.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, la figura 5.12 muestra un resumen de las curvas de expansión superpuestas para el suelo natural y suelo estabilizado al 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP.

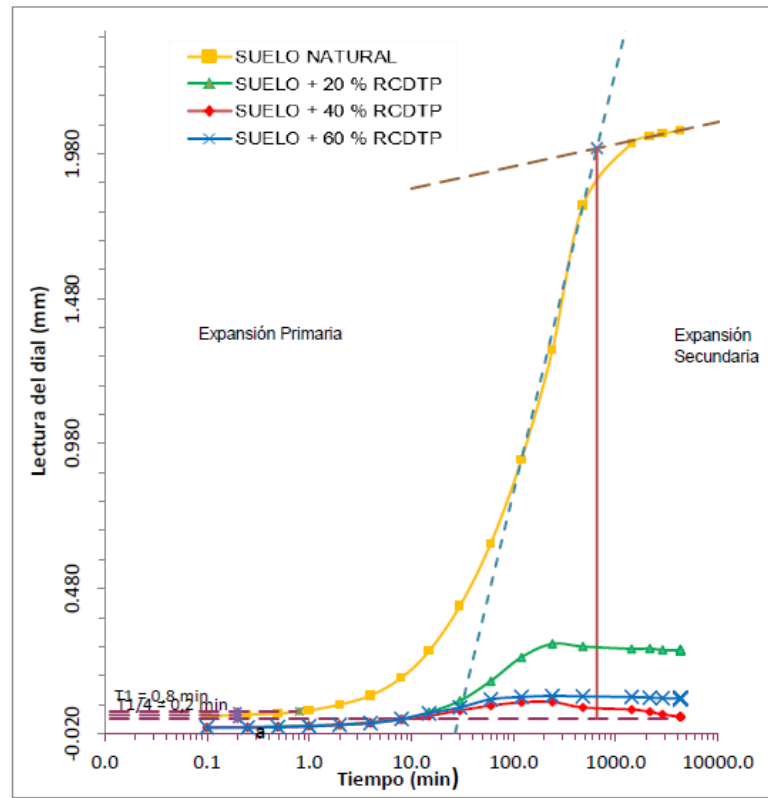


Figura 5. 12. Curvas de expansión para el suelo natural, y estabilizado con 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado en la norma en el artículo 37 nos menciona que cuando el profesional responsable encuentre evidencias de suelos expansivos este debe sustentar su evaluación mediante el ensayo para la determinación del hinchamiento unidimensional de suelos cohesivos. En base a ello se obtendrá el potencial de expansión según la tabla 5.11.

Tabla 5. 11. Clasificación de suelos expansivos

Potencial de expansión Ep	Expansión en consolidómetro, bajo presión vertical de 7 kPa (0,07 kgf/cm2)	Índice de plasticidad IP	Porcentaje de partículas menores que dos micras
%	%	%	%
Muy alto	> 30	> 32	> 37
Alto	20 – 30	23 – 45	18 – 37
Medio	10 – 20	12 – 34	12 – 27
Bajo	< 10	< 20	< 17

Fuente: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018.

De acuerdo a la tabla anterior y los resultados de expansión podemos observar que para el suelo natural de la calicata 2, el potencial de expansión estaría en el

rango de medio a alto y para el suelo con 40% de RCDTP en el rango de potencial de expansión se reduce a bajo.

Para el caso de la expansibilidad se sabe que el grado de expansión depende del tipo de mineral de arcilla que compone el suelo, y que el grado de expansión aumenta en el orden caolinita, illita, montmorilonita. El levantamiento y asentamiento de estructuras sobre arcillas expansivas según Juárez Badillo & Rico Rodríguez (2005):

Las expansiones y compresiones del suelo en los ciclos de humedecimiento y secado pueden causar daños apreciables en las estructuras que se construyan sobre las arcillas expansivas, en especial las zapatas y losas poco profundas son sensibles a estos cambios. La magnitud de las expansiones depende de las cargas actuantes sobre el suelo y serán mayores las expansiones cuando las cargas sean menores. Los levantamientos debido a las expansiones son más problemáticos que las asentamientos por consolidación porque son más difíciles de corregir una vez que han aparecido.

Durante la etapa de construcción de la obra el proceso de secado o humedecimiento del suelo dependerá básicamente del clima. Durante la vida útil de la obra el contenido de humedad del suelo generalmente tiende a aumentar. Los mayores problemas se dan cuando durante la construcción ocurre un secado del suelo de apoyo comparado a que si el suelo se saturara antes de terminar la obra. Los casos más graves de expansión se han visto en estructuras extensas que transmiten pequeñas presiones al suelo y en las que implique la saturación del suelo a través del tiempo como zapatas ligeras, recubrimiento de concreto para canales, pisos y paredes en piscinas, etc.

Existen diferentes métodos para reducir al mínimo los problemas de expansión, entre los más populares tenemos:

- Sobreexcavar la zona y rellenar con material granular o estable en una altura suficientemente capaz de controlar la expansión con el peso del material de relleno ingenieril. Para obtener mejores resultados usando esta técnica se recomienda primero realizar una expansión parcial y luego colocar el relleno, en este caso habrá que tener cuidado en controlar el asentamiento que pudiera presentarse en el material expandido cuando se coloquen cargas considerables.
- Tomar precauciones para controlar la humedad del suelo de soporte. Para esto se pueden usar recubrimientos, geomantas, plásticos, asfalto, etc.,

entre las losas de concreto y el terreno, juntas flexibles impermeables, etc. Sin embargo en la práctica es difícil garantizar estas condiciones y que el suelo permanezca realmente protegido.

- Otro procedimiento es tratar al suelo para hacerlo menos expansivo. Por ejemplo excavar hasta cierta profundidad, recomprimirlo y colocarlo a una mayor humedad con una densidad de peso volumétrico menor para que así el suelo resultante sea menos expansivo. Sin embargo se debe tener cuidado de que la estructura no sufra asentamientos y que el suelo no pierda capacidad portante. También está la opción de estabilizar con cal o cemento o como el presente trabajo de investigación con residuos de concreto demolido triturado y pulverizado.
- Otra solución también que podría reducir los efectos de expansión de los suelos es diseñar la estructura con elementos estructurales apropiados y flexibles donde la estructura se adapta al suelo realizando movimientos que no provocan daños a la edificación.

El porcentaje de expansión del suelo natural es de 5.13 %. Para el suelo estabilizado con 20 %, 40 % y 60 % de concentración de RCDTP es de 0.75 %, 0.24 % y 0.30 % respectivamente. En nuestro caso particular se observa que los RCDTP a partir de una concentración del 20 % logra estabilizar el suelo disminuyendo el porcentaje de expansión. Asimismo para una concentración de 40 % hay una menor expansibilidad del suelo disminuyendo el porcentaje de expansión hasta en 21 veces.

5.2.6. Ensayos Químicos

El humedecimiento de un suelo por riego, filtraciones de agua de lluvia, fugas de conductos de agua o cualquier otra causa, puede activar a las sales agresivas y deteriorar la cimentación. Los ensayos químicos fueron realizados en el Laboratorio Químico FIC de la Universidad Nacional de Ingeniería FIC-UNI, para conocer el contenido de sales total y sulfatos que son nocivos para la cimentación y el ataque por cloruros que restringe al ataque químico al acero de refuerzo del concreto armado.

Tabla 5. 12. Resultados ensayos químicos.

Muestra	Profundidad (m)	Sales Solubles Totales (ppm)	Sulfatos (ppm)	Cloruros (ppm)
C-2	2.00 m	1988	1846	78
20% Concentración RCDTP	-	5724	5441	185
40% Concentración RCDTP	-	3812	1537	165
60% Concentración RCDTP	-	2178	2018	96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. 13. Elementos químicos nocivos para la cimentación.

Elemento	[ppm]	Grado de alteración	Observaciones
*Sulfatos $[SO_4]^{-2}$	0-1000 1000-2000 2000-20 000 >20 000	Leve Moderado Severo Muy Severo	Ocasiona ataques químicos al concreto de la cimentación
**Cloruros $[Cl^-]$	>6 000	Perjudicial	Genera problemas de corrosión de armaduras y elementos metálicos.
**Sales Solubles Totales	>15 000	Perjudicial	Genera problemas de pérdidas de resistencia mecánica del suelo por proceso de lixiviación.

Nota: (*) Comité ACI-318-83, (**) Experiencia existente.

Fuente: Adaptado de ACI-318-83.

Tabla 5.14. Requisitos para proteger al hormigón contra los daños provocados por ataques por sulfatos provenientes de fuentes externas.

Grado de alteración	Sulfatos solubles en agua $[SO_4]^{-2}$ presentes en suelos (% en peso)	Sulfatos $[SO_4]^{-2}$ en agua (ppm)	Tipo de cemento recomendado	Relación agua/cemento recomendado (concreto normal)	f'c mínimo a 28 días (MPa)
Despreciable (Exposición Clase 0)	0 – 0.10	0 - 150	Ningún requisito especial para resistencia a los sulfatos	Ningún requisito especial para resistencia a los sulfatos	Ningún requisito especial para resistencia a los sulfatos
Moderada (Exposición Clase 1)	0.10 – 0.20	150 - 1500	C 150 Tipo II o equivalentes: IP(MS), IS(MS), I(PM) (MS), I (SM) (MS)	0.50	26
Severa (Exposición Clase 2)	0.20 – 2.00	1500 - 10000	C 150 Tipo V o equivalentes	0.45	29
Muy Severa (Exposición Clase 3)	Sobre 2.00	Sobre 10000	C 150 Tipo V más puzolana o escoria	0.40	33
Exposición al agua del mar	-	-	C 150 con contenido de Aluminato tricálcico (C_3A) de hasta 10%.	Menor a 0.45	35

Fuente: (Comité ACI 201.2R-08, 2000).

De la tabla 5.12 y 5.13, el grado de alteración por sulfatos resulta en una exposición moderada para el suelo natural, así como para las diferentes concentraciones de RCDTP. El tipo de cemento recomendado en todos los casos de suelo mejorado es del tipo V o similares.

En comparación con las tablas 5.12 y 5.14, existe agresividad severa (exposición clase 2) de los sulfatos, por lo que se recomienda para el suelo natural el uso de cemento tipo V o equivalentes, con una relación a/c menor a 0.45 y resistencia f'c mayor para 29 MPa. En el caso de los cloruros y sales solubles totales no superan el rango permisible por lo que no es limitante en la elección del tipo de cemento recomendado.

5.3. CAPACIDAD ADMISIBLE Y ASENTAMIENTOS

5.3.1. Capacidad admisible

Para el metrado de cargas se realizó un diseño típico de las viviendas que predominan en la zona, con la distribución arquitectónica y usos particulares. En el anexo 1 plano A-1, se puede observar la distribución de ambientes, para una vivienda de 3 pisos. Las columnas propuestas son cuadradas de 0.30 m ancho.

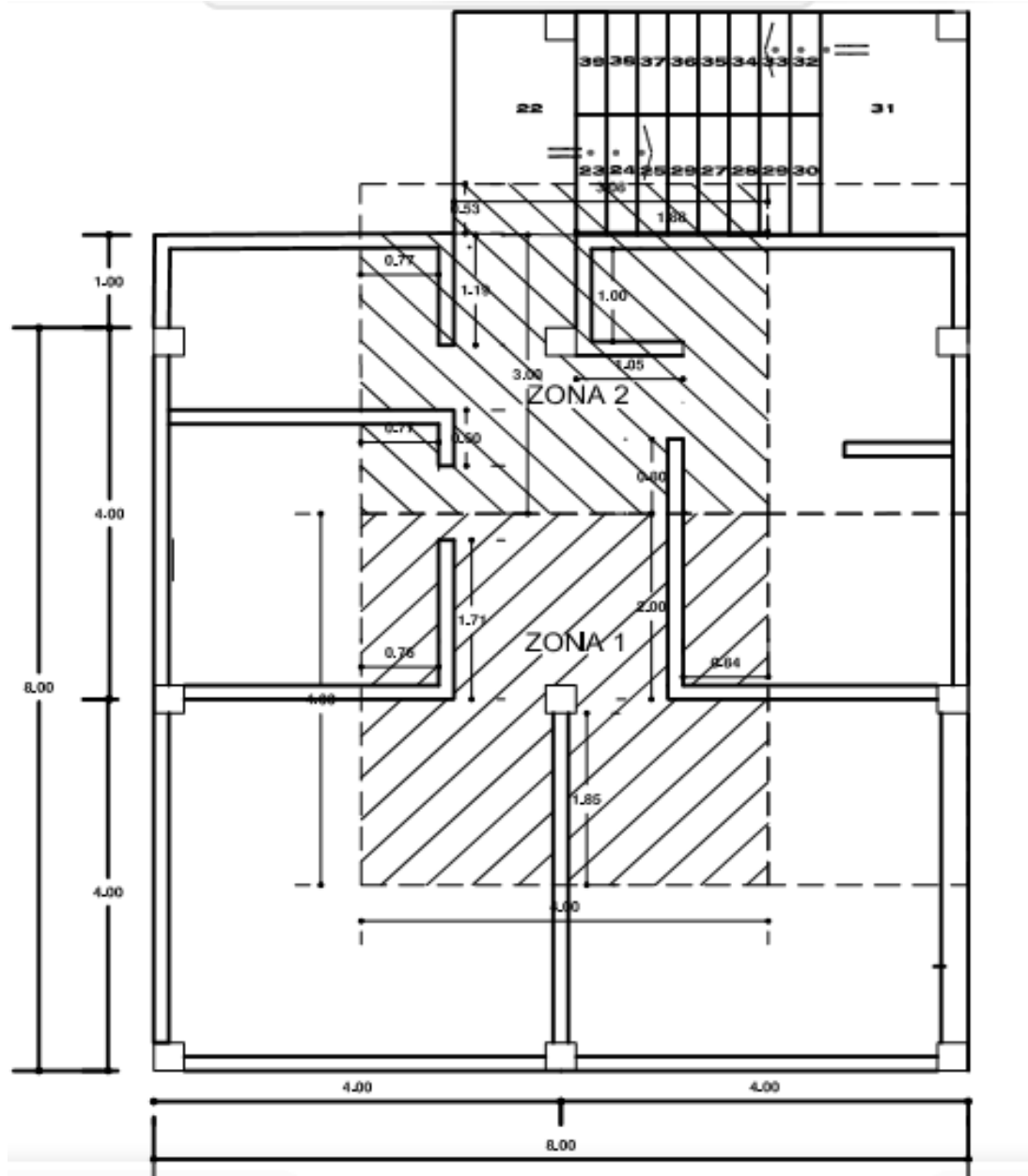


Figura 5.13. Zonas de cargas máximas según distribución arquitectónica.

Fuente: Elaboración propia.

Realizando el metrado de cargas y apoyándose de la norma E.020 tenemos para la columna central Zona 1:

Tabla 5.15. Metrado de cargas por columna zona 1 de 3 pisos.

METRADO DE CARGAS POR COLUMNA								
COLUMNA CENTRAL		ZONA 1						
CARGA MUERTA								
		Anexo 1 E.020						
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	N° Pisos			Parcial (Kg)
Peso Losa Aligerada (e=0.20m)		300	3.7	3.7	3			12321
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	Peralte (m)	Cantidad Vigas	N° pisos	Parcial (Kg)
Peso Viga principal (0.30 x 0.40)		2400	4	0.3	0.4	1	3	3456
Peso Viga Amarre (0.30 x 0.20)		2400	4	0.3	0.2	1	3	1728
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	N° Pisos			Parcial (Kg)
Peso piso terminado (e=0.05m)		100	4	4	3			4800
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	Alto (m)			Parcial (Kg)
Peso Columna (0.30 x 0.30)		2400	0.3	0.3	9.42			2034.72
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Alto (m)	N° Pisos			Parcial (Kg)
Peso Tabiquería (Soga)		212	7.16	2.45	2			7437.808
Peso Total (CM)								31777.528 Kg
CARGA VIVA								
		Anexo 1 E.020						
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	N° Pisos			Parcial (Kg)
S/C	Vivienda	200	4	4	3			9600
Peso Total (CV + CM)								41377.528 Kg

Fuente: Elaboración propia.

En la columna lateral zona 2 tenemos:

Tabla 5.16. Metrado de cargas por columna zona 2 de 3 pisos.

METRADO DE CARGAS POR COLUMNA								
COLUMNA CENTRAL		ZONA 2						
CARGA MUERTA								
		Anexo 1 E 0.20						
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	N° Pisos	Parcial (Kg)		
Peso Losa Aligerada (e=0.20m)		300	3.7	2.7	3	8991		
Peso Escalera (e=0.20m)		500	0.53	3.08	3	2448.6		
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	Peralte (m)	Cantidad Vigas	N° pisos	Parcial (Kg)
Peso Viga principal (0.30 x 0.40)		2400	4	0.3	0.4	1	3	3456
Peso Viga Amarre (0.30 x 0.20)		2400	3.53	0.3	0.2	1	3	1524.96
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	N° Pisos			Parcial (Kg)
Peso piso terminado (e=0.05m)		100	4	3.53	3			4236
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	Alto (m)			Parcial (Kg)
Peso Columna (0.30 x 0.30)		2400	0.3	0.3	9.42			2034.72
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Alto (m)	N° Pisos			Parcial (Kg)
Peso Tabiquería (Soga)		212	8.06	2.45	2			8372.728
Peso Total (CM)							31064.008 Kg	
CARGA VIVA								
		Anexo 1 E0.20						
		Peso (kg/m ²)	Longitud (m)	Ancho (m)	N° Pisos	Parcial (Kg)		
S/C	Vivienda	200	4	4	3	9600		
Peso Total (CV + CM)							40664.008 Kg	

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la columna central de la zona 1 es la que soporte una mayor carga, y con esta carga se realizarán los cálculos para determinar el esfuerzo que transmite la estructura al suelo y la capacidad admisible.

Siguiendo la misma metodología, se calculan las cargas transmitidas hacia la zapata central para uno y dos niveles, obteniéndose:

Tabla 5.17. Cargas transmitidas a la zapata central para 1, 2 y 3 pisos.

	P_{serv} (tn) 1 Piso	P_{serv} (tn) 2 Pisos	P_{serv} (tn) 3 Pisos
Peso total (CV + CM) por zapata	6.23	22.63	40.66

Fuente: Elaboración propia.

El esfuerzo que transmite la estructura de acuerdo al ancho de la zapata propuesta estaría dado por:

$$\sigma_{es} = \frac{P_{serv}}{Area}$$

Para la capacidad de carga última se determinó usando las fórmulas de Vesic tal como se describe el capítulo II. De acuerdo a los resultados que se obtuvieron de los ensayos triaxiales se observa que a medida que aumentaba la concentración de RCDT aumentaba el ángulo de fricción y lo contrario sucedió con la cohesión.

Se utilizaron los siguientes datos para determinar la capacidad admisible por Vesic.

Datos:

FS=3

B=ancho de la cimentación= L = 1.0 m. (cimentación cuadrada)

Df= profundidad de cimentación (m)

 $\gamma_{natural} = 1.868 \text{ g/cm}^3$ $\gamma_{20\%RCDTP} = 1.953 \text{ g/cm}^3$ $\gamma_{40\%RCDTP} = 1.980 \text{ g/cm}^3$ $\gamma_{40\%RCDTP} = 1.996 \text{ g/cm}^3$

En la tabla 5.18 se muestra los valores el incremento de la capacidad admisible del suelo con la adición de RCDTP para un desplante de Df = 1.0 m.

Tabla 5.18. Capacidad de carga última y admisible para $D_f = 1.00$ m.

Suelo + % RCDTP	Ángulo de fricción (°)	Cohesión ($\frac{kg}{cm^2}$)	γ ($\frac{g}{cm^3}$)	N_c	N_q	N_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{adm} (kg/cm ²)
Natural + 0% RCDTP	18.72	0.08	1.868	13.69	5.64	4.50	4.269	1.423
Natural + 20% RCDTP	24.59	0.06	1.953	20.13	10.21	10.26	6.965	2.322
Natural + 40% RCDTP	27.21	0.03	1.980	24.32	13.50	14.91	7.749	2.583
Natural + 60% RCDTP	29.09	0.02	1.996	28.06	16.61	19.59	9.099	3.033

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que, para una profundidad de desplante de 1 metro, la capacidad admisible aumenta a medida que aumenta el % de RCDTP respectivamente con respecto al suelo natural.

En la tabla 5.19 se muestra los valores de la capacidad admisible del suelo usando la ecuación general de capacidad del suelo para una profundidad de 1.25 m.

Tabla 5.19. Capacidad portante admisible para $D_f = 1.25$ m, $B=L= 1.00$ m.

Suelo + % RCDTP	Ángulo de fricción (°)	Cohesión ($\frac{kg}{cm^2}$)	γ ($\frac{g}{cm^3}$)	N_c	N_q	N_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{adm} (kg/cm ²)
Natural + 0% RCDTP	18.72	0.08	1.868	13.69	5.64	4.50	4.611	1.537
Natural + 20% RCDTP	24.59	0.06	1.953	20.13	10.21	10.26	7.725	2.575
Natural + 40% RCDTP	27.21	0.03	1.980	24.32	13.50	14.91	8.861	2.954
Natural + 60% RCDTP	29.09	0.02	1.996	28.06	16.61	19.59	10.534	3.511

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que para una profundidad de desplante de 1.25 metros, la capacidad admisible aumenta a medida que aumenta el porcentaje de RCDTP respectivamente con respecto al suelo natural.

En la tabla 5.20 se muestra los valores de la capacidad admisible del suelo usando la ecuación general de capacidad del suelo para una profundidad de 1.50 m.

Tabla 5.20. Capacidad portante admisible para $D_f = 1.50$ m, $B=L= 1.00$ m.

Suelo + % RCDTP	Ángulo de fricción (°)	Cohesión ($\frac{kg}{cm^2}$)	γ ($\frac{g}{cm^3}$)	N_c	N_q	N_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{adm} (kg/cm ²)
Natural + 0% RCDTP	18.72	0.08	1.868	13.69	5.64	4.50	5.713	1.724
Natural + 20% RCDTP	24.59	0.06	1.953	20.13	10.21	10.26	8.836	2.945
Natural + 40% RCDTP	27.21	0.03	1.980	24.32	13.50	14.91	10.347	3.449
Natural + 60% RCDTP	29.09	0.02	1.996	28.06	16.61	19.59	12.392	4.131

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que para una profundidad de desplante de 1.50 m, la capacidad admisible aumenta a medida que aumenta el % de RCDTP respectivamente con respecto al suelo natural.

Asimismo, al variar las dimensiones de la zapata con una profundidad de desplante de $D_f = 1.0$ m, ángulo de fricción (°) = 27.21 °, cohesión = $0.03 \frac{kg}{cm^2}$, para el suelo con una concentración de 40% RCDTP se tiene un $q_{adm} = 2.583$ kg/cm².

Tabla 5.21. Verificación de σ_{es} y q_{adm} variando el N° pisos y ancho zapata para Df=1.0 m para el suelo natural.

# Pisos	P_{serv} (tn)	Ancho zapata cuadrada (m)	Esfuerzo estructura σ_{es} (kg/cm ²)	Verificación
1	6.23	1.00	0.623	Cumple
		1.10	0.515	Cumple
2	22.63	1.00	2.263	Cumple
		1.10	1.870	Cumple
		1.20	1.572	Cumple
3	40.66	1.00	4.066	No cumple
		1.20	2.824	No cumple
		1.40	2.074	Cumple
		1.50	1.807	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Al variar las dimensiones de la zapata con una profundidad de desplante de Df = 1.25 m, , ángulo de fricción ($^{\circ}$) = 27.21 $^{\circ}$, cohesión = 0.03 $\frac{kg}{cm^2}$, para el suelo con una concentración de 40% RCDTP se tiene un $q_{adm} = 2.954$ kg/cm².

Tabla 5.22. Verificación de σ_{es} y q_{adm} variando el N° pisos y ancho zapata para Df=1.25 m.

# Pisos	P_{serv} (tn)	Ancho zapata cuadrada (m)	Esfuerzo estructura σ_{es} (kg/cm ²)	Verificación
1	6.23	1.00	0.623	Cumple
		1.10	0.515	Cumple
2	22.63	1.00	2.263	Cumple
		1.10	1.870	Cumple
		1.20	1.572	Cumple
3	40.66	1.00	4.066	No cumple
		1.20	2.824	Cumple
		1.40	2.074	Cumple
		1.50	1.807	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Al variar las dimensiones de la zapata con una profundidad de desplante de $D_f = 1.50$ m, ángulo de fricción ($^\circ$) = 27.21° , cohesión = $0.03 \frac{kg}{cm^2}$, para el suelo con una concentración de 40% RCDTP se tiene un $q_{adm} = 3.449$ kg/cm².

Tabla 5.23. Verificación de σ_{es} y q_{adm} variando el N° pisos y ancho zapata para $D_f=1.5$ m

# Pisos	P_{serv} (tn)	Ancho zapata cuadrada (m)	Esfuerzo estructura σ_{es} (kg/cm ²)	Verificación
1	6.23	1.00	0.633	Cumple
		1.10	0.523	Cumple
2	22.63	1.00	2.300	Cumple
		1.10	1.900	Cumple
		1.20	1.597	Cumple
3	40.66	1.00	4.131	No Cumple
		1.20	2.870	Cumple
		1.40	2.108	Cumple
		1.50	1.836	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Asentamientos

De acuerdo a las relaciones descritas en el capítulo 2 el asentamiento total estaría dado por la suma del asentamiento elástico, asentamiento por consolidación primaria y asentamiento por consolidación secundaria.

$$S_T = S_e + S_c + S_s$$

Sin embargo, al tratarse de una arcilla dura, donde se encuentra en un estado no saturado, de acuerdo a la recomendación de la tabla 2.2, el asentamiento elástico será el de mayor importancia para nuestro caso.

En el caso particular se analiza el asentamiento elástico para la edificación propuesta en la zapata central.

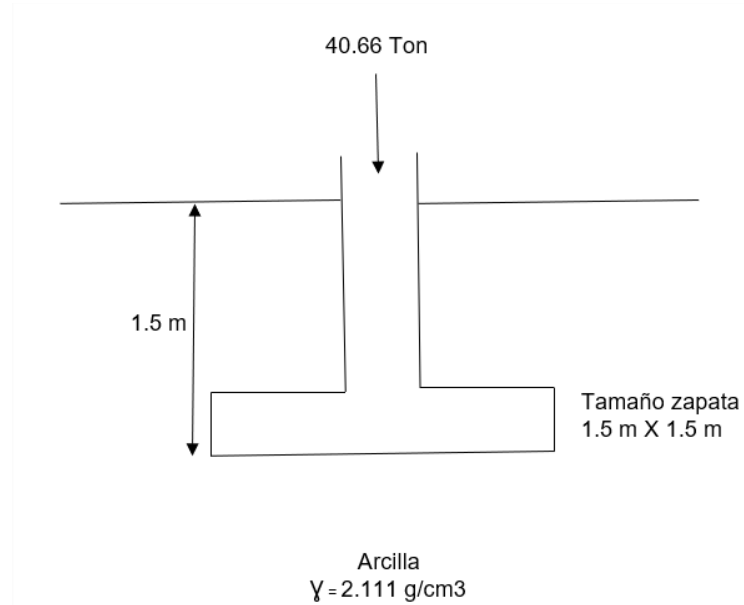


Figura 5.14. Cálculo de asentamientos en zapata.

Fuente: Elaboración propia.

$$S_e = q_0(\alpha B') * \frac{1 - (\mu_s)^2}{E_s} * I_s * I_f$$

Para nuestro caso:

$$B = 1.5 \text{ m}; L = 1.5 \text{ m}; z = 5 * 1.5 = 7.5 \text{ m}; H = 7.5 \text{ m}.$$

$$q_0 = 1.8 \text{ kg/cm}^2 \leftrightarrow 180 \text{ KN/m}^2$$

$$\mu_s = 0.5$$

$$E_s = 12 \text{ MN/m}^2$$

Como se está calculando el asentamiento al centro de la cimentación

$$\alpha = 4; m' = \frac{L}{B} = \frac{1.5}{1.5} = 1; n' = \frac{H}{(\frac{B}{2})} = \frac{7.5}{(\frac{1.5}{2})} = 10$$

$$A_0 = m' \ln\left(\frac{1 + \sqrt{m'^2 + 1} * \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m'(1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})}\right) = 1 * \ln\left(\frac{1 + \sqrt{1^2 + 1} * \sqrt{1^2 + 10^2}}{1 * (1 + \sqrt{1^2 + 10^2 + 1})}\right) = 0.7820$$

$$A_1 = \ln\left(\frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1}) * \sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}\right) = \ln\left(\frac{(1 + \sqrt{1^2 + 1}) * \sqrt{1 + 10^2}}{1 + \sqrt{1^2 + 10^2 + 1}}\right) = 0.7820$$

$$A_2 = \frac{m'}{n' \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} = \frac{1}{10 \sqrt{1^2 + 10^2 + 1}} = 0.0099$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} (0.7820 + 0.7820) = 0.4979$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1}(A_1) = \frac{10}{2\pi} \tan^{-1}(0.7828) = 0.0157$$

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} * F_2 = 0.4979 + \frac{1 - 2 * 0.5}{1 - 0.5} * 0.0157 = 0.4978$$

I_f se obtiene a partir del ábaco ingresando con $\frac{D_f}{B} = \frac{1.5}{1.5} = 1$ y $\frac{L}{B} = 1$

$I_f = 0.68$; $B' = 0.75$

Reemplazando los valores obtenemos el asentamiento elástico

$$S_e = 180 * 10^3 \frac{N}{m^2} (4 * 0.75 \text{ m}) * \frac{1-0.5^2}{12 * 10^6 \frac{N}{m^2}} * 0.5031 * 0.72 = 0.012 \text{ m} <> 12.1 \text{ mm}$$

El valor del asentamiento total en el caso que se está analizando al tratarse de una arcilla dura como se mencionó anteriormente es del tipo inmediato y se usó el método elástico. El asentamiento por consolidación primaria es poco probable que se de en el suelo analizado, sin embargo, se realiza los cálculos para observar su influencia.

Cálculo del asentamiento por consolidación:

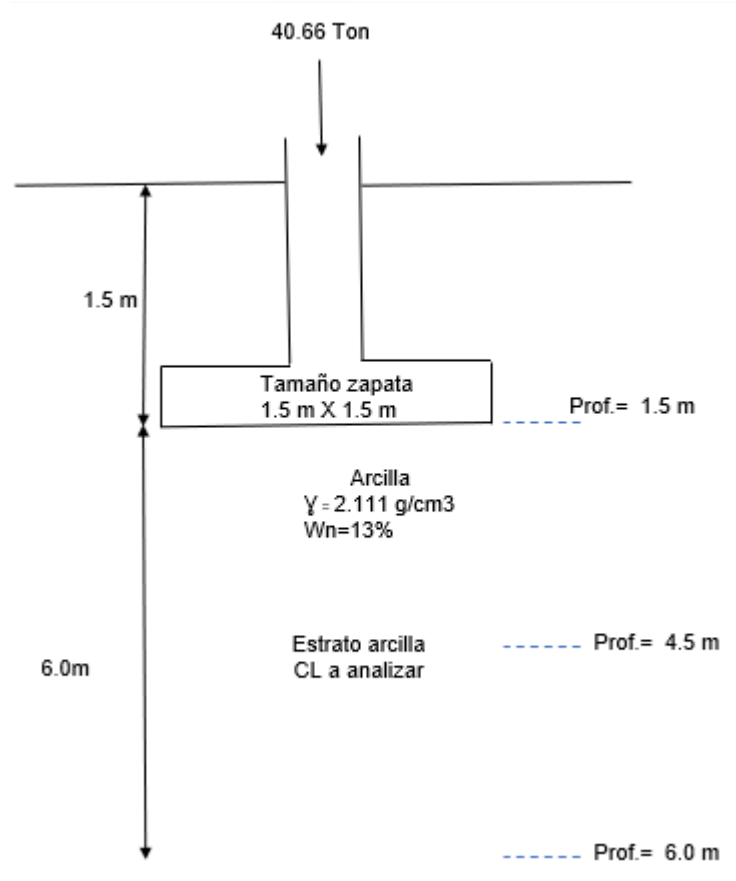


Figura 5.15. Estrato de análisis asentamiento por consolidación.

Fuente: Elaboración Propia.

$$q_0 = \frac{40.66 \text{ Tn}}{1.5 \text{ m} * 1.5 \text{ m}} = 18.07 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2} <> 1.807 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$e_0 = \frac{w_n * G_s}{100} = \frac{13 * 2.718}{100} = 0.353$$

$$C_c = 0.083 ; C_r = 0.033$$

Cálculo del incremento promedio de presión $\Delta\sigma'_{prom}$ según las relaciones analíticas de Boussinesq:

$Q=40.66 \text{ Ton} \Rightarrow 398.87 \text{ KN}$; $B=1.5$; $L=1.5 \text{ m}$;

Presión en la parte superior del estrato: Prof=1.5 m

$$\Delta\sigma'_t = 1.807 \text{ kg/cm}^2$$

Presión en la parte media del estrato: Prof=4.5 m

Para $z=3$; $q = 1.807 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$; $m=0.25$; $n=0.25$; $V=1.13$; $W=0$; $x=0.13$; $lz_1=0.11$;

$$lz_2=1.11; lz=0.108$$

$$\Delta\sigma'_m = lz * q = 0.108 * 1.807 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 0.159 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Presión en la parte inferior del estrato: Prof=6.0 m

Para $z=6$; $q = 1.807 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$; $m=0.13$; $n=0.13$; $V=1.03$; $W=0$; $X=0.03$; $lz_1=0.03$;

$$lz_2=1.01; lz=0.029$$

$$\Delta\sigma'_b = lz * q = 0.029 * 1.807 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 0.0315 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma'_{prom} = \frac{(\Delta\sigma'_t + 4\Delta\sigma'_m + \Delta\sigma'_b)}{6} = \frac{(1.807 + 4*0.159 + 0.0315)}{6} = 0.412 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Cálculo de la presión de preconsolidación σ'_c , para ello se siguen los pasos que nos brinda el método de Casagrande:

Ubicar el punto 1 de máxima curvatura.

Trazar la recta 2, tangente en el punto 1.

Ubicar la recta 3 horizontal en el punto 1.

Trazar la recta 4 bisectriz entre la recta 3 y 2.

Trazar la recta 5 al prolongar la recta de curva virgen o normalmente consolidada.

La intersección entre las rectas 4 y 5 determinan la presión de preconsolidación σ'_c .

En la figura 5.16 se muestra la presión de preconsolidación hallada con el método de Casagrande para la muestra de suelo natural.

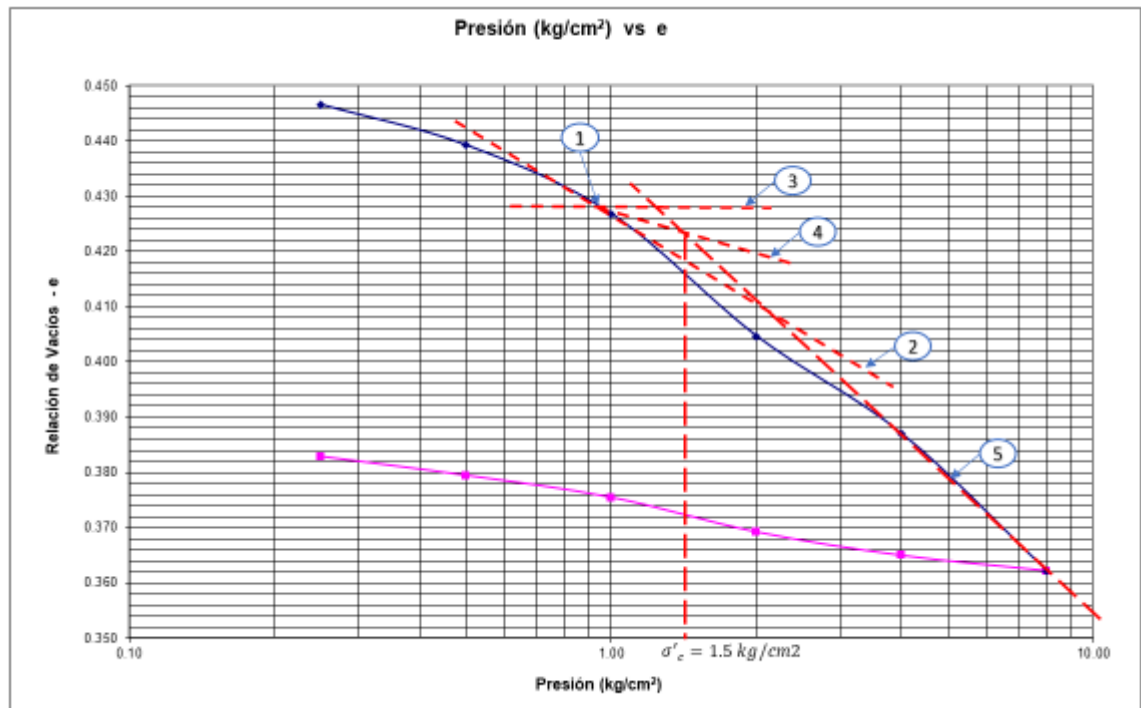


Figura 5.16. Presión de preconsolidación método Casagrande.

Fuente: Elaboración propia.

Para nuestro caso σ'_0 es la presión efectiva sobre el estrato de arcilla antes de la construcción de la cimentación, en este caso en el medio del estrato.

$$\sigma'_0 = \gamma \cdot H = 2.111 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^3} * 4.5 \text{ m} = 0.95 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma'_{prom} = 0.412 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma'_c = 1.5 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{OCR} = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} = \frac{1.5}{0.95} = 1.58$$

$$\text{Verificamos : } \sigma'_0 + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c$$

OCR > 1; entonces se trata de una arcilla sobreconsolidada, luego usamos la relación de asentamiento para una arcilla sobreconsolidada donde $\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c$

$$0.95 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} + 0.412 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} < 1.5 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$S_{c(p)} = \frac{C_c * H_c}{1 + e_0} * \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_0}\right)$$

$$S_{c(p)} = \frac{0.033 * 6\text{m}}{1 + 0.353} * \log\left(\frac{0.95 + 0.412}{0.95}\right) = 0.0228 \text{ m} \Leftrightarrow 2.28 \text{ cm.}$$

5.3.3. Cimentaciones en áreas de suelos expansivos

La norma E.050 suelos y cimentaciones en su artículo 37, numeral 37.4.1 nos menciona que las cimentaciones construidas sobre arcillas expansivas estarán sujetas a grandes fuerzas causadas por el proceso de expansión, los cuales producirán el levantamiento, agrietamiento y ruptura de la cimentación y de la estructura. Y concluye que no está permitido cimentar directamente sobre suelos expansivos. Nos hace incapié en que todos los elementos de cimentación deben apoyarse sobre suelos no expansivos o con potencial de expansión bajo. Frente a ello plantea dejar un espacio , lo suficientemente holgado para permitir que el suelo bajo el piso se expanda y no lo afecte, es decir el piso se diseña como una losa armada en 2 direcciones apoyada sobre los elementos estructurales de la cimentación. También nos brinda la opción de realizar un remplazo antes de realizar las obras de construcción y son reemplazados por rellenos controlados compactados adecuadamente de acuerdo al numeral 25.4.

5.3.4. Profundidad de remplazo

Anteriormente se mencionó que la humedad del suelo varia de acuerdo a la estación de lluvias durante el año aumentando o disminuyendo haciendo que el suelo se expanda o se contraiga. A la profundidad del suelo hasta donde pueden presentarse estos cambios de humedad se le llama zona activa. La profundidad de la zona activa depende de donde está ubicada la obra. La figura 5.17 muestra la definición de la zona activa,

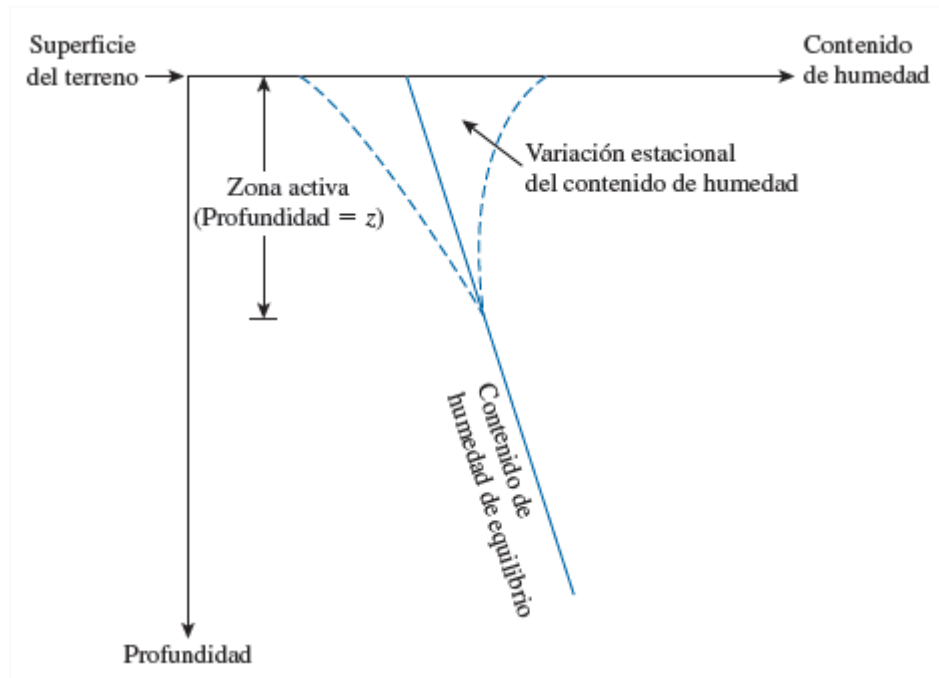


Figura 5.17. Definición zona activa.

Fuente: Das B. M., 2018.

Asimismo, O'Neill & Poormoayed (1980) desarrollaron una relación para calcular la expansión superficial libre según:

$$\Delta S_F = 0.0033Zs_{w(\text{libre})}$$

ΔS_F = expansión superficial libre

Z = profundidad de la zona activa

$s_{w(\text{libre})}$ = expansión libre, como un porcentaje

Algunas profundidades de zonas activas de suelos estudiados en los Estados Unidos se muestran en la tabla 5.24.

Tabla 5.24 Profundidades comunes de la zona activa en algunas ciudades de Estados Unidos.

Ciudad	Prof. zona activa (m)
Houston	1.5 – 3.0
Dallas	2.1 – 4.6
San Antonio	3.0 – 9.0
Denver	3.0 – 4.6

Fuente: O'Neill & Poormoayed, 1980.

Considerando para nuestro caso la profundidad de la zona activa del perfil de suelo de 5.0 m, la cimentación colocada a 1.5 m bajo la superficie del terreno, calculamos la expansión total estimada.

$$\Delta S_F = 0.0033 Z s_w(\text{libre})$$

$$\Delta S_F = 0.0033 * 5 * 5.13$$

$$\Delta S_F = 84.64 \text{ mm}$$

Se puede observar que este valor excede de una expansión total permisible de 25.4 mm. Por lo tanto el siguiente paso es calcular el recorte necesario para reducir la expansión.

En primer lugar distribuimos la expansión libre s_w (%), como un porcentaje a lo largo de la zona activa. En este caso se aproxima a una función lineal.

Tabla 5. 25. Variación de la expansión libre con la profundidad.

Profundidad	s_w (%)
1.5	5.13
2.0	4.40
2.5	3.66
3.0	2.93
3.5	2.20
4.0	1.47
4.5	0.73
5.0	0.00

Fuente: Elaboración propia.

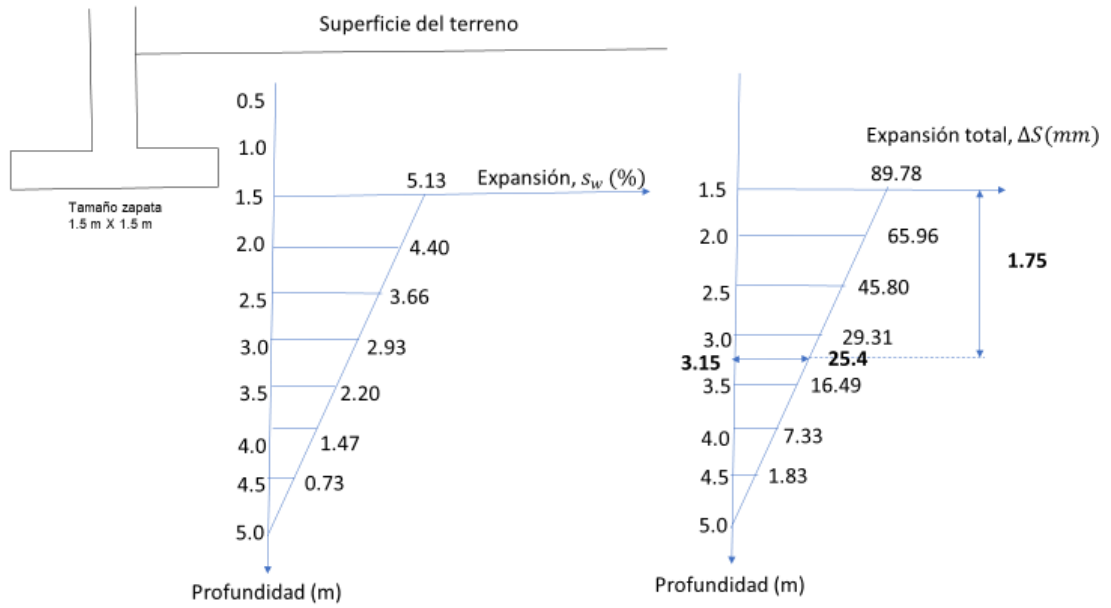


Figura 5.18 Gráfica variación de la expansión libre con la profundidad y variación de la expansión total con la profundidad.

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de la expansión libre están trazados con la profundidad en la figura 5.18. El área del diagrama será la expansión total. Aplicando la regla del trapecio se obtiene:

Profundidad	Expansión total ΔS_F (mm)
5.0	0 mm
4.5	$0 + \left[\frac{1}{2} (0.5)(0 + 0.73) \right] * \frac{1}{100} = 0.00183 \text{ m} = 1.83 \text{ mm}$
4.0	$0.00183 + \left[\frac{1}{2} (0.5)(0.73 + 1.47) \right] * \frac{1}{100} = 0.00733 \text{ m} = 7.33 \text{ mm}$
3.5	$0.00733 + \left[\frac{1}{2} (0.5)(1.47 + 2.20) \right] * \frac{1}{100} = 0.01649 \text{ m} = 16.49 \text{ mm}$
3.0	$0.01649 + \left[\frac{1}{2} (0.5)(2.20 + 2.93) \right] * \frac{1}{100} = 0.02931 \text{ m} = 29.31 \text{ mm}$
2.5	$0.02931 + \left[\frac{1}{2} (0.5)(2.93 + 3.66) \right] * \frac{1}{100} = 0.0458 \text{ m} = 45.80 \text{ mm}$
2.0	$0.04580 + \left[\frac{1}{2} (0.5)(3.66 + 4.40) \right] * \frac{1}{100} = 0.06596 \text{ m} = 65.96 \text{ mm}$
1.5	$0.06596 + \left[\frac{1}{2} (0.5)(4.40 + 5.13) \right] * \frac{1}{100} = 0.08978 \text{ m} = 89.78 \text{ mm}$

Trazados en la figura 5.18, estas expansiones totales muestran que para una expansión total permisible de 25.4 mm corresponde a una profundidad de 3.15 m desde la superficie del terreno.

Por lo tanto, el recorte necesario debajo de la cimentación es $3.15 - 1.50 = 1.65$ m. Este suelo se debe excavar, reemplazar con el suelo al 40% de RCDTP que ya es un suelo estabilizado no expansivo y al momento de su colocación recompackado. Comparando con la profundidad de influencia donde se desarrolla la zona de falla debajo de la zapata, que es 1.5 veces el ancho de la cimentación podemos concluir que la altura a reemplazar está determinada por este último.

5.4. VIABILIDAD ECONÓMICA Y DISPONIBILIDAD DE RCDTP

5.4.1. Viabilidad Económica

La solución propuesta incluye un sistema de chancado móvil, minicargador y algunos costos que se detallan a continuación.

La planta de chancado móvil que se muestra en la figura 5.19, viene a ser el componente principal del sistema de trituración de RCD.

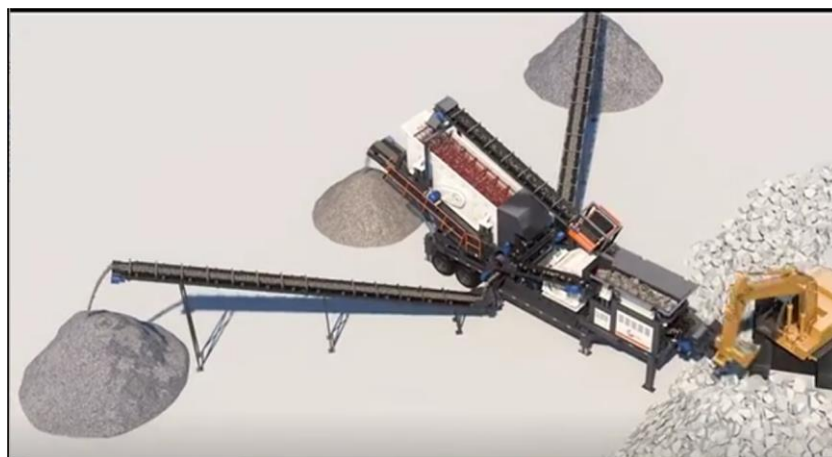


Figura 5.19. Sistema de trituración de RCD móvil.

Fuente: Elaboración propia.

Este sistema ofrece una solución que incluye alimentador vibratorio, chancadora tipo quijada, chancadora tipo cono o impacto, zaranda vibratoria y fajas transportadoras. La capacidad de este sistema móvil es de 40 a 100 tn/h.

El minicargador modelo 246D-CAT, como se muestra en la figura 5.20 con una capacidad de carga nominal de 975 kg, para poder realizar la alimentación en el sistema de trituración móvil.



Figura 5.20. Minicargador modelo 246D-CAT.

Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente se plantea realizar la inversión en la adquisición de equipos, adecuar la planta de tratamiento, oficina y gastos administrativos. La suma de todos estos costos viene a ser el total de inversión inicial que se tiene planteado.

Adecuaciones del campo y montaje	Costo
Instalación en planta y adecuaciones	10 000.00 USD
Equipos de oficina	2 000.00 USD

Equipo	Costo	Modelo
Triturado móvil y accesorios	120 000.00 USD	40 tn/h
Minicargador	25 000.00 USD	246D

Gastos administrativos	Costo
Licencias y acometidas impuestos y legalizaciones	10 000.00 USD

Total inversiones: 157 000.00 USD

El consumo energético dependerá de la capacidad de trituración del equipo. Considerando:

Capacidad equipo : 40 tn/h <> 20 m³/h

Consumo energético: 60 HP <> 80 kW

Asimismo, se tiene que realizar el pago de los salarios al personal encargado del proceso de trituración de manera mensual. En este caso, inicialmente solo se plantea considerar 1 operario y un guardián en la planta.

Personal

Sueldo mensual Operario : S/. 3000.00

Sueldo mensual Guardián: S/. 2000.00

Precio kWh : S/. 0.70

Ingresos mensuales:

Concepto	Cantidad (m3)	Precio por m3 (S/.)	Total
Desmonte	$20 \frac{m^3}{h} \times 8 \frac{h}{dia} \times 20 \text{ dias}$	5.00	S/. 16 000.00

Total Ingresos Mensuales: S/. 16 000.00

EGRESOS MENSUALES

Los egresos corresponden al pago del personal, pago por concepto de energía eléctrica, combustible y mantenimiento de los equipos.

Personal

Concepto	Cantidad	Precio (S/.)	Total
Operario	1	3000.00	3000.00
Guardián	1	2000.00	2000.00

Energía eléctrica, combustible y mantenimiento

Concepto	Cálculo	Tarifa (S/.)	Total
Energía eléctrica	$80 \frac{kW}{h} * 8h * 20 \text{ dias}$	0.70	S/. 8960.00
Combustible	$2 \frac{gal}{h} * \frac{8h}{dia} * 20 \text{ dias}$	20.00	S/. 6400.00
Mantenimiento Trituradora (25 % costo)	$\frac{120\ 000 * 4}{36}$		S/. 6667.00
Mantenimiento Cargador (50 % costo)	$\frac{25000 * 4}{36}$		S/. 2777.80

Pago de deuda

Para poder financiar el proyecto, se plantea recurrir a una deuda que será pagada con los ingresos mensuales que genere la actividad. Asimismo, se está considerando que está garantizada la venta de todo el material triturado.

Concepto	Monto (USD)	Cantidad cuotas	Total
Deuda	157 000.00	36	S/. 24 361.00

Fuente: Simulador préstamo Caja Huancayo

Total Egresos mensuales: S/. 54 165.80

Si se fija el costo por recepción de concreto demolido a S/. 10.00 / m³

$$\text{Costo producción } \left(\frac{\text{S/.}}{\text{m}^3}\right) = \frac{\text{Egresos} - \text{Ingresos}}{\text{Producción mensual}} = \frac{54165.8 - 32000}{3200} = 6.92 \frac{\text{S/.}}{\text{m}^3}$$

Si cobra por recepción de concreto demolido S/. 5.00 / m³

$$\text{Costo producción } \left(\frac{\text{S/.}}{\text{m}^3}\right) = \frac{\text{Egresos} - \text{Ingresos}}{\text{Producción mensual}} = \frac{54165.8 - 16000}{3200} = 11.92 \frac{\text{S/.}}{\text{m}^3}$$

Costo de producción si no se cobrara por recepción del concreto demolido

$$\text{Costo producción } \left(\frac{\text{S/.}}{\text{m}^3}\right) = \frac{\text{Egresos} - \text{Ingresos}}{\text{Producción mensual}} = \frac{54\ 165.80 - 0}{3200} = 16.92 \frac{\text{S/.}}{\text{m}^3}$$

Costos de agregado natural en la zona:

Costos de hormigón de cantera: S/. 40.00/m³

Costos de piedra chancada de cantera: S/. 60.00/m³ en la zona

Se puede observar la viabilidad económica del proceso de triturado de concreto

5.4.2. Disponibilidad de los RCD

Para determinar la disponibilidad del material se sigue la metodología de cálculo de residuos de construcción y demolición, el censo del 2017 publicado por el Instituto de Estadística e Informática, la ciudad de Huanta y Luricocha cuenta con una población de 45007 habitantes la cual estaría produciendo 27900 toneladas de RCD al año que equivaldría a 76.5 toneladas diarias. Asimismo existen diferentes puntos donde estos RCD fueron arrojados a lo largo de la vía que también sería disponible y que podrían ser aprovechados para la generación del RCDTP contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

5.5. SECUENCIA PROCESO CONSTRUCTIVO

A continuación, se plantea esquemáticamente las etapas que se deben seguir para la estabilización del suelo con RCDTP en un área de construcción de 8 metros de ancho y 12 metros de largo.

En la figura 5.21 se muestra el área de terreno donde se realizará la edificación que tiene las medidas que anteriormente se mencionó.

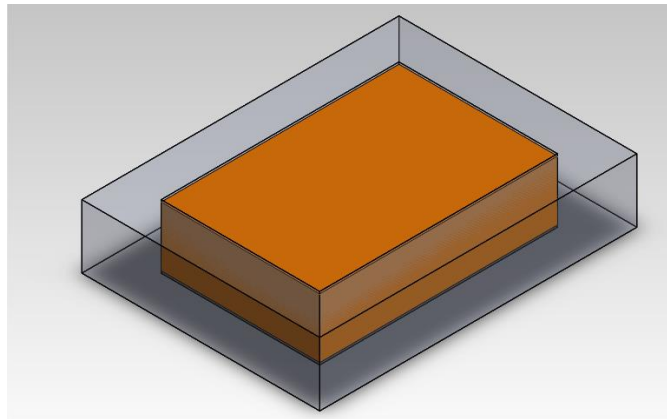


Figura 5.21. Esquema del terreno de construcción.

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se realizará el trazo y replanteo para realizar las excavaciones para cimientos como se puede ver en la siguiente figura. Para facilitar estas excavaciones se puede usar una retroexcavadora modelo CAT 420F o similares. Como se puede ver se necesitó realizar un desbroce de 0.20 m de profundidad.

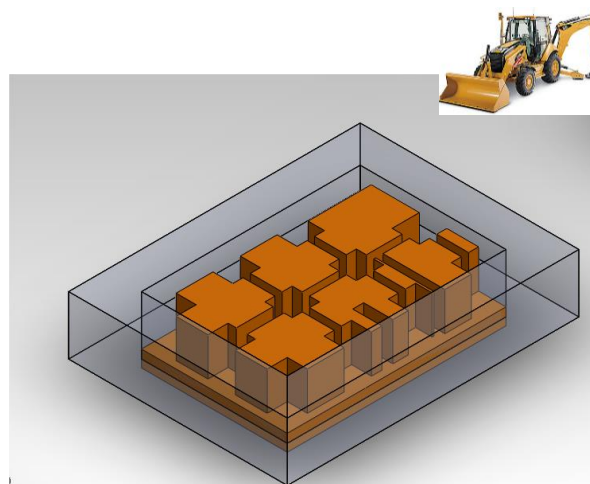


Figura 5.22. Desbroce y excavación con retroexcavadora.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se realizan las excavaciones tanto para la zapata como para las vigas de cimentación. Para las zapatas y vigas de cimentación, adicionalmente se debe excavar 2.95 m ya que se colocará un espesor de 2.25 m de suelo estabilizado al 40 % RCDTP.

En seguida se procede a rellenar la excavación de la zapata con el suelo estabilizado en una altura de 2.25 m. Se debe llegar a una densidad seca del 95 % del ensayo del proctor modificado con una humedad óptima usando apisonadores manuales como se muestra en la figura 5.23.

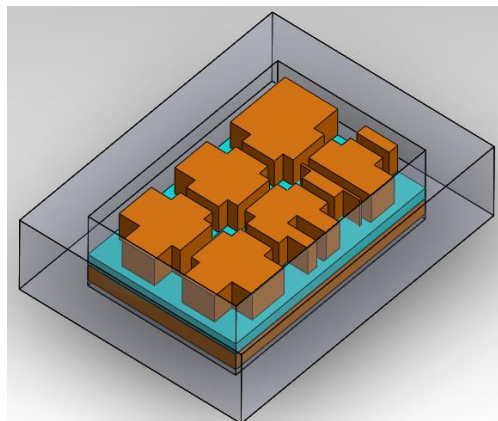


Figura 5.23. Colocado de suelo estabilizado en las zapatas.

Fuente: Elaboración propia.

Se colocan los dados de concreto, el acero de refuerzo en las zapatas, viga de cimentación y columnas para luego realizar el vaciado de concreto en la zapata y viga de cimentación. Como se observa no es necesario usar encofrado durante este proceso ya que el suelo es bastante cohesivo, sin embargo, se deberá tener bastante cuidado al momento de realizar la excavación y compactación del suelo.

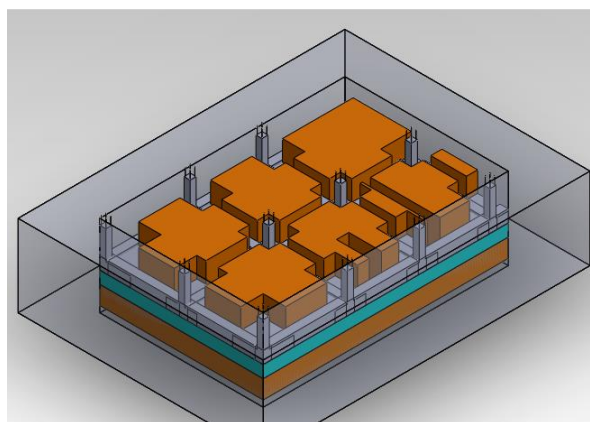


Figura 5.24. Vaciado de concreto en vigas de cimentación y zapatas.

Fuente: Elaboración propia.

Se vacía el sobrecimiento de 0.60 m donde irá la tabiquería para las paredes quedando como se muestra en la figura 5.25.

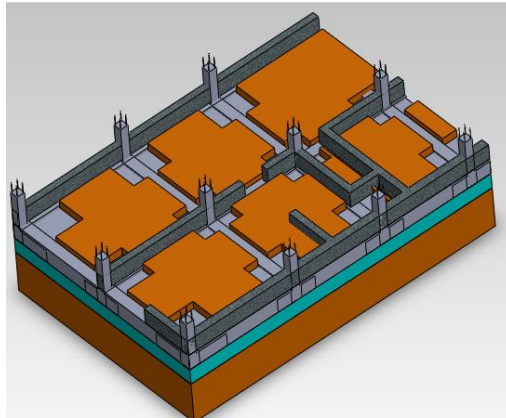


Figura 5.25. Vaciado de sobrecimiento para tabiquería.

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a nivelar con material estabilizado como se muestra en la figura 5.26.

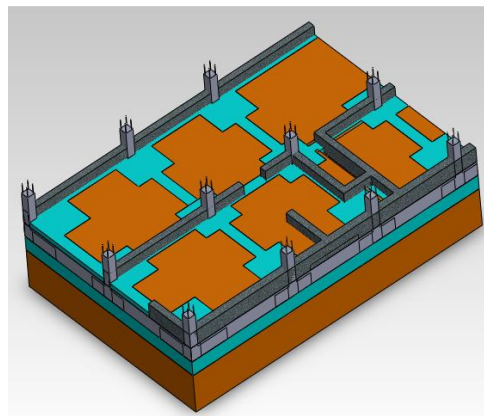


Figura 5.26. Relleno con material estabilizado.

Fuente: Elaboración propia.

Se rellena una capa de 0.20 m de espesor de suelo estabilizado con RCDTP como se muestra en la figura 5.27.

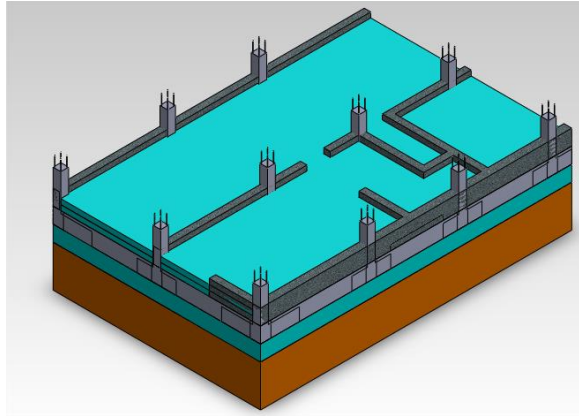


Figura 5.27. Colocación de suelo estabilizado con RCDTP en fondo de falso piso.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se realiza el vaciado del falso piso de concreto armado de 0.1 m de espesor sobre la base ya estabilizada como puede observar en la figura 5.28 asegurando que sea un sistema monolítico con las columnas para absorber los esfuerzos que pudieran generarse si se presentara expansión del suelo natural.

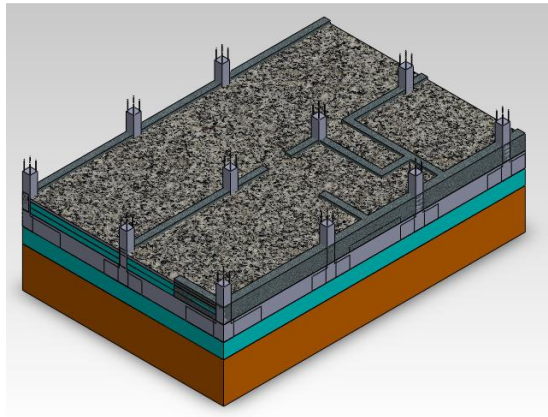


Figura 5.28. Vaciado de falso piso de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se analizó la estabilización del suelo cohesivo por adición de residuo de concreto demolido, triturado y pulverizado aplicado en el centro poblado de Aicas, Huanta, variando los porcentajes en peso de RCDTP en 20, 40 y 60% en relación a la masa total. El estudio se realizó a través de ensayos experimentales: caracterización física, compactación, triaxial no consolidado no drenado, consolidación unidimensional, expansión controlada, análisis de la capacidad portante y su viabilidad económica.

En relación a los resultados arribados se resaltan los siguientes puntos:

El suelo analizado es arcilla de baja plasticidad (CL). La muestra extraída de la calicata 2 a dos metros de profundidad nos muestra que se encuentra a una humedad natural de 13 % y la densidad hallada por el método del parafinado es de 2.111 g/cm^3 , la arcilla no se encuentra en estado saturado y se clasifica como arcilla dura.

Los límites de Atterberg muestran que se trata de un suelo plástico con I.P. de 27, el RCDTP no tiene plasticidad, por lo que a medida que se agrega mayor porcentaje de RCDTP la mezcla disminuye su índice de plasticidad donde para un 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP el I.P. se reduce a 16, 12 y 9 respectivamente.

La gravedad específica en general se reduce a medida que aumenta la concentración de RCDTP. La gravedad específica para el suelo natural es de 2.718 g/cm^3 , y para las combinaciones al 20 %, 40 % y 60 % son 2.698 g/cm^3 , 2.679 g/cm^3 , y 2.659 g/cm^3 respectivamente.

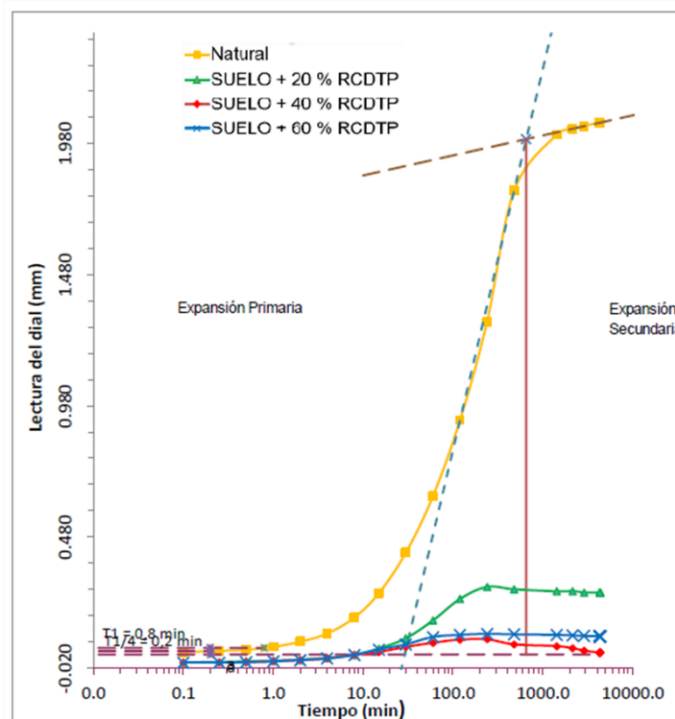
En el ensayo de compactación mediante el ensayo de proctor modificado la máxima densidad seca aumenta a medida que se incrementa la concentración del RCDTP. La máxima densidad seca aumentó de 1.906 g/cm^3 para el suelo natural a 1.953 g/cm^3 , 1.980 g/cm^3 y 1.996 g/cm^3 para un 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP respectivamente. Por otro lado, el óptimo contenido de humedad en todos los casos de suelo mejorado resultó menor al suelo natural. El óptimo contenido de humedad para el suelo natural es de 12.40 % y para las combinaciones al 20 %, 40 % y 60 % son respectivamente 10.20 %, 12.15 % y 12.05 %.

Los ángulos de fricción aumentan a medida que aumenta el porcentaje de RCDTP aumentando desde 18.72° para el suelo natural a 24.59° , 27.21° y 29.09° para 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP respectivamente. La cohesión se comporta de manera

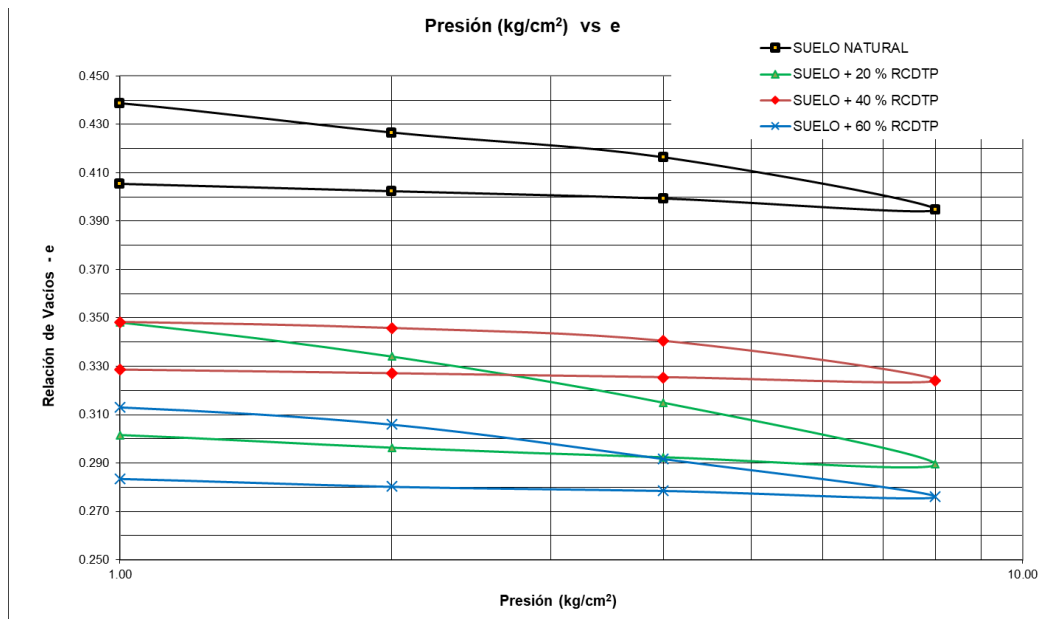
inversa disminuyendo desde 0.08, 0.06, 0.03 y 0.02 para el suelo natural, 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP respectivamente.

La capacidad admisible aumenta a medida que se incrementa el % RCDTP. Para una profundidad de 1.00 m, ancho de zapata cuadrada de 1 metro la capacidad admisible el suelo natural y combinaciones al 20 %, 40 % y 60 % de RCDTP son respectivamente 1.423 kg/cm^2 , 2.322 kg/cm^2 , 2.583 kg/cm^2 y 3.033 kg/cm^2 .

En el ensayo de expansión controlada donde a las muestras se le llevaron a las condiciones más críticas, se observó que para el suelo natural remoldeado con la densidad de campo el suelo se expande 5.13 %, y cuya expansión fue controlada con una presión de 1.731 kg/cm^2 . Para el suelo con una concentración de 20%, 40 % y 60 % de RCDTP remoldeados con densidad del proctor modificado la muestra se expande 0.75 %, 0.24 % y 0.30 % respectivamente, siendo la carga para controlar la expansión de 0.327 kg/cm^2 , 0.051 kg/cm^2 y 0.152 kg/cm^2 respectivamente. Se observa un mejor comportamiento para una concentración de 40 % de RCDTP como se muestra en la siguiente imagen.



En el ensayo de consolidación unidimensional se observó que la muestra al ser una arcilla dura, la consolidación no es relevante tal como se puede apreciar en el gráfico siguiente.



Se observa nuevamente un mejor comportamiento en cuanto a la consolidación del suelo para una concentración de 40 % de RCDTP.

Para una expansión total permisible de 25.4 mm corresponde a una profundidad de 3.15 m desde la superficie del terreno. El recorte necesario debajo de la cimentación es de 1.65 m. Este suelo se debe excavar, reemplazar con el suelo al 40% de RCDTP que ya es un suelo estabilizado no expansivo y al momento de su colocación recompackado. Comparando con la profundidad de influencia debajo de la zapata, que es 1.5 veces el ancho de la cimentación podemos concluir que la altura a reemplazar está determinada por este último.

La muestra de la calicata 2 contiene 1846 ppm de sulfatos que es de grado moderado para los cimientos. Asimismo, para las diferentes concentraciones también se tienen un contenido de sulfatos que está en el rango de moderado a severo, es decir es importante descartar si los residuos de concreto están contaminados.

La viabilidad económica muestra que el costo de producción por metro cúbico de RCDTP es de 16.92 soles. Este costo disminuye si se aplica una tarifa al momento de recibir los RCD. La disponibilidad muestra que la generación de residuos de construcción y demolición a nivel local es de 27900 toneladas anuales, equivalente a 76.5 toneladas diarias. La cantidad de concreto que puede contener los residuos de construcción y demolición varía desde un 20% hasta 80%. Al ser una planta móvil, esta podría ser usada también en ciudades cercanas a la zona.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un ensayo de difracción de rayos x para saber los minerales que contiene el suelo natural y de esa manera asociarlo a los daños que ocasionan a las viviendas de la zona.

En esta investigación se trabajó con material pasante la malla de 3/8", sin embargo, cuando se realiza el proceso de trituración tenemos material de mayor tamaño, una alternativa sería estudiar la influencia con una granulometría que involucre un mayor tamaño nominal. No se recomienda trabajar con una granulometría menor ya que en un primer momento cuando se estaba trabajando el material pasante la malla N° 10, se observó que la máxima densidad seca del proctor modificado disminuía, aumentando el óptimo contenido de humedad, a medida que se aumentaba el porcentaje de RCDTP.

Se recomienda el uso de vigas de cimentación, ya que los asentamientos diferenciales generados cuando se presente la expansión harán que toda la cimentación se comporte como un sistema rígido capaz absorber estos asentamientos diferenciales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bauza, J. D. (2015). *Tratamiento de suelos arcillosos mediante cal. Comportamiento mecánico y evolución a largo plazo ante cambios de humedad*. España: Universidad de Sevilla.
2. Bowles, J. (1980). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. México: McGraw-Hill de México. doi:ISBN 968-451-046-2.
3. Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design*. New York: Mc Graw - Hill Book Co.
4. Cement Sustainability Initiative. (2009). *Reciclando concreto. World Business Council for Sustainable Development*. Geneva-Suiza.
5. Comité ACI 201.2R-08. (2000). *Guía para la Durabilidad del Hormigón*.
6. Contreras Quezada, K. B., & Herrera Lázaro, V. A. (2015). "Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y subbases de estructura de pavimento en Nuevo Chimbote-Ancash. Nuevo Chimbote.
7. D4318-17, A. (2017). *Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of soils*.
8. Das, B. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (7ma ed.). México,D.F.: CENGAGE Learning.
9. Das, B. M. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering*. USA: Cengage Learning.
10. De Vijayvergiya, V., & Ghazzaly, O. (1973). Prediction of Swelling Potential of Natural Clays. *Proceedings, Third International Research and Engineering Conference on Expansive Clays*, (págs. 227-234).
11. Espinoza Ccente, H. (2021). *Reducción de la peligrosidad del suelo blando por adición de cenizas de cáscara de arroz - aplicación Urbanización Sudamérica, Talara - Piura*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
12. Grim, R. (1953). *Clay Mineralogy*. New York.: McGraw-Hill.
13. Han, V. R. (2013). *Effects of sand content, superplasticizer dosage, and mixing time on compressive strength of mortar*.*ACI Materials Journal*.
14. Hensen, E., & Smit, B. (2002). *Why clays swell*. (A. C. Society, Ed.) USA.
15. Huiza Ortiz, M. (2019). *Mejoramiento de la capacidad de soporte en vías de bajo volumen de tránsito mediante estabilización química: carretera Puquio - Coracora, Ayacucho*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
16. Iglesias Perez, C. (1997). *Mecánica de suelos*. Madrid-España: Síntesis S.A.
17. Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: Limusa Noriega.

18. Kerni, V., Sonthwal, V., & Jan, U. (2015). Review on stabilization of clayey soil using fines obtained from demolish concrete structures. *International Journal of Innovative Research In Science, Engineering And Technology*, 4, 3204-3209. India.
19. Kerni, V., Sonthwal, V., & Jan, U. (mayo de 2015). Review on Stabilization of Clayey Soil Using Fines Obtained From Demolished Concrete Structures. *International Journal Of Innovative Research In Science, Engineering And Technology*, 4(5), 3204-3209.
20. León, J. (2017). En Lima se generan 19 mil toneladas de desmonte al día y el 70% va al mar o ríos. *El Comercio*.
21. Lovedeep, S., Shahbaz, S., & Gill, K. (marzo de 2017). Improvement in CBR Value of Soil using Waste Concrete Fines. *International Journal Of Science Technology & Engineering*, 3(9), 1-5.
22. Mauri, J. (Agosto de 2011). Químicos dispersantes en el análisis granulométrico de latosoles. (F. (SciELO), Ed.) *Revista Brasileña de ciencia de suelos*, 35(4), 1277-1284. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832011000400021>
23. Mercante, I. (2007). *Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación a los índices de generación a la gestión ambiental* (Vol. 11). Revista Científica de UCES. Argentina.
24. Ministerio de Energía y Minas. (2013). *Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición*. Lima.
25. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.050 "Suelos y Cimentaciones"*.
26. Moreno Pérez, E. (2018). *Estabilización de Suelos Arcillosos con Residuos de la construcción y demolición*. Tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
27. MTC. (2014). *Manual de carreteras suelos geología geotécnia y pavimentos sección suelos y pavimentos*. R.D. N° 10-2014 - MTC/14.
28. O'Neill, J. M., & Poormoayed, N. (1980). Methodology for Foundations on Expansive. *Journal of the Geotechnical of Civil Engineers*, 106, 1345-1367.
29. Ochoa Averos, S. (2019). *Estudio experimental sobre la estabilización de una subrazante limo arcillosa con RCD - concreto fino (partículas < 2 mm) para aplicación en pavimentos*. Tesis de pregrado, Instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio de la Universidad Federal de Intefración Latino-Americana, Foz do Iguaçu.
30. Paul, H., & Cyrus, S. (Diciembre de 2016). *Stabilization of weak subgrade soil using demolished concrete aggregate*. (Vol. 2). Indian Geotech Conference, 2, (págs. 93-105).

31. Roman Proaño, M. (2008). *Temas de hormigón armado*. Madrid, Facultad de Ingeniería Civil - Escuela Politécnica del Ejército, España.
32. SILVA,, A., FUCALE, S., & FERREIRA, S. (10 de Junio de 2019). Efectos de la adición de residuos de construcción y demolición (RCD) en las propiedades hidromecánicas de un suelo arenoso-arcilloso. *FapUNIFESP (SciELO)*, 24(2), 1-12. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0670>
33. Sowers, G. B., & Sowers, G. F. (1961). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. Limusa.
34. Torre Carrillo, A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
35. Tzschichholz, F., Herrmann, H. J., & Zanni, H. (1996). A reaction-diffusion model for the hydration/setting of cement. American Physical Society.
36. Varela, J. (2006). *El Mercado de los Residuos de la Industria de la Construcción*. (R. d. civil, Ed.) México.
37. William Lambe, T., & Whitman, R. (2012). *Mecánica de Suelos*. México: LIMUSA.
38. www.fhwa.dot.gov. (s.f.).

ANEXOS

REGISTRO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

INFORME N° S22 - 114-1

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Corte Terreno : C-1
 Prof. (m.) : 2.00
 Referencia : Suelo Natural

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M

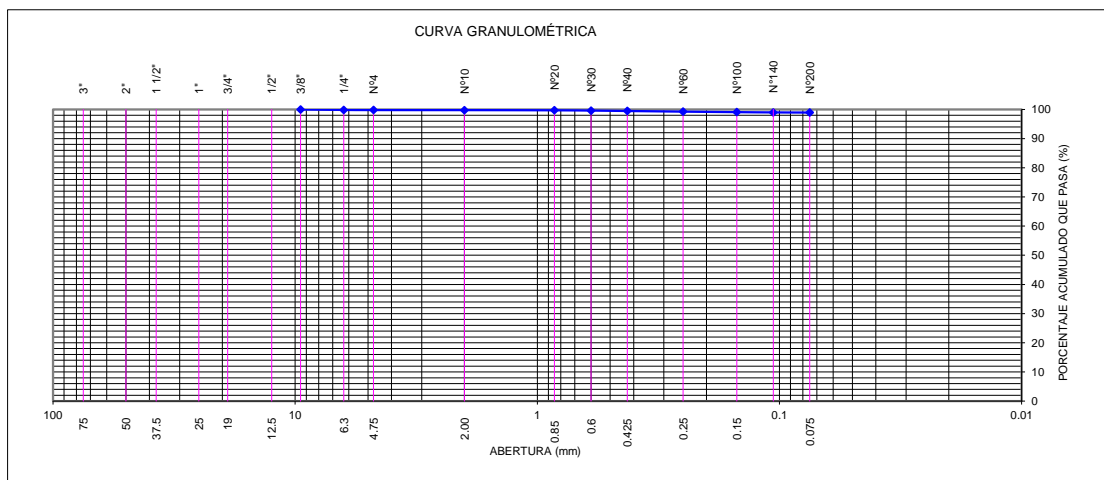
Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "B"

Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial Retenido)	(% Acumulado)	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	100.0
1/4"	6.300	0.2	0.2	99.8
N°4	4.750	0.0	0.2	99.8
N°10	2.000	0.0	0.2	99.8
N°20	0.850	0.1	0.3	99.7
N°30	0.600	0.1	0.4	99.6
N°40	0.425	0.1	0.5	99.5
N°60	0.250	0.2	0.7	99.3
N°100	0.150	0.2	0.9	99.1
N°140	0.106	0.1	1.0	99.0
N°200	0.075	0.0	1.1	98.9
FONDO		98.9		

% Grava	: 0.2
% Arena	: 0.8
% Finos	: 98.9

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Procedimiento interno AT-PR.5	
Límite Líquido	: 45
Límite Plástico	: 25
Índice Plástico	: 20

Clasificación SUCS ASTM D2487 : CL



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME Nº S22 - 114-2-1

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : Suelo Natural
 Calicata : C-2
 Prof. (m.) : 2.00

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M

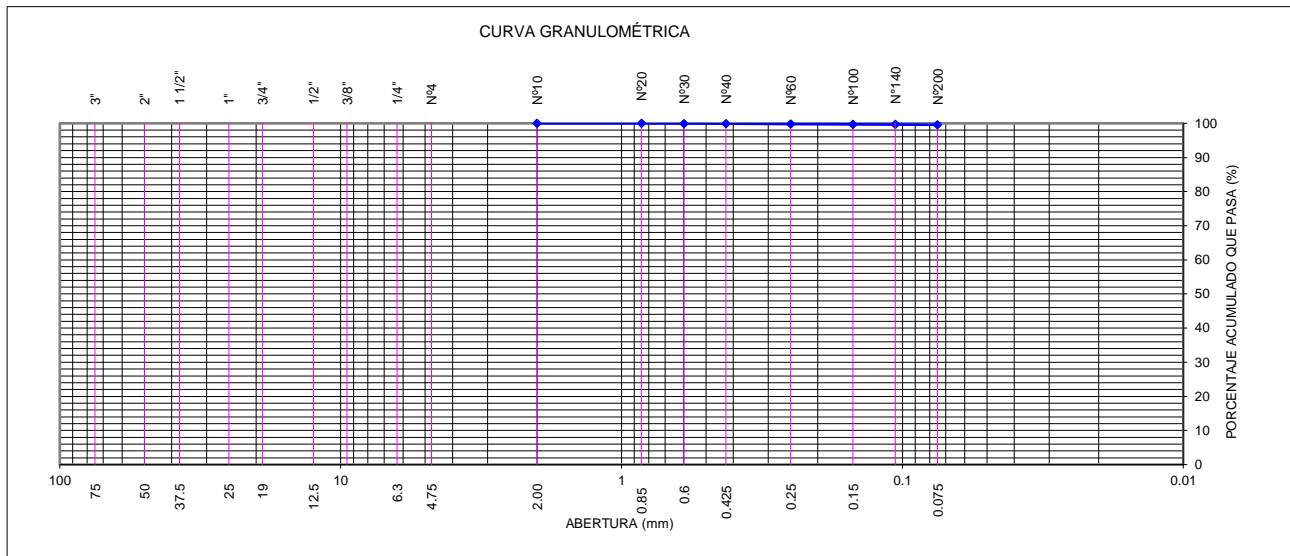
Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "B"

Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial Retenido)	(% Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	
1/4"	6.300	-	-	
Nº4	4.750	-	-	
Nº10	2.000	-	-	100.0
Nº20	0.850	0.0	0.0	100.0
Nº30	0.600	0.0	0.0	100.0
Nº40	0.425	0.0	0.1	99.9
Nº60	0.250	0.1	0.2	99.8
Nº100	0.150	0.1	0.3	99.7
Nº140	0.106	0.1	0.4	99.6
Nº200	0.075	0.0	0.4	99.6
FONDO		99.6		

% Grava	:	----
% Arena	:	0.4
% Finos	:	99.6

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Procedimiento interno AT-PR.5	
Límite Líquido	: 47
Límite Plástico	: 20
Índice Plástico	: 27

Clasificación SUCS ASTM D2487 : CL



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-2-2

SOLICITANTE : **EDSON PAÚL AGUILAR SULCA**
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

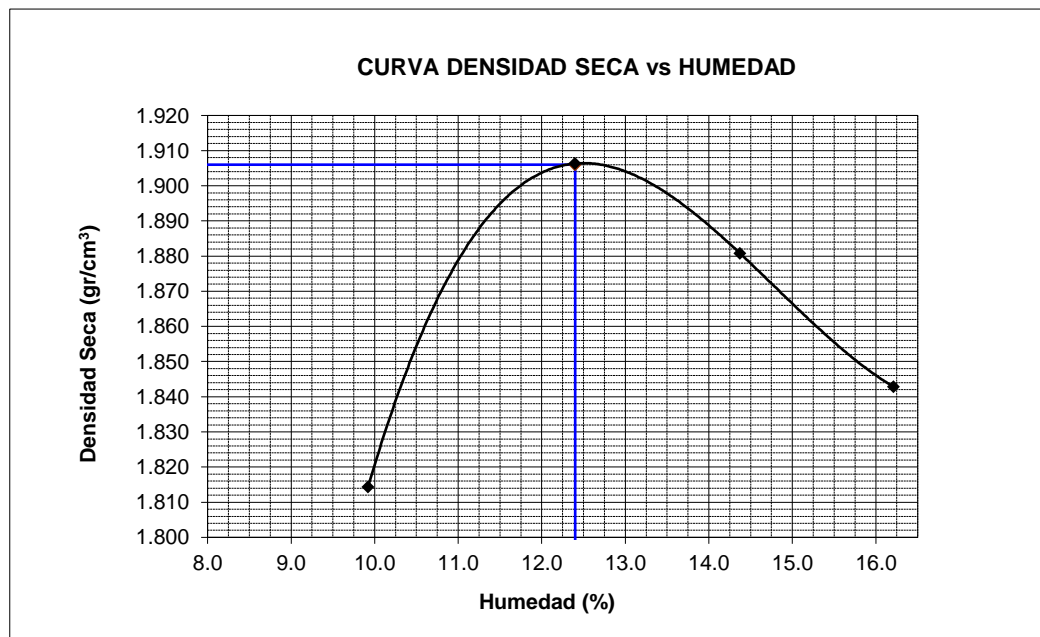
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Suelo Natural

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - REFERENCIA ASTM D 1557

Procedimiento interno AT-PR.6

I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPACTACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA < N°4

MÉTODO DE ENSAYO : A
Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.906
Óptimo Contenido de Humed (%) : 12.40



Nota.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN
ASTM D422**

INFORME N° S22 - 114-2-3

Referencia : Suelo Natural
 Calicata : C-2
 Prof. (m.) : 2.00

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 11 DE MARZO 2022

Tiempo (min)	°C	C _t	Rd	Rc	P(%)	R	L (cm)	L/tiempo (cm/min)	Constante K	Diámetro (mm)	Material Sedimento
1.00	25.40	1.440	62.00	57.4400	93.91	63.00	6.500	6.5000	0.012562	0.0320	5.675
2.00	25.40	1.440	61.00	56.4400	92.27	62.00	6.500	3.2500	0.012562	0.0226	1.635
5.00	25.40	1.440	57.50	52.9400	86.55	58.50	6.700	1.3400	0.012562	0.0145	5.722
10.00	25.40	1.440	52.40	47.8400	78.21	53.40	7.520	0.7520	0.012562	0.0109	8.338
15.00	25.40	1.440	47.50	42.9400	70.20	48.50	8.350	0.5567	0.012562	0.0094	8.011
30.00	25.40	1.440	39.30	34.7400	56.80	40.30	9.670	0.3223	0.012562	0.0071	13.406
60.00	25.40	1.440	34.20	29.6400	48.46	35.20	10.480	0.1747	0.012562	0.0053	8.338
240.00	27.00	2.000	25.10	21.1000	34.50	26.10	11.990	0.0500	0.012327	0.0028	13.962
1440.00	25.60	1.510	16.00	11.5100	18.82	17.00	13.500	0.0094	0.012529	0.0012	15.679

Hora de Inicio : 08:10 Peso específico relativo de sólidos (S_s) : 2.718

Peso Suelo Seco (gr) : 60 % que pasa la malla N° 200 : 99.6

% que pasa la malla N° 10 : 100.0 Lectura Hidrómetro en agua (C_m) : 1.0

Coefficiente "a" : 0.9850 Lectura Hidrómetro en agua + defloculante (C_d) : 6.0

INFORME N° S22 - 114-2-3

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 11 DE MARZO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Suelo Natural

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACION ASTM D422

Diámetro Corregido (mm)	(%) Material que pasa
0.03203	93.91
0.02265	92.27
0.01454	86.55
0.01089	78.21
0.00937	70.20
0.00713	56.80
0.00525	48.46
0.00276	34.50
0.00121	18.82

RESULTADOS :

Limos (%) : 52.52
Arcillas y Coloides (%) : 47.06

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos de procedencia e identificación de la muestra fueron proporcionados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

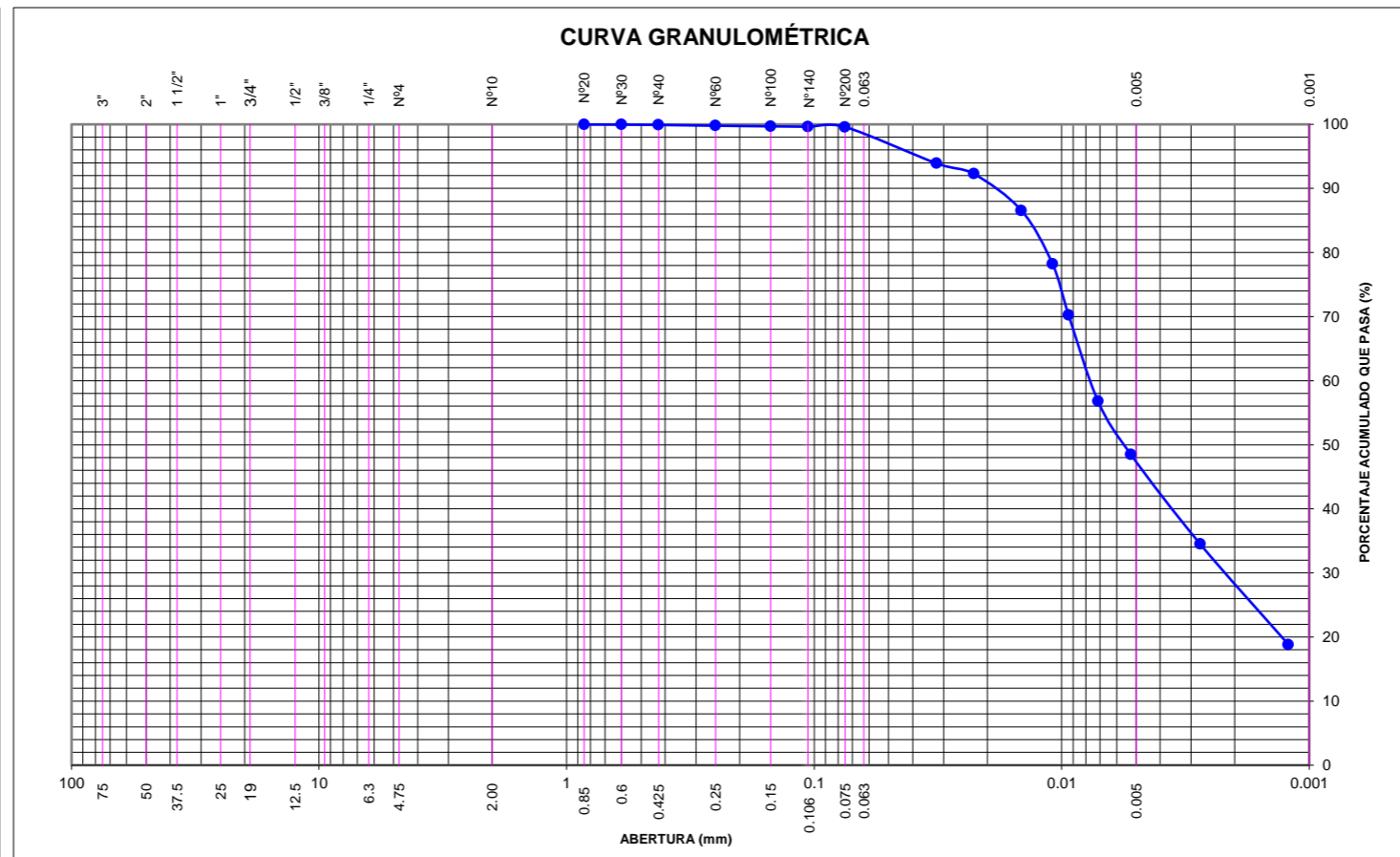
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GLOBAL
ASTM D422

INFORME N° S22 - 114-2-3

Referencia : Suelo Natural
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00

SOLICITANTE : **EDSON PAÚL AGUILAR SULCA**
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

Tamiz	Abertura (mm.)	% Que pasa
3"	75.000	
2"	50.000	
1 1/2"	37.500	
1"	25.000	
3/4"	19.000	
1/2"	12.500	
3/8"	9.500	
1/4"	6.300	
N°4	4.750	
N°10	2.000	
N°20	0.850	100.0
N°30	0.600	100.0
N°40	0.425	99.9
N°60	0.250	99.8
N°100	0.150	99.7
N°140	0.106	99.6
N°200	0.075	99.6
	0.032	93.91
	0.023	92.27
	0.015	86.55
	0.011	78.21
	0.009	70.20
	0.007	56.80
	0.005	48.46
	0.003	34.50
	0.001	18.82



INFORME N° S22 - 114-2-3

SOLICITANTE : **EDSON PAÚL AGUILAR SULCA**
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Suelo Natural

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Malla	(%) Acumulado que pasa
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	
3/8"	
1/4"	
N° 4	
N° 10	100.0
N° 20	100.0
N°30	100.0
N°40	99.9
N°60	99.8
N°100	99.7
N°140	99.6
N°200	99.6

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos de procedencia e identificación de la muestra fueron proporcionados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-2-4

SOLICITANTE : **EDSON PAÚL AGUILAR SULCA**
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE
CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN
CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA -
DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Muestra : 2.00
Referencia : Suelo natural

I. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA - REFERENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5

II. ENSAYO LIMITE DE CONTRACCION - REFERENCIA ASTM D-427

Límite de Contracción (%) : 13.10

Nota.- La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Revisión : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-2-5

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Suelo Natural

ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO DE LOS SUELOS COHESIVOS - REFERENCIA NTP 339.139

Procedimiento interno AT-PR.2

Peso Volumétrico (g/cm³) : 2.111
Contenido de humedad (%) : 13.0

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.
Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-2-6

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE
CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN
CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA -
DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Suelo Natural

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD - REFERENCIA ASTM D2216-19

Procedimiento Interno: AT-PR.1

Contenido de Humedad (%) : **13.0**
Método "B"

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Falcón S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-2-7

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 16 DE MAYO 2022

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Tipo de Ensayo : **No Consolidado No Drenado (UU) - REFERENCIA ASTM D2850**
Procedimiento interno AT-PR.11
Velocidad del ensayo : 0.50 mm/min

Datos de la Muestra
Estado : Remoldeado
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Suelo natural

		ESPECIMENES		
Condiciones Iniciales	Und.	Nº 1	Nº 2	Nº 3
Diámetro	cm	7.15	7.15	7.15
Altura	cm	14.27	14.27	14.27
Densidad Humeda	g/cm ³	2.111	2.111	2.111
Densidad seca	g/cm ³	1.868	1.868	1.868
Contenido de Humedad	%	13.0	13.0	13.0
L/D		2.00	2.00	2.00
Gravedad Especifica		2.718	2.718	2.718
Grado de Saturacion	%	77.7	77.7	77.7
Condiciones Finales				
Diámetro	cm	7.75	7.75	7.75
Altura	cm	12.13	12.13	12.13
Area	cm ²	47.20	47.20	47.20
Densidad Humeda	g/cm ³	2.111	2.111	2.111
Contenido de Humedad	%	13.0	13.0	13.0
Grado de Saturacion	%	77.7	77.7	77.7
Parámetros de Esfuerzos Totales				
Esf. Confinante (σ_3)	kg/cm ²	0.50	1.00	2.00
Esf. Principal (σ_1)	kg/cm ²	1.195	2.157	4.131
Cohesión (C)	kg/cm ²	0.08		
Angulo de Fricción (ϕ)	(°)	18.72		

Nota:

Los especímenes se remoldearon con la densidad natural de la muestra.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. C. Hinostroza G.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO
NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850**

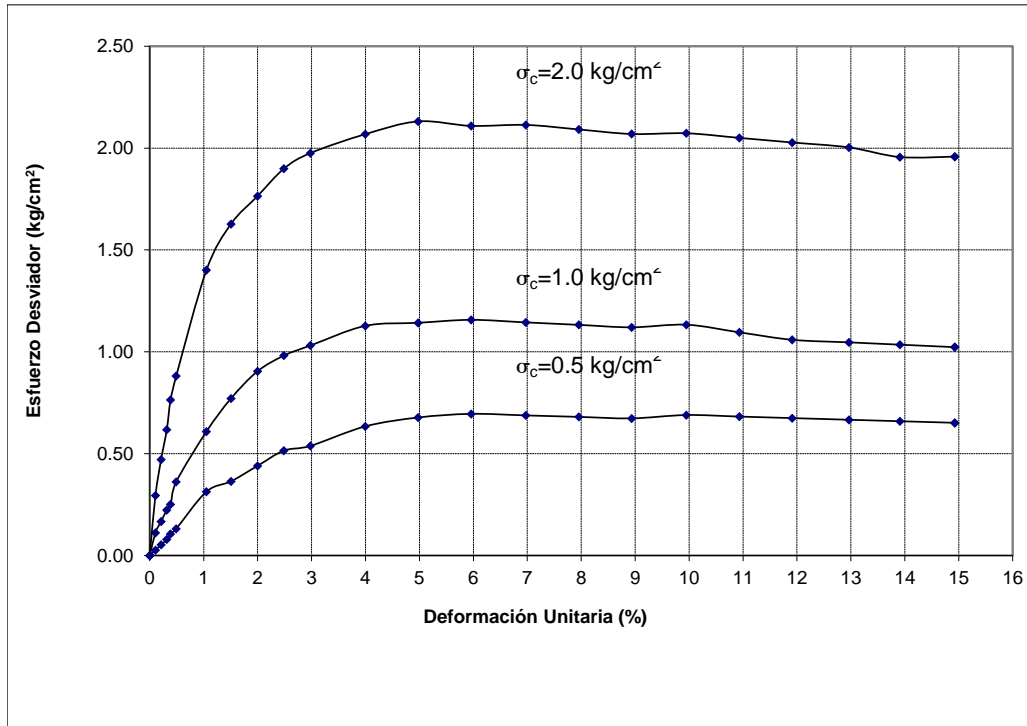
Procedimiento interno AT-PR.11

Estado : Remoldeado
Referencia : Suelo natural
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00

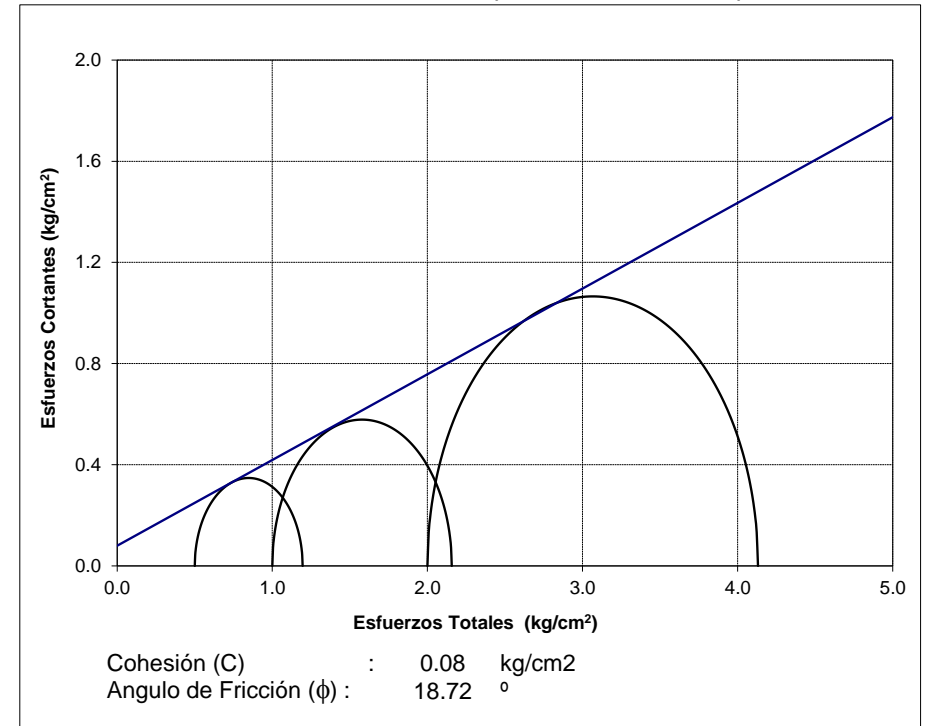
INFORME N° S22 - 114-2-7

SOLICITANTE : **EDSON PAÚL AGUILAR SULCA**
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 16 DE MAYO 2022

DEFORMACION NORMAL VS. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR (ESFUERZOS TOTALES)



INFORME N° S22 - 114-5-7

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA -
FECHA : 01 DE JUNIO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL ASTM D2435

Estado : Remoldeado (material < tamiz N°4)
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Suelo Natural

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN

	Inicial	Final
Diámetro (cm)	11.217	11.217
Altura (cm)	3.836	3.591
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2.111	2.263
Densidad Seca (g/cm ³)	1.868	1.995
Humedad (%)	13.0	13.4
Gravedad Específica	2.718	2.718
Relación de vacíos, e	0.455	0.362

RESULTADOS

Presión (kg/cm ²)	e	δ (mm)
0.25	0.447	0.231
0.50	0.439	0.424
1.00	0.427	0.752
2.00	0.405	1.335
4.00	0.387	1.800
8.00	0.362	2.455
4.00	0.365	2.382
2.00	0.369	2.270
1.00	0.375	2.105
0.50	0.379	2.000
0.25	0.383	1.910

Nota:

El espécimen se remoldeó con la densidad natural seca de la muestra.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

**ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL
ASTM D2435**

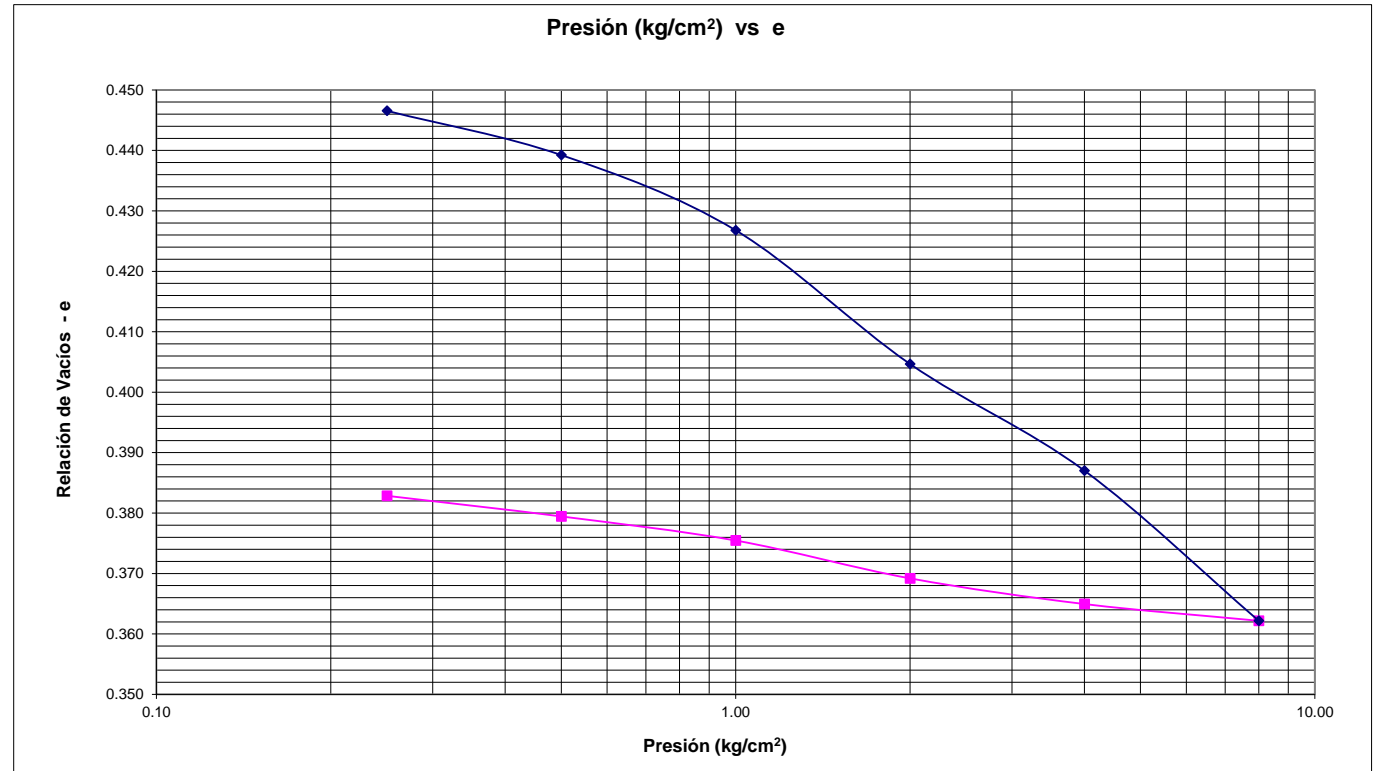
INFORME Nº S22 - 114-5-7

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 01 DE JUNIO 2022

Datos Muestra	
Estado	Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
Referencia	Suelo Natural
Calicata	C-2
Prof. (m.)	2.00

Características del Especimen		
Caract. del Especimen	Inicial	Final
Diametro (cm)	11.217	11.217
Altura (cm)	3.836	3.591
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2.111	2.263
Densidad Seca (g/cm ³)	1.868	1.995
Humedad (%)	13.0	13.4
Gravedad Específica	2.718	2.718
Relación de vacíos, e	0.455	0.362

Resultados			
Presión (kg/cm ²)	e	δ (mm)	Parámetros
0.25	0.447	0.231	Indice de Recompresión (Cr) Cr: 0.033
0.50	0.439	0.424	
1.00	0.427	0.752	
2.00	0.405	1.335	Indice de Consolidación (Cc) Cc: 0.083
4.00	0.387	1.800	
8.00	0.362	2.455	
4.00	0.365	2.382	Indice de Expansión (Cs) Cs: 0.014
2.00	0.369	2.270	
1.00	0.375	2.105	
0.50	0.379	2.000	
0.25	0.383	1.910	



Nota: La expansión fue contrarrestada con: 0.354 kg/cm²

INFORME S22 - 114-2-10

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 29 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE EXPANSIÓN DE CARGA CONTROLADA (MÉTODO A) - ASTM D 4546

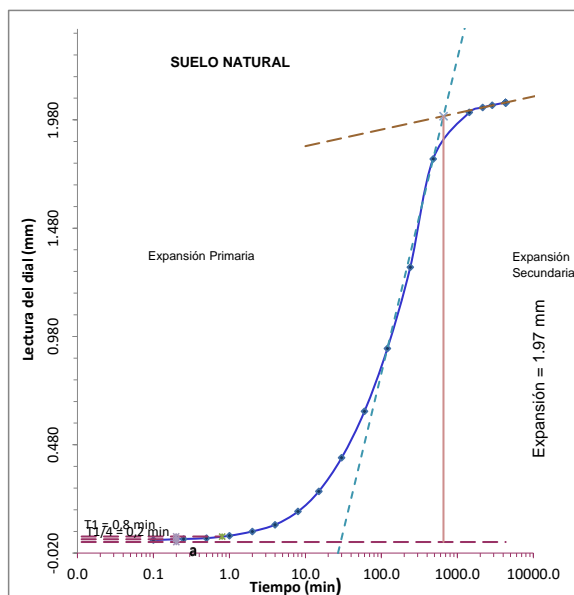
Referencia : Suelo Natural
 Calicata : C-2
 Prof. (m.) : 2.00

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN

	<u>INICIAL</u>	<u>FINAL</u>
Diámetro(mm)	112.17	112.17
Altura(mm)	38.36	40.42
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.868	1.773
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.983	2.119
Húmedad (%)	6.1	19.5
Saturación (%)	36.7	99.4
Gravedad de solidos (Gs)	2.718	2.718
Relacion de vacios (e)	0.45	0.53

ETAPA DE EXPANSIÓN		
Tiempo (min)	Lectura Dial (mm)	Expansion Libre (%)
0	0.000	0.00
0.10	0.040	0.10
0.25	0.045	0.12
0.5	0.049	0.13
1	0.060	0.16
2	0.080	0.21
4	0.111	0.29
8	0.172	0.45
15	0.265	0.69
30	0.420	1.09
60	0.635	1.66
120	0.925	2.41
240	1.300	3.39
480	1.800	4.69
1440	2.015	5.25
2160	2.037	5.31
2880	2.048	5.34
4320	2.060	5.37

EXPANSIÓN LIBRE (%) : **5.13**



ETAPA DE CONSOLIDACION

Presion (kg/cm ²)	Lectura dial (mm)	e
0	2.060	0.533
0.40	1.312	0.505
0.80	0.730	0.483
1.20	0.350	0.468
1.60	0.070	0.458
1.80	-0.035	0.454

Presión de control: 1.731 kg/cm²

Nota:

El espécimen se remoldeó con la densidad natural hallado por el método parafinado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Revisión : Ing. H. Espinoza C.

INFORME Nº S22 - 114-2-10

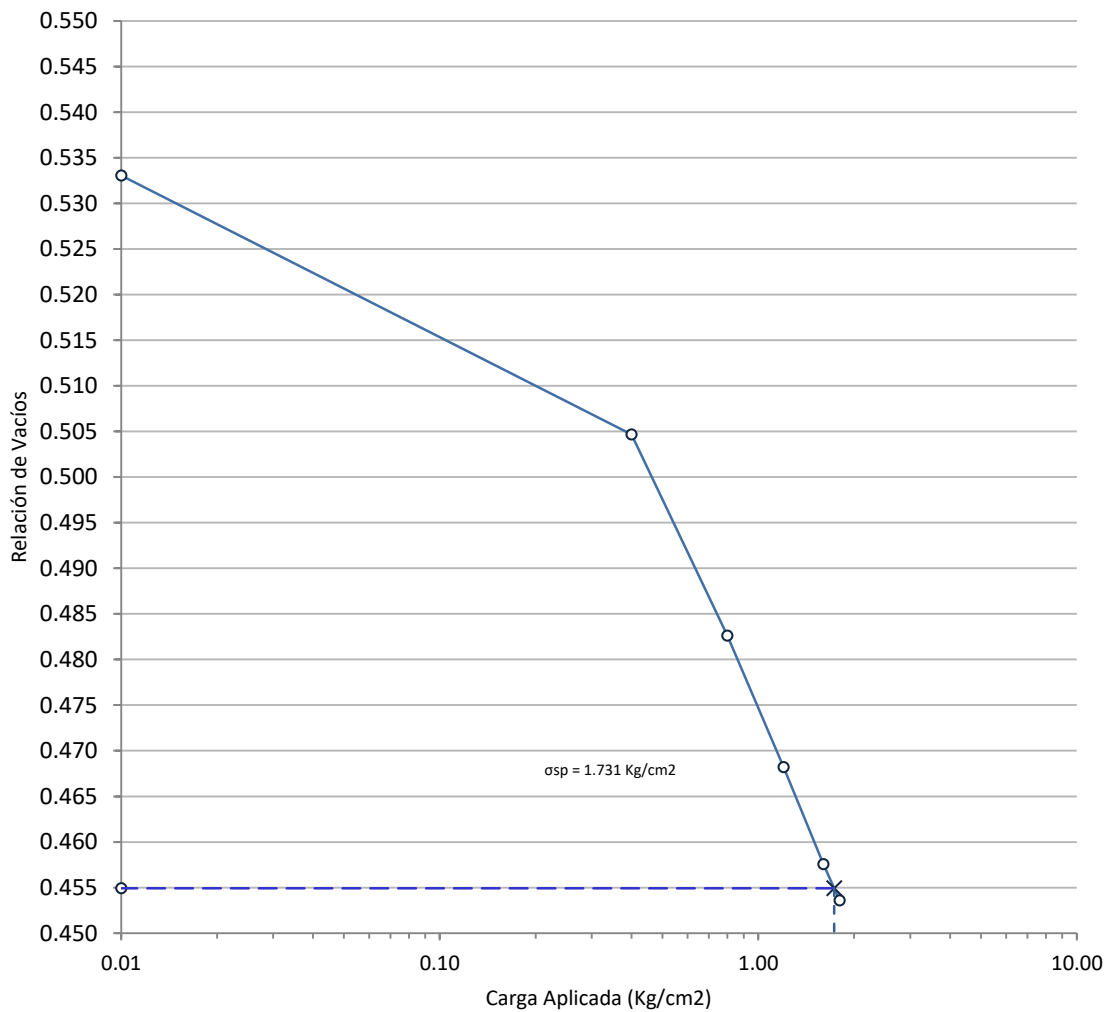
SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 29 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE EXPANSIÓN DE CARGA CONTROLADA (MÉTODO A) - ASTM D 4546

Referencia : Suelo Natural
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00

ETAPA DE CONSOLIDACION

CURVA DE CONSOLIDACION



INFORME N° S22 - 114-2-11

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Suelo Natural

GRAVEDAD ESPECIFICA RELATIVO DE SÓLIDOS - REFERENCIA ASTM D854

Procedimiento interno AT-PR.3 - Método "A"

Masa del suelo seco(gr)	100.00
Masa del frasco + Masa del suelo + Masa del agua(gr)	732.25
Masa del frasco + Masa del agua(gr)	669.04

Gravedad Específica Relativo de Sólidos a Temperatura de Ensayo	:	2.718
Temperatura de Ensayo (°C)	:	20.2
Gravedad Específica Relativo de Sólidos a 20 °C	:	2.718

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-3

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Corte Terreno : C-3
 Prof. (m.) : 2.00
 Referencia : Suelo Natural

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M

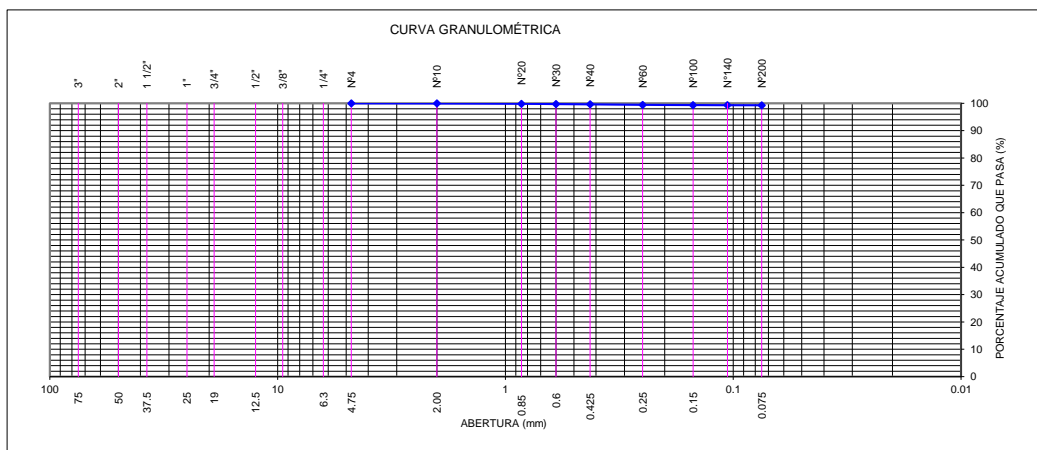
Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "B"

Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial Retenido)	(% Acumulado)	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	
1/4"	6.300	-	-	
Nº4	4.750	-	-	100.0
Nº10	2.000	0.0	0.0	100.0
Nº20	0.850	0.1	0.2	99.8
Nº30	0.600	0.1	0.3	99.7
Nº40	0.425	0.1	0.4	99.6
Nº60	0.250	0.2	0.5	99.5
Nº100	0.150	0.1	0.6	99.4
Nº140	0.106	0.0	0.7	99.3
Nº200	0.075	0.0	0.7	99.3
FONDO		99.3		

% Grava	: ----
% Arena	: 0.7
% Finos	: 99.3

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Procedimiento interno AT-PR.5	
Límite Líquido	: 48
Límite Plástico	: 22
Índice Plástico	: 26

Clasificación SUCS ASTM D2487 : CL



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
 Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.
 Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-4-1

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M

Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "B"

Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial Retenido)	(% Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	100.0
1/4"	6.300	14.4	14.4	85.6
Nº4	4.750	8.3	22.7	77.3
Nº10	2.000	27.3	50.0	50.0
Nº20	0.850	5.7	55.7	44.3
Nº30	0.600	3.3	59.0	41.0
Nº40	0.425	4.3	63.3	36.7
Nº60	0.250	7.3	70.6	29.4
Nº100	0.150	6.3	76.9	23.1
Nº140	0.106	3.5	80.5	19.5
Nº200	0.075	2.9	83.4	16.6
FONDO		16.6		

% Grava	: 22.7
% Arena	: 60.7
% Finos	: 16.6

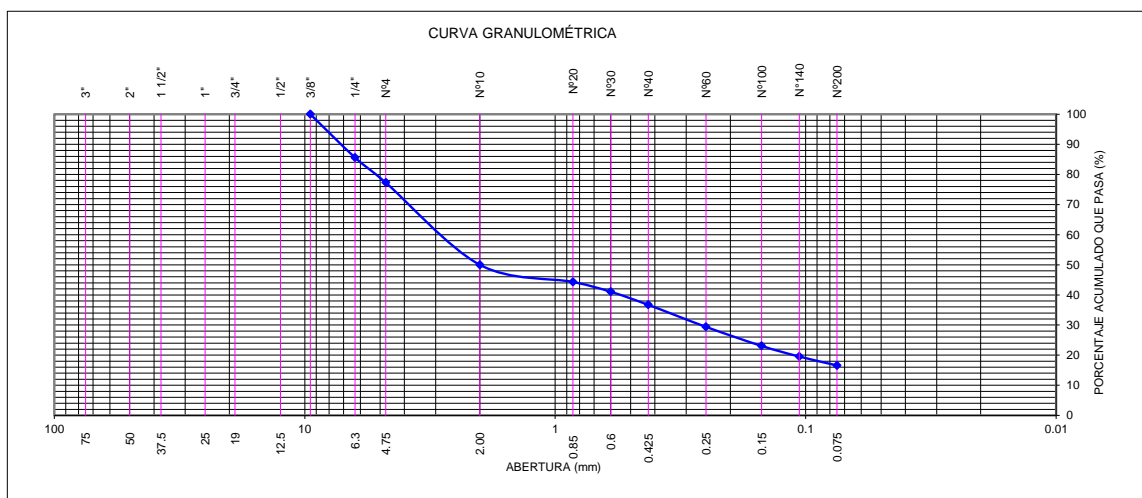
LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Procedimiento interno AT-PR.5	
Límite Líquido	: NP
Límite Plástico	: NP
Índice Plástico	: NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SM

Clasificación AASHTO M 145 (ASTM D3282) : A-1-b(0)

Contenido de Humedad ASTM D2216 (%) : 5.6

Método "B"
Procedimiento interno AT-PR.1



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-4-2

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

GRAVEDAD ESPECIFICA RELATIVO DE SOLIDOS - REFERENCIA ASTM D854

Procedimiento interno AT-PR.3 - Método "A"

Masa del suelo seco(gr)	101.17
Masa del frasco + Masa del suelo + Masa del agua(gr)	733.70
Masa del frasco + Masa del agua(gr)	671.14

Gravedad Específica Relativo de Sólidos a Temperatura de Ensayo	:	2.620
Temperatura de Ensayo (°C)	:	20.3
Gravedad Específica Relativo de Sólidos a 20 °C	:	2.620

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-5-1

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M

Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "B"

Tamiz	Abertura (mm)	Parcial Retenido (%)	Acumulado (%)	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	100.0
1/4"	6.300	2.92	2.92	97.1
Nº4	4.750	1.7	4.6	95.4
Nº10	2.000	5.5	10.2	89.8
Nº20	0.850	1.2	11.3	88.7
Nº30	0.600	0.7	12.0	88.0
Nº40	0.425	0.9	12.9	87.1
Nº60	0.250	1.6	14.5	85.5
Nº100	0.150	1.4	15.9	84.1
Nº140	0.106	0.8	16.6	83.4
Nº200	0.075	0.6	17.3	82.7
FONDO		82.7		

% Grava	: 4.6
% Arena	: 12.7
% Finos	: 82.7

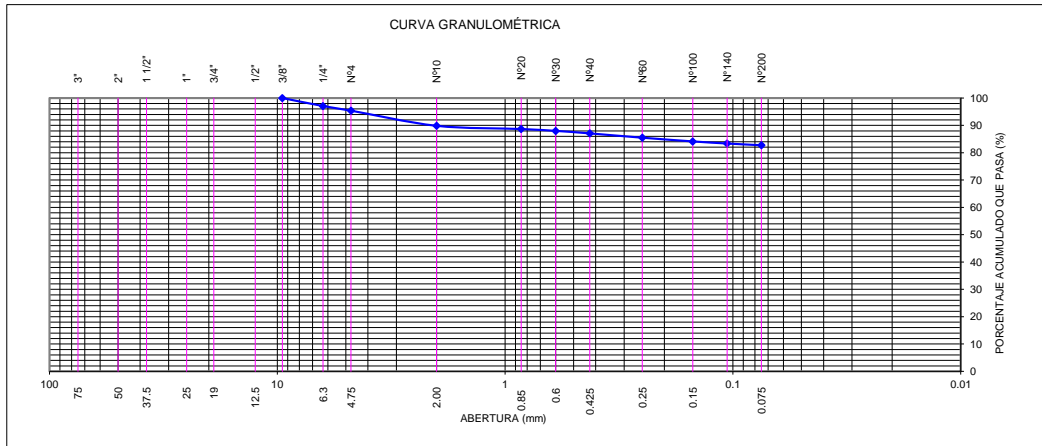
LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Procedimiento interno AT-PR.5	
Límite Líquido	: 44
Límite Plástico	: 28
Índice Plástico	: 16

Clasificación SUCS ASTM D2487 : ML

Clasificación AASHTO M 145 (ASTM D3282) : A-7-6(4)

Procedimiento interno AT-PR.1

15 4



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-5-2

SOLICITANTE : **EDSON PAÚL AGUILAR SULCA**
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

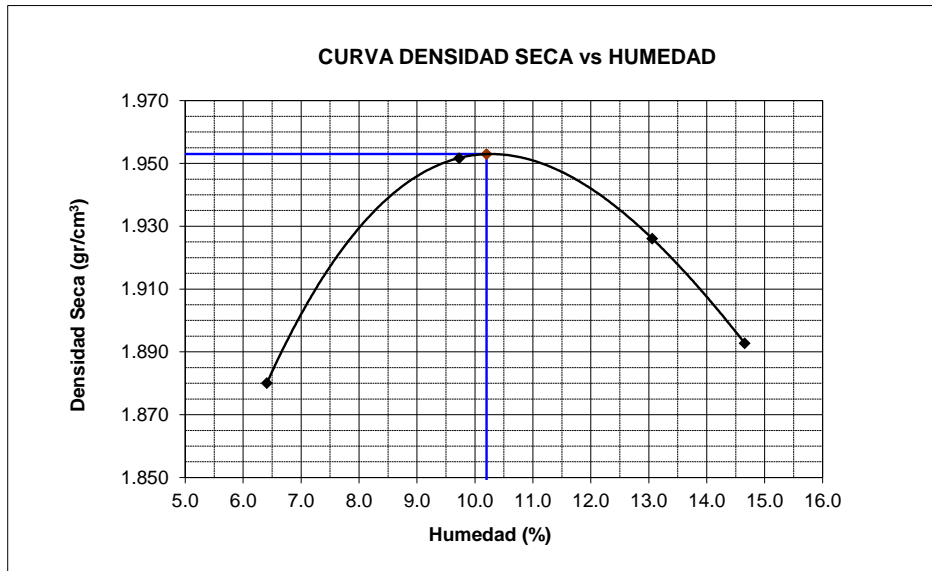
Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - REFERENCIA ASTM D 1557

Procedimiento interno AT-PR.6

I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPACTACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA < 3/8"

MÉTODO DE ENSAYO : B
Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.953
Óptimo Contenido de Humed: (%) : 10.20



Nota.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN
ASTM D422**

INFORME N° S22 - 114-5-3

Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 11 DE MARZO 2022

Tiempo (min)	°C	C _i	Rd	Rc	P(%)	R	L (cm)	L/tiempo (cm/min)	Constante K	Diámetro (mm)	Material Sedimento
1.00	25.40	1.440	48.00	43.4400	59.26	49.00	8.300	8.3000	0.012628	0.0364	23.474
2.00	25.40	1.440	47.00	42.4400	57.90	48.00	8.400	4.2000	0.012628	0.0259	1.364
5.00	25.40	1.440	43.80	39.2400	53.53	44.80	8.940	1.7880	0.012628	0.0169	4.365
10.00	25.40	1.440	39.30	34.7400	47.39	40.30	9.670	0.9670	0.012628	0.0124	6.139
15.00	25.40	1.440	35.10	30.5400	41.66	36.10	10.380	0.6920	0.012628	0.0105	5.730
30.00	25.40	1.440	29.20	24.6400	33.61	30.20	11.360	0.3787	0.012628	0.0078	8.049
60.00	25.40	1.440	23.50	18.9400	25.84	24.50	12.300	0.2050	0.012628	0.0057	7.776
240.00	27.00	2.000	18.70	14.7000	20.05	19.70	13.060	0.0544	0.012408	0.0029	5.784
1440.00	25.60	1.510	14.00	9.5100	12.97	15.00	13.800	0.0096	0.012588	0.0012	7.080

Hora de Inicio	:	08:10	Peso específico relativo de sólidos (S _s)	:	2.698
Peso Suelo Seco (gr)	:	60	% que pasa la malla N° 200	:	82.7
% que pasa la malla N° 10	:	89.8	Lectura Hidrómetro en agua (C _m)	:	1.0
Coefficiente "a"	:	0.9893	Lectura Hidrómetro en agua + defloculante (C _d)	:	6.0

INFORME N° S22 - 114-5-3

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 11 DE MARZO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACION ASTM D422

Diámetro Corregido (mm)	(%) Material que pasa
0.03638	59.26
0.02588	57.90
0.01689	53.53
0.01242	47.39
0.01050	41.66
0.00777	33.61
0.00572	25.84
0.00289	20.05
0.00123	12.97

RESULTADOS :

Limos (%)	:	58.37
Arcillas y Coloides (%)	:	24.37

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos de procedencia e identificación de la muestra fueron proporcionados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GLOBAL
ASTM D422

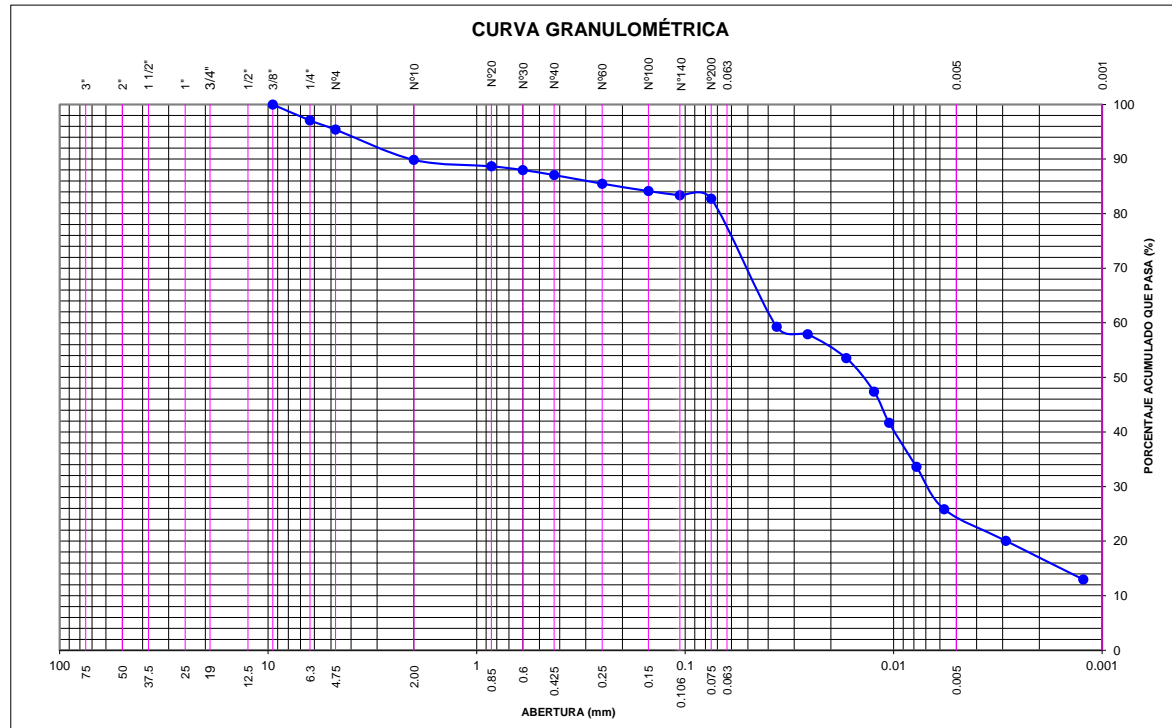
INFORME N° S22 - 114-5-3

Referencia :

80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

Tamiz	Abertura (mm.)	% Que pasa
3"	75.000	
2"	50.000	
1 1/2"	37.500	
1"	25.000	
3/4"	19.000	
1/2"	12.500	
3/8"	9.500	100.0
1/4"	6.300	97.1
Nº4	4.750	95.4
Nº10	2.000	89.8
Nº20	0.850	88.7
Nº30	0.600	88.0
Nº40	0.425	87.1
Nº60	0.250	85.5
Nº100	0.150	84.1
Nº140	0.106	83.4
Nº200	0.075	82.7
	0.036	59.26
	0.026	57.90
	0.017	53.53
	0.012	47.39
	0.011	41.66
	0.008	33.61
	0.006	25.84
	0.003	20.05
	0.001	12.97



INFORME N° S22 - 114-5-3

SOLICITANTE : **EDSON PAÚL AGUILAR SULCA**
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Malla	(%) Acumulado que pasa
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	
3/8"	100.0
1/4"	97.1
N° 4	95.4
N° 10	89.8
N° 20	88.7
N° 30	88.0
N° 40	87.1
N° 60	85.5
N° 100	84.1
N° 140	83.4
N° 200	82.7

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos de procedencia e identificación de la muestra fueron proporcionados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-5-4

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE
CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN
CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA -
DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

I. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA - REFERENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5

II. ENSAYO LIMITE DE CONTRACCION - REFERENCIA ASTM D-427

Límite de Contracción (%) : 29.3

Nota.- La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Revisión : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-5-5

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 16 DE MAYO 2022

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Tipo de Ensayo : **No Consolidado No Drenado (UU) - REFERENCIA ASTM D2850**
Procedimiento interno AT-PR.11
Velocidad del ensayo : 0.50 mm/min

Datos de la Muestra

Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

		ESPECIMENES		
Condiciones Iniciales	Und.	Nº 1	Nº 2	Nº 3
Diámetro	cm	7.15	7.15	7.15
Altura	cm	14.27	14.27	14.27
Densidad Humeda	g/cm ³	2.152	2.152	2.152
Densidad seca	g/cm ³	1.953	1.953	1.953
Contenido de Humedad	%	10.2	10.2	10.2
L/D		2.00	2.00	2.00
Gravedad Especifica		2.698	2.698	2.698
Grado de Saturacion	%	72.1	72.1	72.1
Condiciones Finales				
Diámetro	cm	7.75	7.75	7.75
Altura	cm	12.13	12.13	12.13
Area	cm ²	47.20	47.20	47.20
Densidad Humeda	g/cm ³	2.152	2.152	2.152
Contenido de Humedad	%	10.2	10.2	10.2
Grado de Saturacion	%	72.1	72.1	72.1
Parámetros de Esfuerzos Totales				
Esf. Confinante (σ_3)	kg/cm ²	0.50	1.00	2.00
Esf. Principal (σ_1)	kg/cm ²	1.448	2.669	5.034
Cohesión (C)	kg/cm ²	0.06		
Angulo de Fricción (ϕ)	(°)	24.59		

Nota:

Los especímenes se remoldearon con la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. C. Hinostrza G.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO
NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850**

Procedimiento interno AT-PR.11

Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

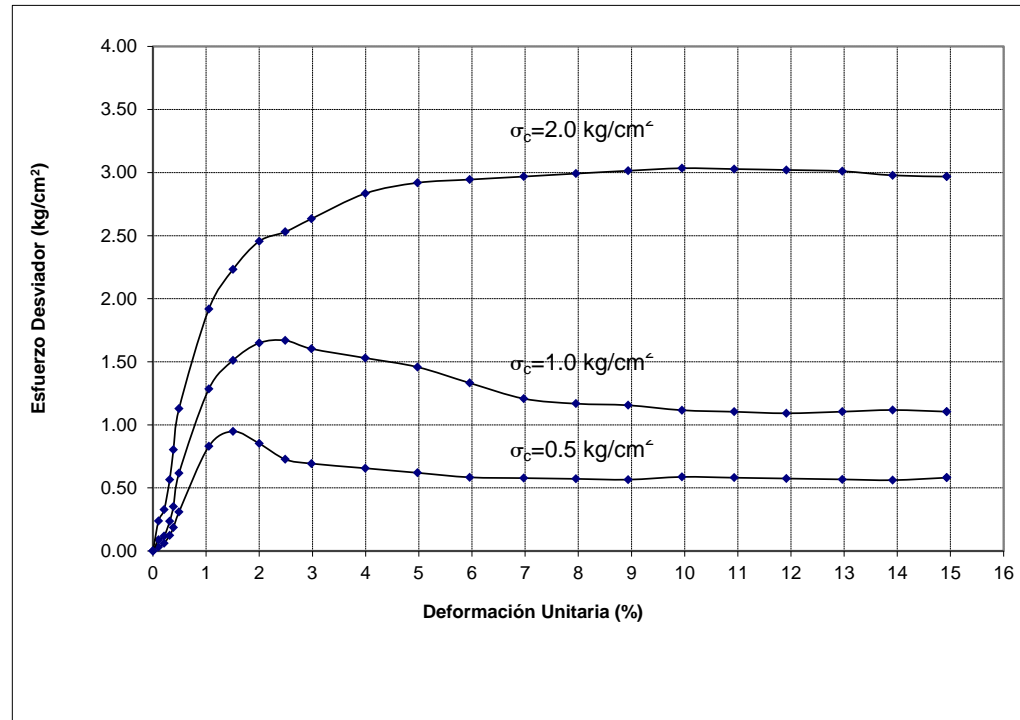
SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

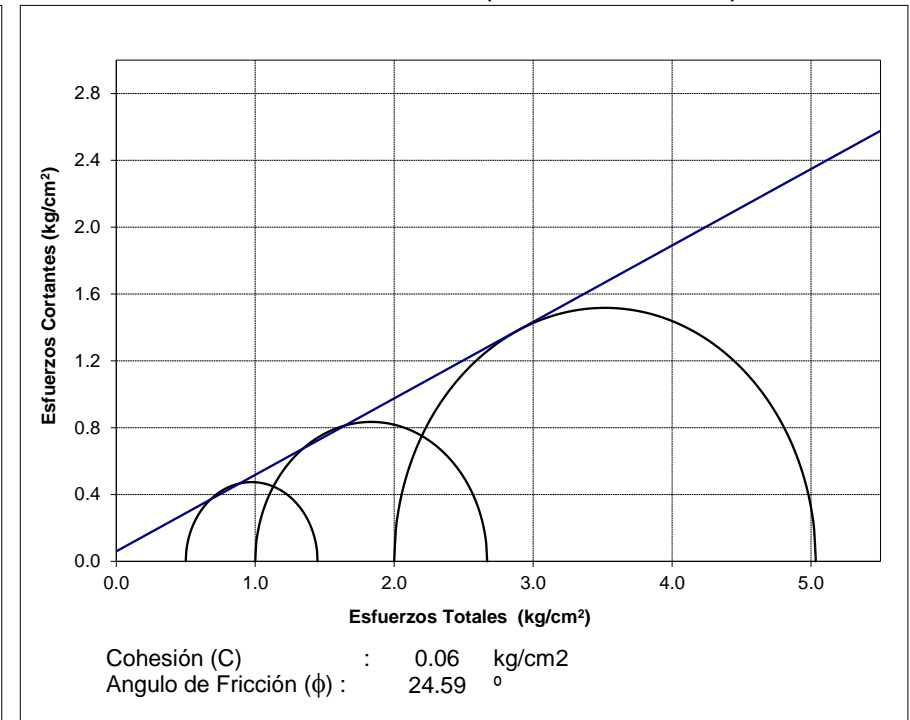
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 16 DE MAYO 2022

DEFORMACION NORMAL VS. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR (ESFUERZOS TOTALES)



INFORME N° S22 - 114-5-6

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA -
FECHA : 01 DE JUNIO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL ASTM D2435

Estado : Remoldeado (material < tamiz N°4)
Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN

	Inicial	Final
Diámetro (cm)	11.240	11.240
Altura (cm)	3.826	3.572
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2.152	2.318
Densidad Seca (g/cm ³)	1.953	2.092
Humedad (%)	10.2	10.8
Gravedad Específica	2.698	2.698
Relación de vacíos, e	0.381	0.289

RESULTADOS

Presión (kg/cm ²)	e	δ (mm)
0.25	0.367	0.398
0.50	0.359	0.625
1.00	0.348	0.920
2.00	0.334	1.310
4.00	0.315	1.840
8.00	0.289	2.545
4.00	0.292	2.465
2.00	0.296	2.355
1.00	0.302	2.210
0.50	0.305	2.125
0.25	0.307	2.048

Nota:

El espécimen se remoldeó con la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

**ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL
ASTM D2435**

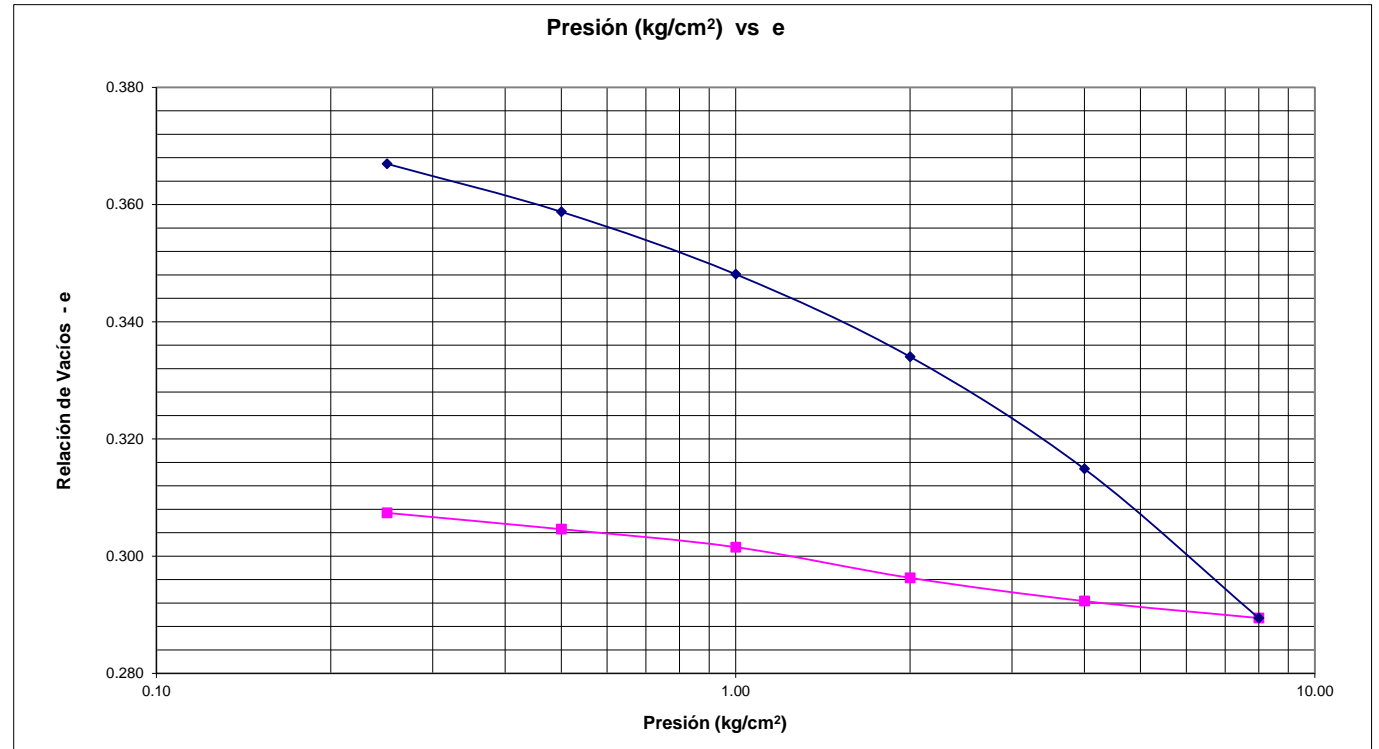
INFORME Nº S22 - 114-5-6

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 01 DE JUNIO 2022

Datos Muestra	
Estado	Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
Referencia	80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

Características del Especimen		
Caract. del Especimen	Inicial	Final
Diametro (cm)	11.24	11.24
Altura (cm)	3.826	3.572
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2.152	2.318
Densidad Seca (g/cm ³)	1.953	2.092
Humedad (%)	10.2	10.8
Gravedad Específica	2.698	2.698
Relación de vacíos , e	0.381	0.289

Resultados			
Presión (kg/cm ²)	e	δ (mm)	Parámetros
0.25	0.367	0.398	Indice de Recompresión (Cr) Cr: 0.031
0.50	0.359	0.625	
1.00	0.348	0.920	
2.00	0.334	1.310	Indice de Consolidación (Cc) Cc: 0.085
4.00	0.315	1.840	
8.00	0.289	2.545	
4.00	0.292	2.465	Indice de Expansión (Cs) Cs: 0.012
2.00	0.296	2.355	
1.00	0.302	2.210	
0.50	0.305	2.125	
0.25	0.307	2.048	



Nota: La expansión fue contrarrestado con: 0.327 kg/cm²

INFORME S22 - 114-5-7

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 29 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE EXPANSIÓN DE CARGA CONTROLADA (MÉTODO A) - ASTM D 4546

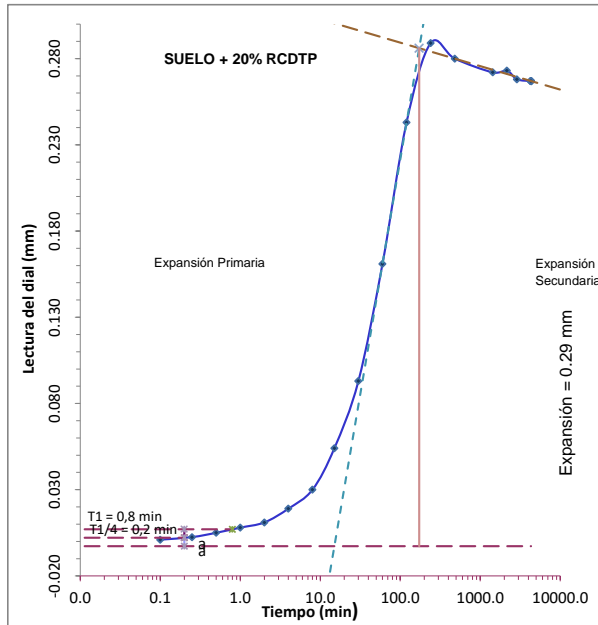
Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

CARACTERÍSTICAS DEL ESPECIMEN

	<u>INICIAL</u>	<u>FINAL</u>
Diámetro(mm)	112.40	112.40
Altura(mm)	38.32	38.59
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.953	1.939
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.066	2.223
Húmedad (%)	5.8	14.6
Saturación (%)	41.0	100.0
Gravedad de solidos (Gs)	2.698	2.698
Relacion de vacios (e)	0.382	0.391

ETAPA DE EXPANSIÓN		
Tiempo (min)	Lectura Dial (mm)	Expansion Libre (%)
0	0.000	0.00
0.10	0.001	0.00
0.25	0.003	0.01
0.5	0.005	0.01
1	0.008	0.02
2	0.011	0.03
4	0.019	0.05
8	0.030	0.08
15	0.054	0.14
30	0.093	0.24
60	0.161	0.42
120	0.243	0.63
240	0.289	0.75
480	0.280	0.73
1440	0.272	0.71
2160	0.273	0.71
2880	0.268	0.70
4320	0.267	0.70

EXPANSIÓN LIBRE (%) : **0.75**



ETAPA DE CONSOLIDACION

Presion (kg/cm ²)	Lectura dial (mm)	e
0	0.264	0.391
0.05	0.232	0.390
0.10	0.195	0.389
0.20	0.106	0.385
0.40	-0.043	0.380

Presión de control: 0.327 kg/cm²

Nota:

El espécimen se remoldeo con la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Revisión : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-5-7

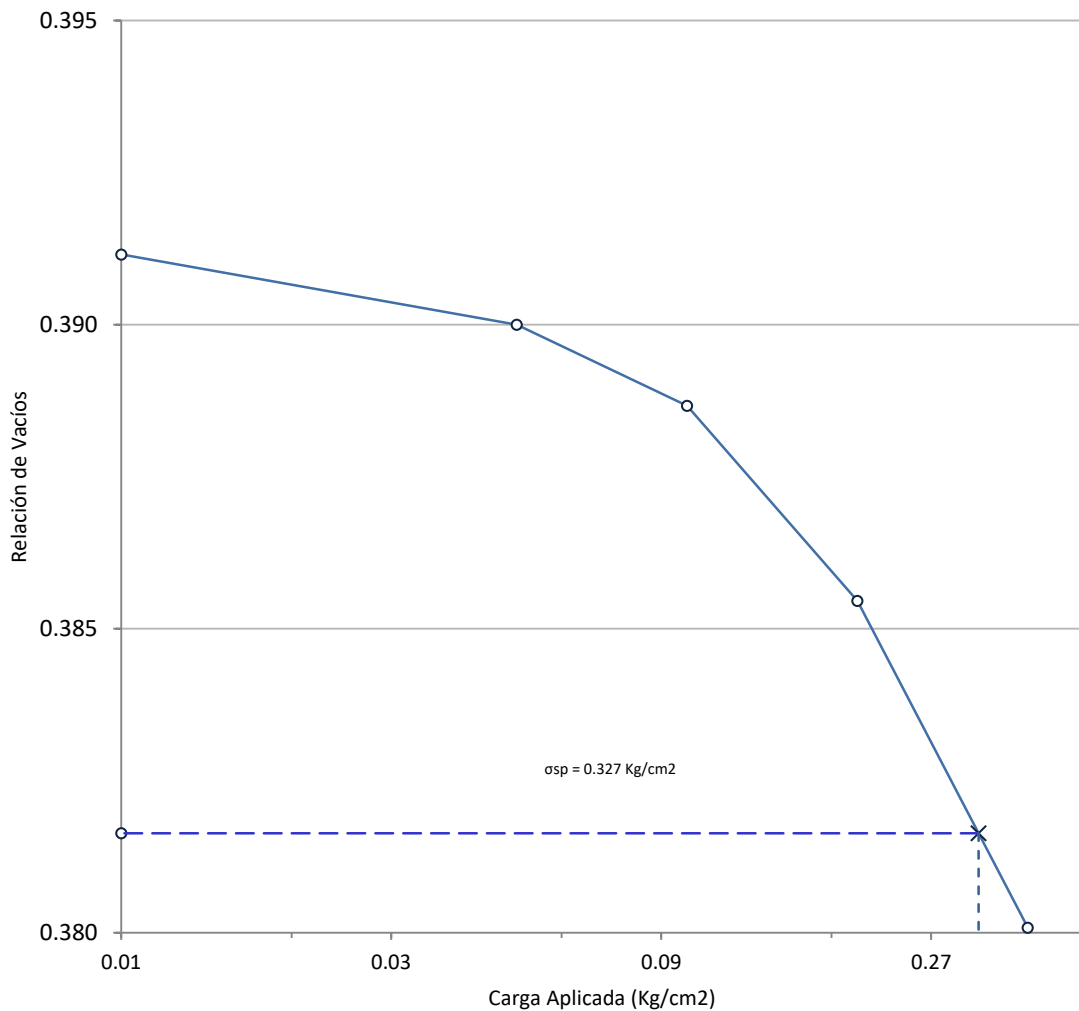
SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 29 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE EXPANSIÓN DE CARGA CONTROLADA (MÉTODO A) - ASTM D 4546

Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

ETAPA DE CONSOLIDACION

CURVA DE CONSOLIDACION



INFORME N° S22 - 114-5-8

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 80% Suelo + 20% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

GRAVEDAD ESPECIFICA RELATIVO DE SOLIDOS - REFERENCIA ASTM D854

Procedimiento interno AT-PR.3 - Método "A"

Masa del suelo seco(gr)	100.00
Masa del frasco + Masa del suelo + Masa del agua(gr)	731.64
Masa del frasco + Masa del agua(gr)	668.70

Gravedad Específica Relativo de Sólidos a Temperatura de Ensayo	:	2.698
Temperatura de Ensayo (°C)	:	20.4
Gravedad Específica Relativo de Sólidos a 20 °C	:	2.698

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME Nº S22 - 114-6-1

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M

Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "B"

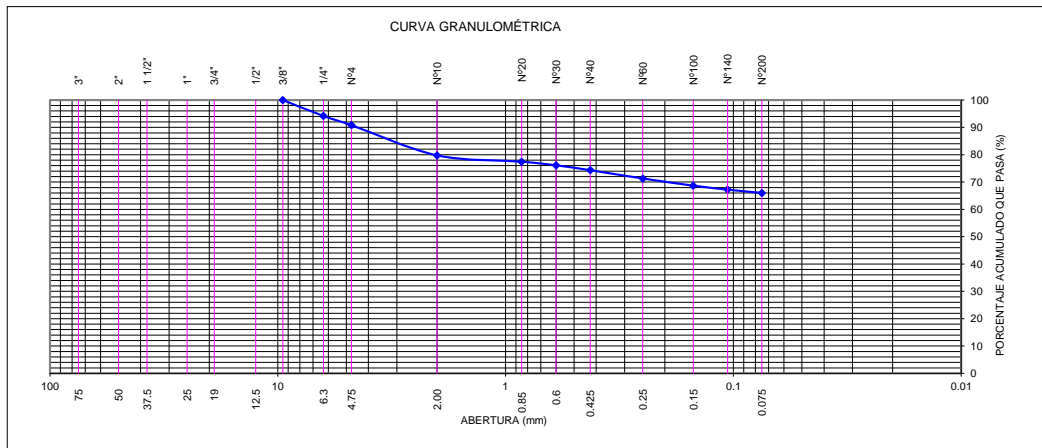
Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	100.0
1/4"	6.300	5.83	5.83	94.2
Nº4	4.750	3.4	9.2	90.8
Nº10	2.000	11.0	20.2	79.8
Nº20	0.850	2.3	22.5	77.5
Nº30	0.600	1.3	23.9	76.1
Nº40	0.425	1.8	25.7	74.3
Nº60	0.250	3.0	28.7	71.3
Nº100	0.150	2.6	31.3	68.7
Nº140	0.106	1.5	32.8	67.2
Nº200	0.075	1.2	34.0	66.0
FONDO		66.0		

% Grava	: 9.2
% Arena	: 24.8
% Finos	: 66.0

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Procedimiento interno AT-PR.5	
Límite Líquido	: 41
Límite Plástico	: 29
Índice Plástico	: 12

Clasificación SUCS ASTM D2487 : ML

Clasificación AASHTO M 145 (ASTM D3282) : A-7-6(1)



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-6-2

SOLICITANTE : **EDSON PAÚL AGUILAR SULCA**
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

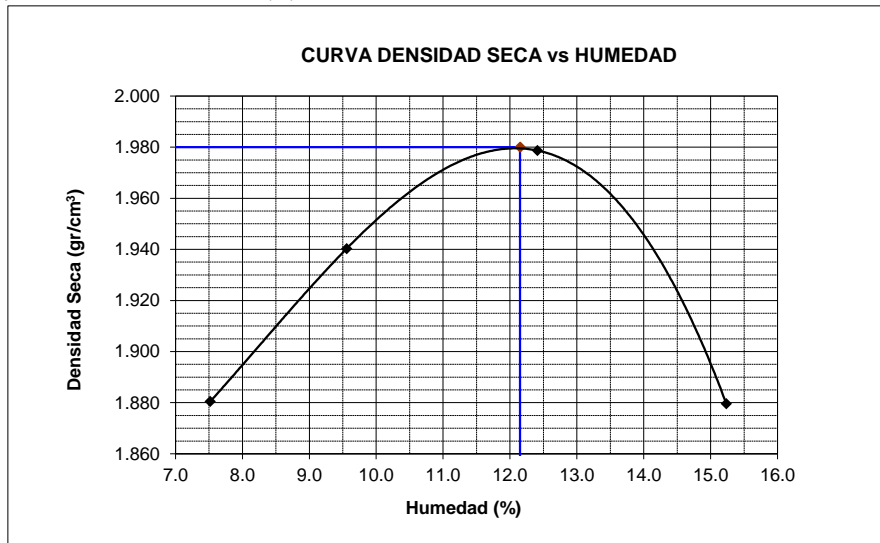
Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - REFERENCIA ASTM D 1557

Procedimiento interno AT-PR.6

I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPACTACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA < 3/8"

MÉTODO DE ENSAYO : B
Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.980
Óptimo Contenido de Humed (%) : 12.15



Nota.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN
ASTM D422**

INFORME N° S22 - 114-6-3

Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido,
triturado y pulverizado

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE
CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN
CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA -
DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 11 DE MARZO 2022

Tiempo (min)	°C	C _t	R _d	R _c	P(%)	R	L (cm)	L/tiempo (cm/min)	Constante K	Diámetro (mm)	Material Sedimento
1.00	25.40	1.440	42.20	37.6400	41.14	43.20	9.180	9.1800	0.012703	0.0385	24.871
2.00	25.40	1.440	40.30	35.7400	39.06	41.30	9.540	4.7700	0.012703	0.0277	2.076
5.00	25.40	1.440	37.20	32.6400	35.67	38.20	10.060	2.0120	0.012703	0.0180	3.388
10.00	25.40	1.440	33.00	28.4400	31.08	34.00	10.700	1.0700	0.012703	0.0131	4.590
15.00	25.40	1.440	31.10	26.5400	29.01	32.10	11.080	0.7387	0.012703	0.0109	2.076
30.00	25.40	1.440	24.20	19.6400	21.46	25.20	12.160	0.4053	0.012703	0.0081	7.541
60.00	25.40	1.440	19.00	14.4400	15.78	20.00	13.000	0.2167	0.012703	0.0059	5.683
240.00	27.00	2.000	15.20	11.2000	12.24	16.20	13.660	0.0569	0.012483	0.0030	3.541
1440.00	25.60	1.510	11.20	6.7100	7.33	12.20	14.280	0.0099	0.012663	0.0013	4.907

Hora de Inicio	:	08:10	Peso específico relativo de sólidos (S _s)	:	2.679
Peso Suelo Seco (gr)	:	60	% que pasa la malla N° 200	:	66.0
% que pasa la malla N° 10	:	79.8	Lectura Hidrómetro en agua (C _m)	:	1.0
Coeficiente "a"	:	0.9934	Lectura Hidrómetro en agua + defloculante (C _d)	:	6.0

INFORME N° S22 - 114-6-3

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 11 DE MARZO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACION ASTM D422

Diámetro Corregido (mm)	(%) Material que pasa
0.03849	41.14
0.02774	39.06
0.01802	35.67
0.01314	31.08
0.01092	29.01
0.00809	21.46
0.00591	15.78
0.00298	12.24
0.00126	7.33

RESULTADOS :

Limos (%)	:	51.33
Arcillas y Coloides (%)	:	14.68

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos de procedencia e identificación de la muestra fueron proporcionados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GLOBAL
ASTM D422

INFORME N° S22 - 114-6-3

Referencia :

60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

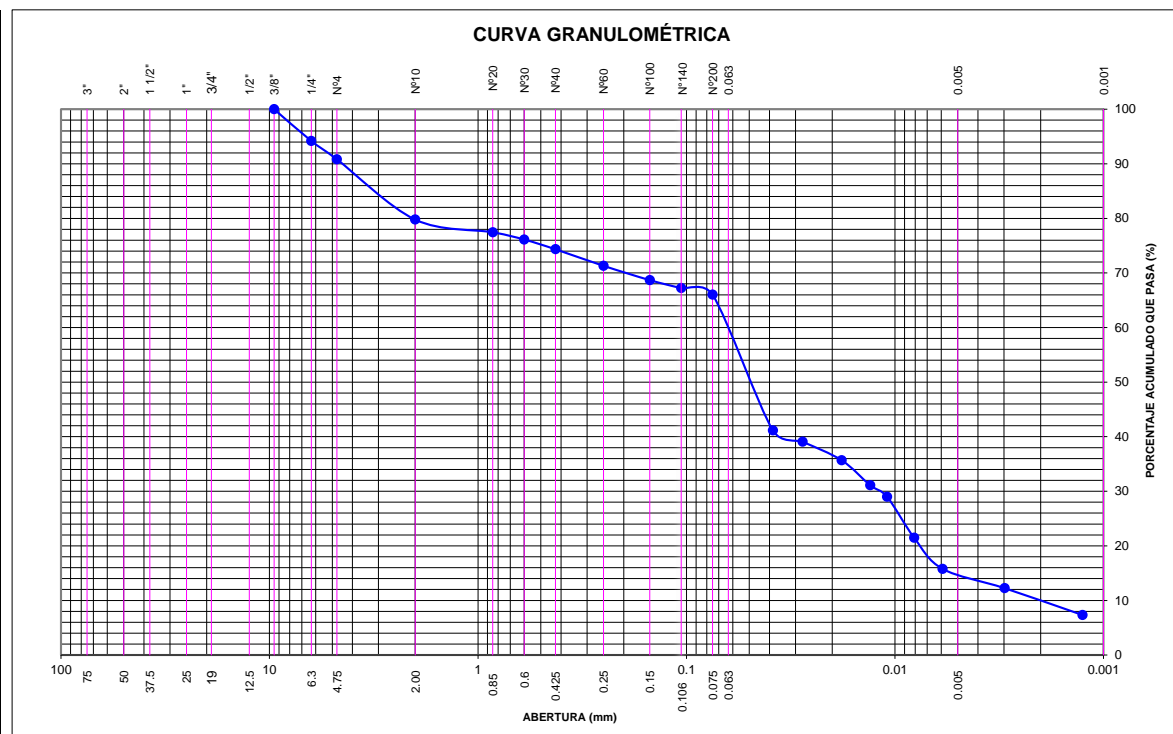
SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 11 DE MARZO 2022

Tamiz	Abertura (mm.)	% Que pasa
3"	75.000	
2"	50.000	
1 1/2"	37.500	
1"	25.000	
3/4"	19.000	
1/2"	12.500	
3/8"	9.500	100.0
1/4"	6.300	94.2
Nº4	4.750	90.8
Nº10	2.000	79.8
Nº20	0.850	77.5
Nº30	0.600	76.1
Nº40	0.425	74.3
Nº60	0.250	71.3
Nº100	0.150	68.7
Nº140	0.106	67.2
Nº200	0.075	66.0
	0.038	41.14
	0.028	39.06
	0.018	35.67
	0.013	31.08
	0.011	29.01
	0.008	21.46
	0.006	15.78
	0.003	12.24
	0.001	7.33



INFORME N° S22 - 114-6-3

SOLICITANTE : **EDSON PAÚL AGUILAR SULCA**
PROYECTO : **ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.**
UBICACIÓN : **CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO**
FECHA : **11 DE MARZO 2022**

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Malla	(%) Acumulado que pasa
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	
3/8"	100.0
1/4"	94.2
N° 4	90.8
N° 10	79.8
N° 20	77.5
N°30	76.1
N°40	74.3
N°60	71.3
N°100	68.7
N°140	67.2
N°200	66.0

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos de procedencia e identificación de la muestra fueron proporcionados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-6-4

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

I. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA - REFERENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5

II. ENSAYO LIMITE DE CONTRACCION - REFERENCIA ASTM D-427

Límite de Contracción (%) : 28.16

Nota.- La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Revisión : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-6-5

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 16 DE MAYO 2022

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Tipo de Ensayo : **No Consolidado No Drenado (UU) - REFERENCIA ASTM D2850**
Procedimiento interno AT-PR.11
Velocidad del ensayo : 0.50 mm/min

Datos de la Muestra

Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

		ESPECIMENES		
Condiciones Iniciales	Und.	N° 1	N° 2	N° 3
Diámetro	cm	7.15	7.15	7.15
Altura	cm	14.27	14.27	14.27
Densidad Humeda	g/cm ³	2.221	2.221	2.221
Densidad seca	g/cm ³	1.980	1.980	1.980
Contenido de Humedad	%	12.2	12.2	12.2
L/D		2.00	2.00	2.00
Gravedad Especifica		2.679	2.679	2.679
Grado de Saturacion	%	92.2	92.2	92.2
Condiciones Finales				
Diámetro	cm	7.75	7.75	7.75
Altura	cm	12.13	12.13	12.13
Area	cm ²	47.20	47.20	47.20
Densidad Humeda	g/cm ³	2.221	2.221	2.221
Contenido de Humedad	%	12.2	12.2	12.2
Grado de Saturacion	%	92.2	92.2	92.2
Parámetros de Esfuerzos Totales				
Esf. Confinante (σ_3)	kg/cm ²	0.50	1.00	2.00
Esf. Principal (σ_1)	kg/cm ²	1.474	2.827	5.507
Cohesión (C)	kg/cm ²	0.03		
Angulo de Fricción (ϕ)	(°)	27.21		

Nota:

Los especímenes se remoldearon con la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. C. Hinostraza G.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO

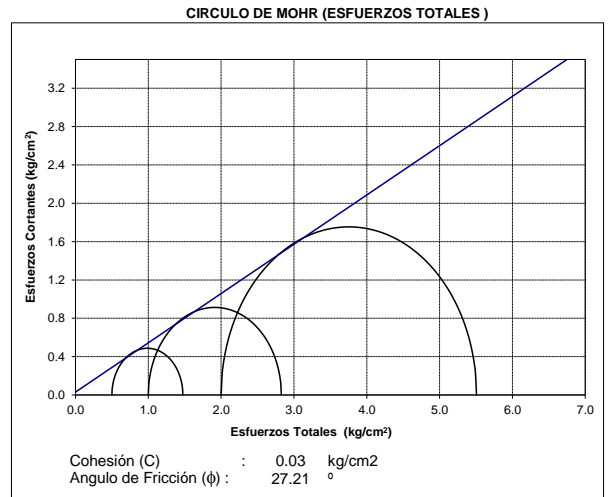
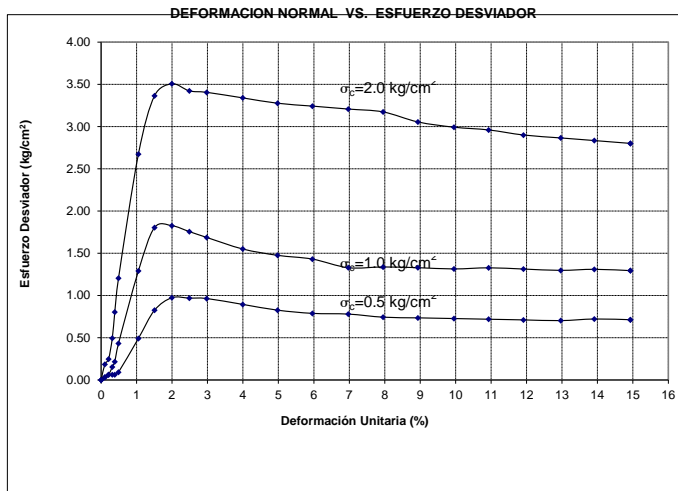
NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850

Procedimiento interno AT-PR.11

Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

INFORME N° S22 - 114-6-5

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURIGUACHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 16 DE MAYO 2022



INFORME N° S22 - 114-6-6

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA -
FECHA : 01 DE JUNIO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL ASTM D2435

Estado : Remoldeado (material < tamiz N°4)
Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN

	Inicial	Final
Diámetro (cm)	11.240	11.240
Altura (cm)	3.832	3.751
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2.221	2.285
Densidad Seca (g/cm ³)	1.980	2.023
Humedad (%)	12.15	12.9
Gravedad Específica	2.679	2.679
Relación de vacíos, e	0.353	0.324

RESULTADOS

Presión (kg/cm ²)	e	δ (mm)
0.25	0.350	0.080
0.50	0.349	0.109
1.00	0.348	0.131
2.00	0.346	0.202
4.00	0.340	0.353
8.00	0.324	0.815
4.00	0.325	0.779
2.00	0.327	0.733
1.00	0.329	0.690
0.50	0.330	0.660
0.25	0.330	0.642

Nota:

El espécimen se remoldeó con la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

**ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL
ASTM D2435**

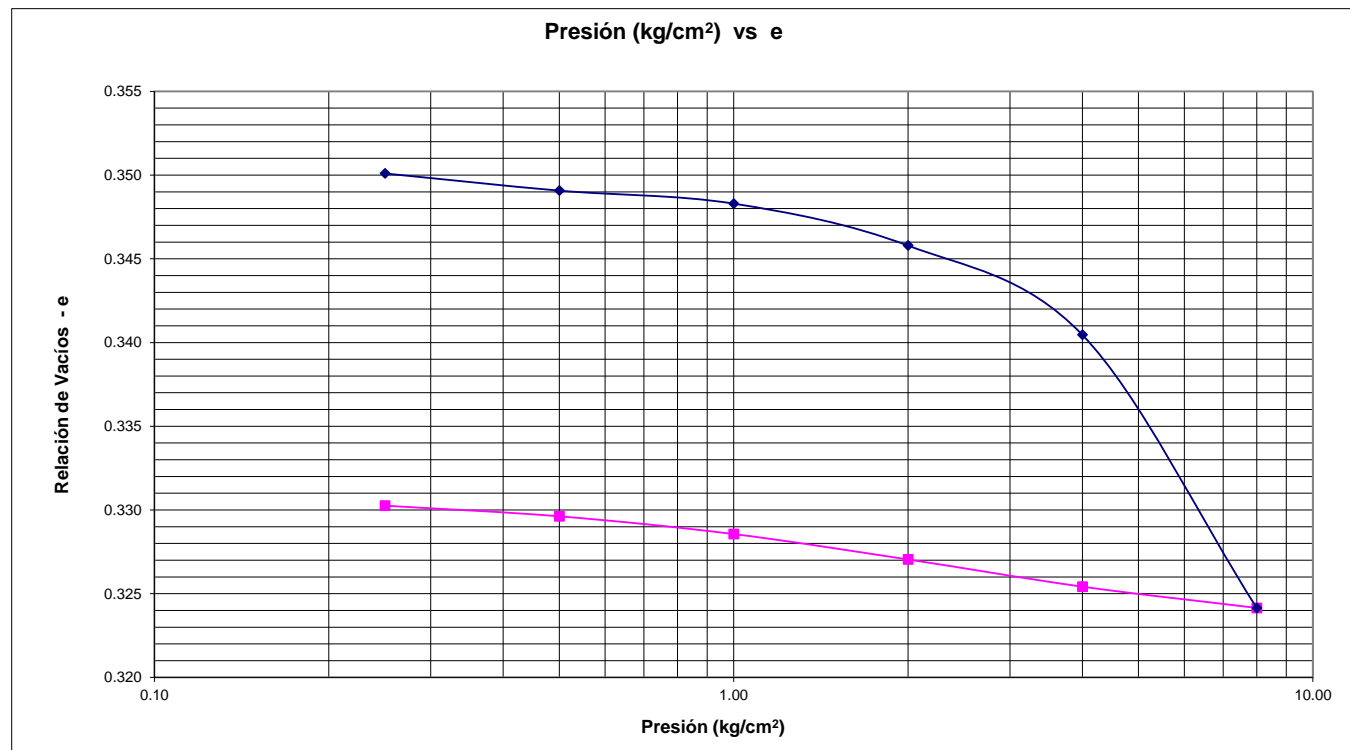
INFORME Nº S22 - 114-6-6

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 01 DE JUNIO 2022

Datos Muestra	
Estado	Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
Referencia	60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

Características del Especimen		
Caract. del Especimen	Inicial	Final
Diametro (cm)	11.24	11.24
Altura (cm)	3.832	3.751
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2.221	2.285
Densidad Seca (g/cm ³)	1.980	2.023
Humedad (%)	12.2	12.9
Gravedad Específica	2.679	2.679
Relación de vacíos , e	0.353	0.324

Resultados			
Presión (kg/cm ²)	e	δ (mm)	Parámetros
0.25	0.350	0.080	Indice de Recompresión (Cr) Cr: 0.003
0.50	0.349	0.109	
1.00	0.348	0.131	
2.00	0.346	0.202	Indice de Consolidación (Cc) Cc: 0.054
4.00	0.340	0.353	
8.00	0.324	0.815	
4.00	0.325	0.779	Indice de Expansión (Cs) Cs: 0.004
2.00	0.327	0.733	
1.00	0.329	0.690	
0.50	0.330	0.660	
0.25	0.330	0.642	



Nota: La expansión fue contrarrestado con: 0.101 kg/cm²

INFORME S22 - 114-6-8

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 29 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE EXPANSIÓN DE CARGA CONTROLADA (MÉTODO A) - ASTM D 4546

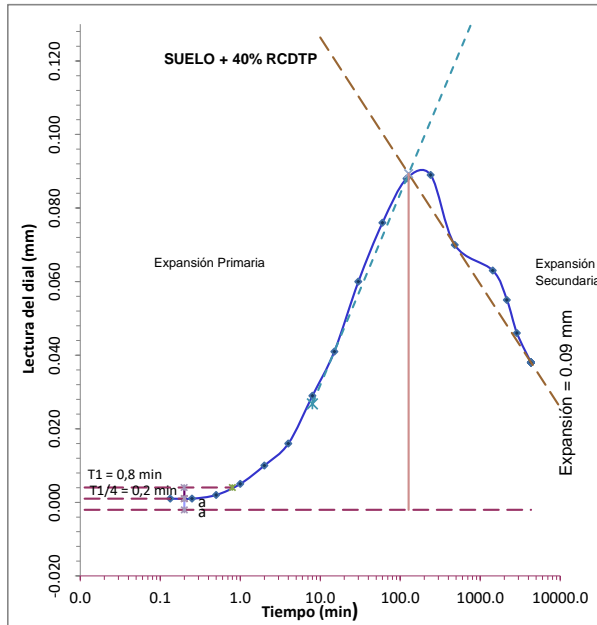
Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN

	<u>INICIAL</u>	<u>FINAL</u>
Diámetro(mm)	112.23	112.23
Altura(mm)	38.23	38.27
Densidad Seca (gr/cm3)	1.980	1.978
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.095	2.240
Húmedad (%)	5.8	13.2
Saturación (%)	44.01	100.00
Gravedad de solidos (Gs)	2.679	2.679
Relacion de vacios (e)	0.353	0.354

ETAPA DE EXPANSIÓN		
Tiempo (min)	Lectura Dial (mm)	Expansion Libre (%)
0	0.000	0.00
0.13	0.001	0.00
0.25	0.001	0.00
0.5	0.002	0.01
1	0.005	0.01
2	0.010	0.03
4	0.016	0.04
8	0.029	0.08
15	0.041	0.11
30	0.060	0.16
60	0.076	0.20
120	0.088	0.23
240	0.089	0.23
480	0.070	0.18
1440	0.063	0.16
2160	0.055	0.14
2880	0.046	0.12
4320	0.038	0.10

EXPANSIÓN LIBRE (%) : **0.24**



ETAPA DE CONSOLIDACION

Presion (kg/cm2)	Lectura dial (mm)	e
0	0.038	0.354
0.05	0.001	0.353
0.10	-0.025	0.352
0.20	-0.074	0.350
0.40	-0.162	0.347

Presión de control: 0.051 kg/cm2

Nota:
 El espécimen se remoldeó con la densidad del próctor modificado.
 Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
 Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.
 Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.
 Revisión : Ing. H. Espinoza C.

INFORME Nº S22 - 114-6-8

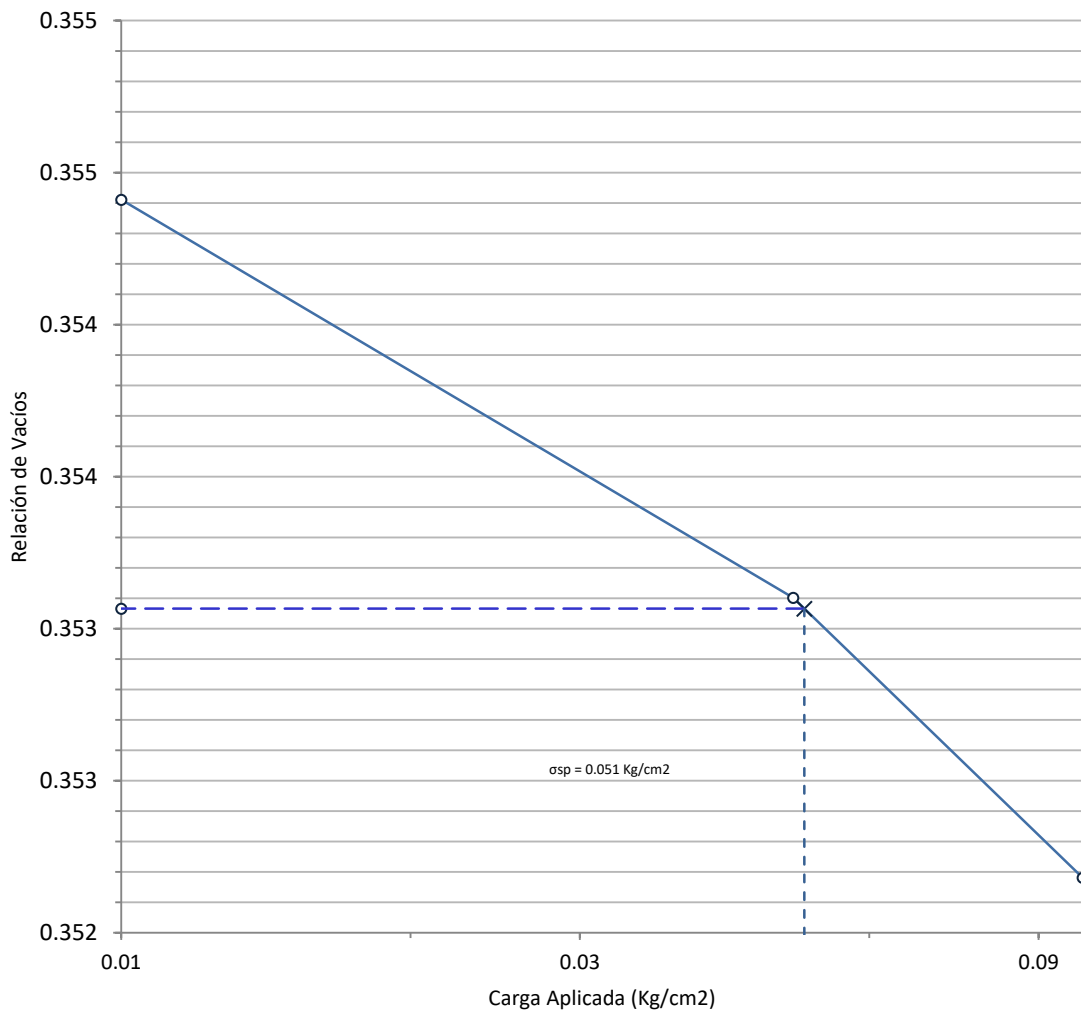
SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 29 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE EXPANSIÓN DE CARGA CONTROLADA (MÉTODO A) - ASTM D 4546

Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

ETAPA DE CONSOLIDACION

CURVA DE CONSOLIDACION



INFORME N° S22 - 114-6-8

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 60% Suelo + 40% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

GRAVEDAD ESPECIFICA RELATIVO DE SOLIDOS - REFERENCIA ASTM D854

Procedimiento interno AT-PR.3 - Método "A"

Masa del suelo seco(gr)	101.17
Masa del frasco + Masa del suelo + Masa del agua(gr)	734.55
Masa del frasco + Masa del agua(gr)	671.14

Gravedad Específica Relativo de Sólidos a Temperatura de Ensayo	:	2.679
Temperatura de Ensayo (°C)	:	20.3
Gravedad Específica Relativo de Sólidos a 20 °C	:	2.679

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME Nº S22 - 114-7-1

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M

Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "B"

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	100.0
1/4"	6.300	8.71	8.71	91.3
Nº4	4.750	5.0	13.7	86.3
Nº10	2.000	16.5	30.2	69.8
Nº20	0.850	3.4	33.7	66.3
Nº30	0.600	2.0	35.7	64.3
Nº40	0.425	2.6	38.3	61.7
Nº60	0.250	4.5	42.8	57.2
Nº100	0.150	3.9	46.6	53.4
Nº140	0.106	2.2	48.8	51.2
Nº200	0.075	1.8	50.6	49.4
FONDO		49.4		

% Grava	: 13.7
% Arena	: 36.9
% Finos	: 49.4

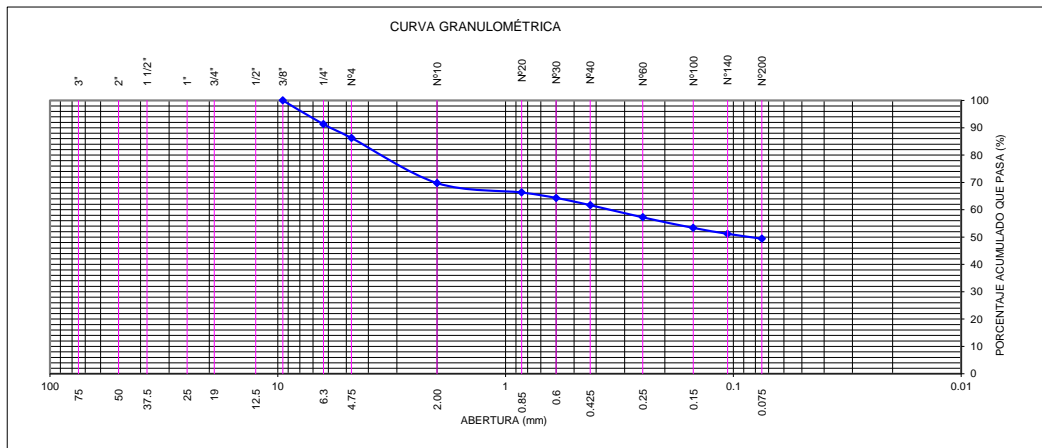
LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Procedimiento interno AT-PR.5	
Límite Líquido	: 37
Límite Plástico	: 28
Índice Plástico	: 9

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SM

Clasificación AASHTO M 145 (ASTM D3282) : A-4(2)

Contenido de Humedad ASTM D2216 (%) : 3.4
Método "B"

Procedimiento interno AT-PR.1



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-7-2

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

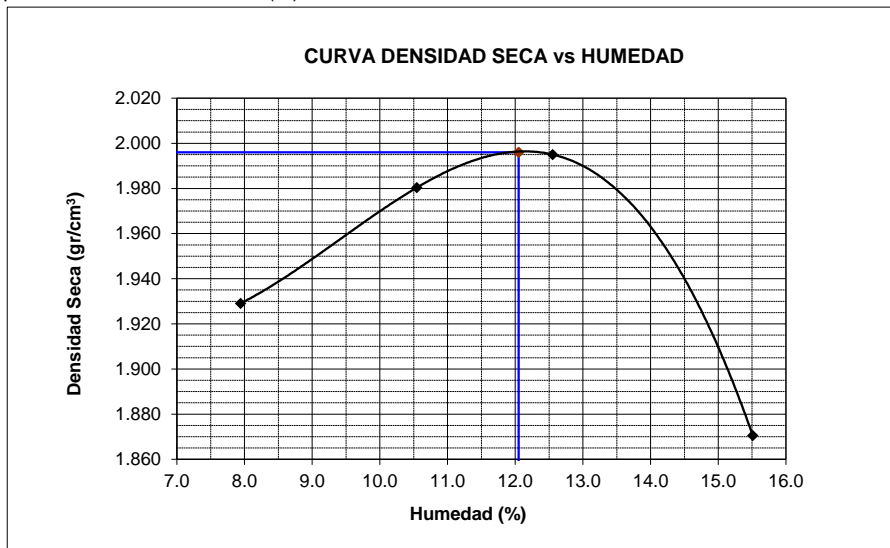
Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - REFERENCIA ASTM D 1557

Procedimiento interno AT-PR.6

I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPACTACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA < 3/8"

MÉTODO DE ENSAYO : B
Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.996
Óptimo Contenido de Humed: (%) : 12.05



Nota.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN
ASTM D422**

INFORME N° S22 - 114-7-3

Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 14 DE ENERO 2022

Tiempo (min)	°C	C _i	Rd	Rc	P(%)	R	L (cm)	L/tiempo (cm/min)	Constante K	Diámetro (mm)	Material Sedimento
1.00	25.40	1.440	30.40	25.8400	21.24	31.40	11.160	11.1600	0.012785	0.0427	28.174
2.00	25.40	1.440	28.00	23.4400	19.27	29.00	11.500	5.7500	0.012785	0.0307	1.973
5.00	25.40	1.440	25.20	20.6400	16.96	26.20	11.980	2.3960	0.012785	0.0198	2.301
10.00	25.40	1.440	21.00	16.4400	13.51	22.00	12.700	1.2700	0.012785	0.0144	3.452
15.00	25.40	1.440	19.00	14.4400	11.87	20.00	13.000	0.8667	0.012785	0.0119	1.644
30.00	25.40	1.440	16.10	11.5400	9.48	17.10	13.480	0.4493	0.012785	0.0086	2.384
60.00	25.40	1.440	12.00	7.4400	6.12	13.00	14.200	0.2367	0.012785	0.0062	3.370
240.00	27.00	2.000	9.20	5.2000	4.27	10.20	14.660	0.0611	0.012565	0.0031	1.841
1440.00	25.60	1.510	7.80	3.3100	2.72	8.80	14.840	0.0103	0.012745	0.0013	1.553

Hora de Inicio	:	08:10	Peso específico relativo de sólidos (S _s)	:	2.659
Peso Suelo Seco (gr)	:	60	% que pasa la malla N° 200	:	49.4
% que pasa la malla N° 10	:	69.8	Lectura Hidrómetro en agua (Cm)	:	1.0
Coefficiente "a"	:	0.9980	Lectura Hidrómetro en agua + defloculante (Cd)	:	6.0

INFORME N° S22 - 114-7-3

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 14 DE ENERO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACION ASTM D422

Diámetro Corregido (mm)	(%) Material que pasa
0.04271	21.24
0.03066	19.27
0.01979	16.96
0.01441	13.51
0.01190	11.87
0.00857	9.48
0.00622	6.12
0.00311	4.27
0.00129	2.72

RESULTADOS :

Limos (%) : 44.02
Arcillas y Coloides (%) : 5.39

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos de procedencia e identificación de la muestra fueron proporcionados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GLOBAL
ASTM D422

INFORME Nº S22 - 114-7-3

Referencia :

40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

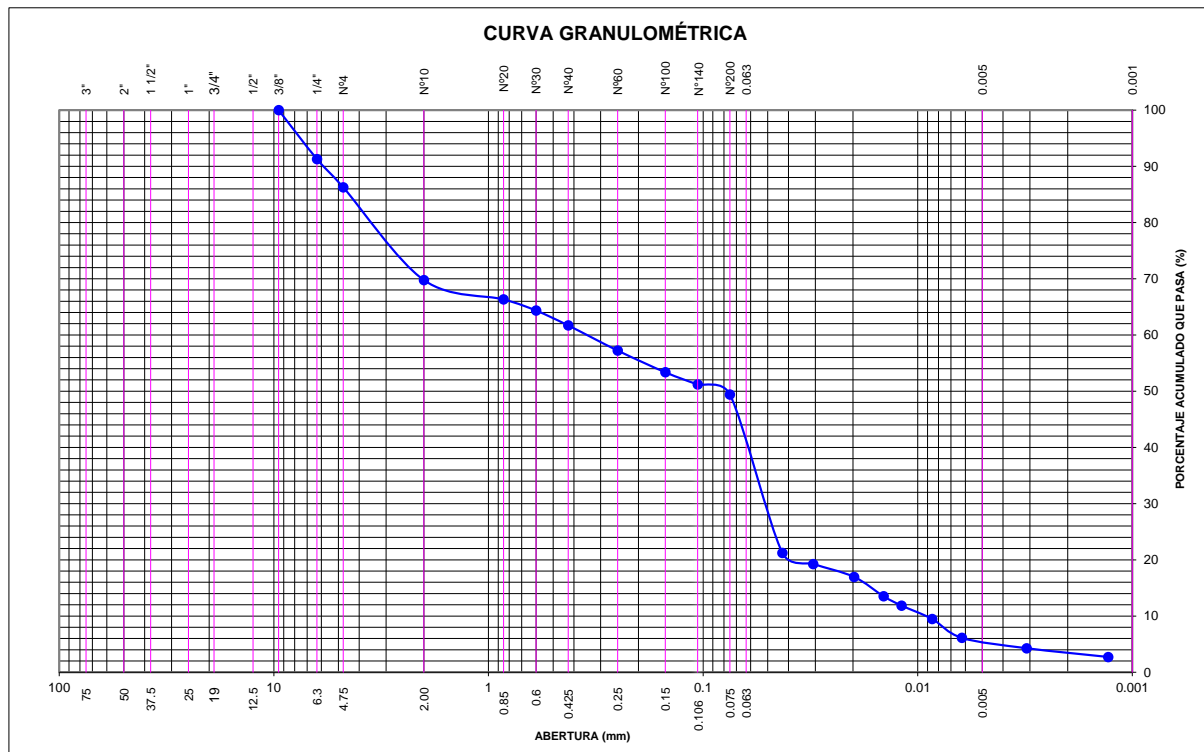
SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO

FECHA : 14 DE ENERO 2022

Tamiz	Abertura (mm.)	% Que pasa
3"	75.000	
2"	50.000	
1 1/2"	37.500	
1"	25.000	
3/4"	19.000	
1/2"	12.500	
3/8"	9.500	100.0
1/4"	6.300	91.3
Nº4	4.750	86.3
Nº10	2.000	69.8
Nº20	0.850	66.3
Nº30	0.600	64.3
Nº40	0.425	61.7
Nº60	0.250	57.2
Nº100	0.150	53.4
Nº140	0.106	51.2
Nº200	0.075	49.4
	0.043	21.24
	0.031	19.27
	0.020	16.96
	0.014	13.51
	0.012	11.87
	0.009	9.48
	0.006	6.12
	0.003	4.27
	0.001	2.72



INFORME N° S22 - 114-7-3

SOLICITANTE : **EDSON PAÚL AGUILAR SULCA**
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 14 DE ENERO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Malla	(%) Acumulado que pasa
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	
3/8"	100.0
1/4"	91.3
N° 4	86.3
N° 10	69.8
N° 20	66.3
N°30	64.3
N°40	61.7
N°60	57.2
N°100	53.4
N°140	51.2
N°200	49.4

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos de procedencia e identificación de la muestra fueron proporcionados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-7-4

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE
CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN
CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA -
DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

I. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA - REFERENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5

II. ENSAYO LIMITE DE CONTRACCION - REFERENCIA ASTM D-427

Límite de Contracción (%) : 26.4

Nota.- La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.

Revisión : Ing. H. Espinoza C.

INFORME N° S22 - 114-7-5

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 16 DE MAYO 2022

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Tipo de Ensayo : **No Consolidado No Drenado (UU) - REFERENCIA ASTM D2850**
Procedimiento interno AT-PR.11
Velocidad del ensayo : 0.50 mm/min

Datos de la Muestra

Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

Condiciones Iniciales	Und.	ESPECIMENES		
		N° 1	N° 2	N° 3
Diámetro	cm	7.15	7.15	7.15
Altura	cm	14.27	14.27	14.27
Densidad Humeda	g/cm ³	2.239	2.239	2.239
Densidad seca	g/cm ³	1.998	1.998	1.998
Contenido de Humedad	%	12.1	12.1	12.1
L/D		2.00	2.00	2.00
Gravedad Especifica		2.659	2.659	2.659
Grado de Saturacion	%	96.9	96.9	96.9
Condiciones Finales				
Diámetro	cm	7.75	7.75	7.75
Altura	cm	12.13	12.13	12.13
Area	cm ²	47.20	47.20	47.20
Densidad Humeda	g/cm ³	2.239	2.239	2.239
Contenido de Humedad	%	12.1	12.1	12.1
Grado de Saturacion	%	96.9	96.9	96.9
Parámetros de Esfuerzos Totales				
Esf. Confinante (σ_3)	kg/cm ²	0.50	1.00	2.00
Esf. Principal (σ_1)	kg/cm ²	1.547	2.948	5.869
Cohesión (C)	kg/cm ²	0.02		
Angulo de Fricción (ϕ)	(°)	29.09		

Nota:

Los especímenes se remoldearon con la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. C. Hinostrza G.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

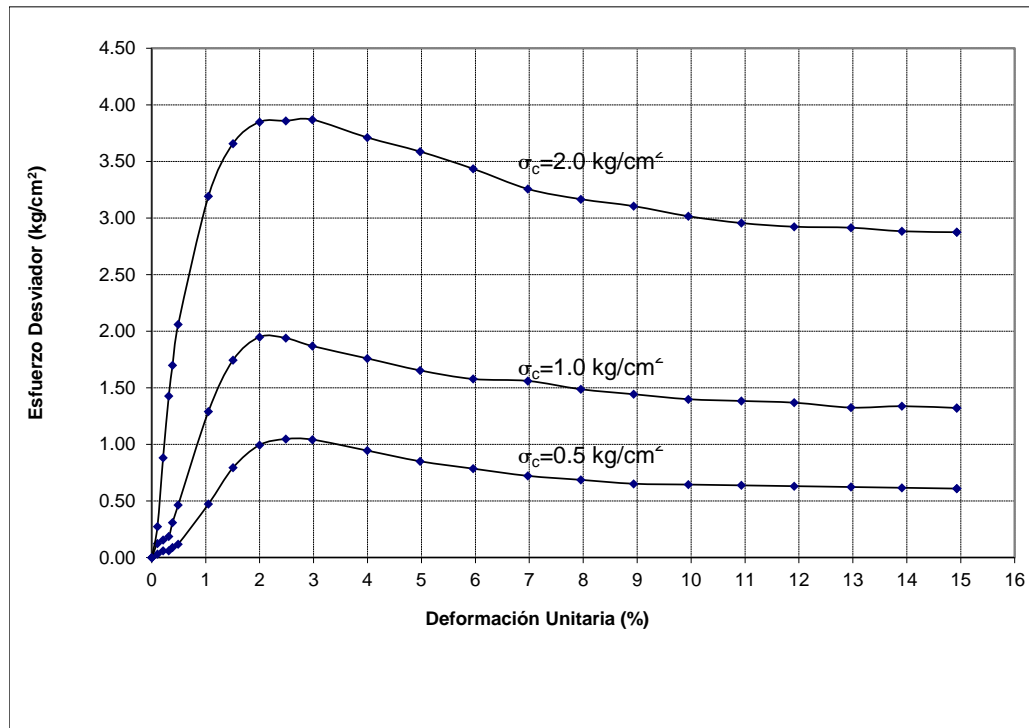
**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO
NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850**

Procedimiento interno AT-PR.11

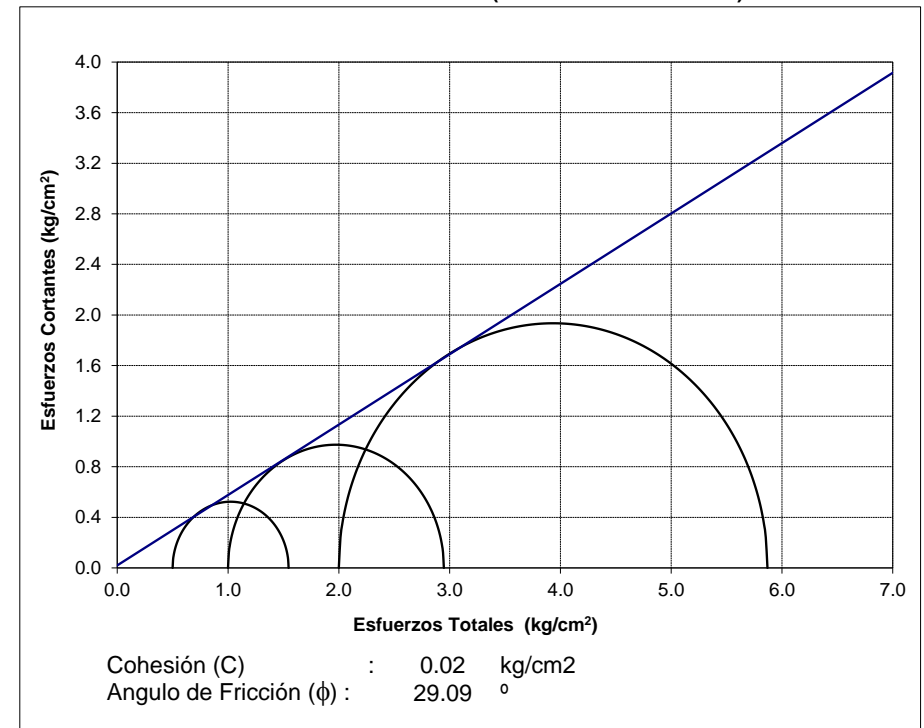
Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)
Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 16 DE MAYO 2022

DEFORMACION NORMAL VS. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR (ESFUERZOS TOTALES)



INFORME N° S22 - 114-7-6

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA -
FECHA : 27 DE JUNIO 2022

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL ASTM D2435

Estado : Remoldeado (material < tamiz N°4)
Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN

	Inicial	Final
Diámetro (cm)	11.217	11.217
Altura (cm)	3.836	3.680
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2.239	2.350
Densidad Seca (g/cm ³)	1.998	2.083
Humedad (%)	12.1	12.8
Gravedad Específica	2.659	2.659
Relación de vacíos, e	0.330	0.276

RESULTADOS

Presión (kg/cm ²)	e	δ (mm)
0.25	0.320	0.300
0.50	0.316	0.422
1.00	0.313	0.500
2.00	0.306	0.705
4.00	0.292	1.115
8.00	0.276	1.565
4.00	0.279	1.495
2.00	0.280	1.446
1.00	0.284	1.352
0.50	0.286	1.295
0.25	0.287	1.260

Nota:

El espécimen se remoldeó con la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.

**ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL
ASTM D2435**

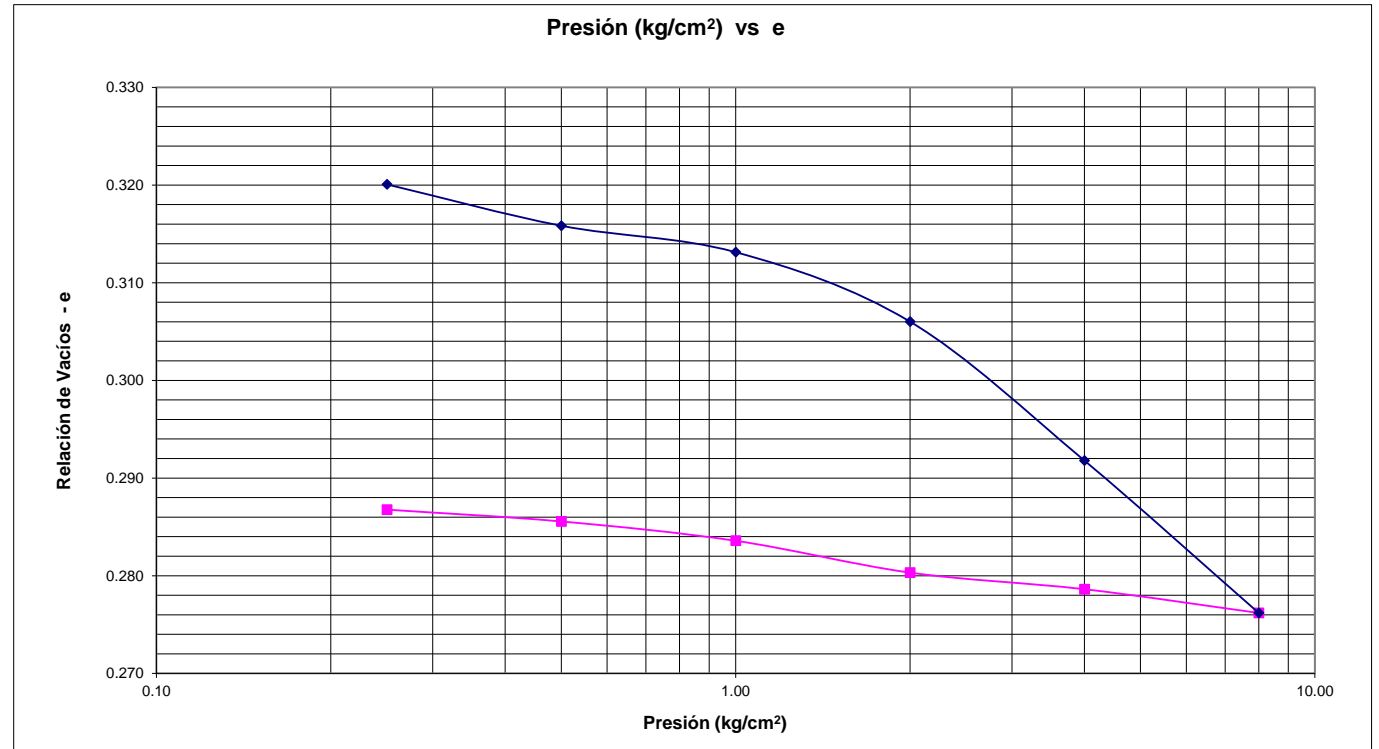
INFORME Nº S22 - 114-7-6

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 27 DE JUNIO 2022

Datos Muestra	
Estado	Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
Referencia	40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

Características del Especimen		
Caract. del Especimen	Inicial	Final
Diametro (cm)	11.22	11.217
Altura (cm)	3.836	3.680
Densidad Húmeda (g/cm ³)	2.239	2.350
Densidad Seca (g/cm ³)	1.998	2.083
Humedad (%)	12.1	12.8
Gravedad Específica	2.659	2.659
Relación de vacíos , e	0.330	0.276

Resultados			
Presión (kg/cm ²)	e	δ (mm)	Parámetros
0.25	0.320	0.300	Indice de Recompresión (Cr) Cr: 0.012
0.50	0.316	0.422	
1.00	0.313	0.500	
2.00	0.306	0.705	Indice de Consolidación (Cc) Cc: 0.052
4.00	0.292	1.115	
8.00	0.276	1.565	
4.00	0.279	1.495	Indice de Expansión (Cs) Cs: 0.007
2.00	0.280	1.446	
1.00	0.284	1.352	
0.50	0.286	1.295	
0.25	0.287	1.260	



Nota: La expansión fue contrarrestada con: 0.152 kg/cm²

INFORME S22 - 114-7-7

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 29 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE EXPANSIÓN DE CARGA CONTROLADA (MÉTODO A) - ASTM D 4546

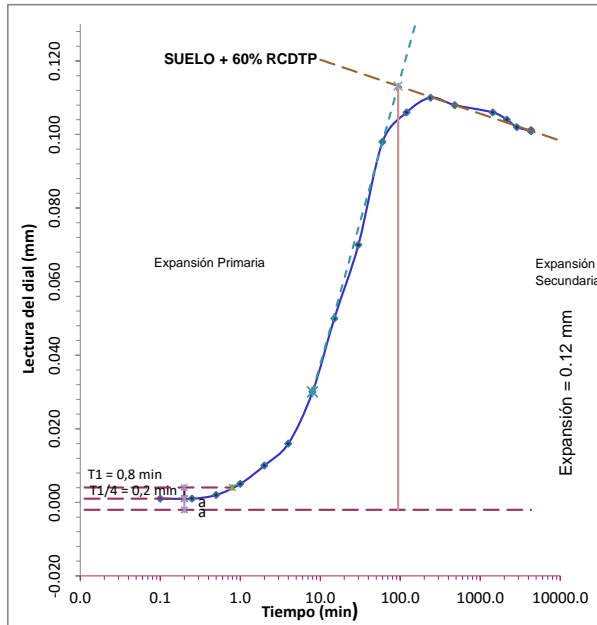
Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN

	<u>INICIAL</u>	<u>FINAL</u>
Diámetro(mm)	112.40	112.40
Altura(mm)	38.26	38.36
Densidad Seca (gr/cm3)	1.956	1.951
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.069	2.220
Húmedad (%)	5.8	13.8
Saturación (%)	42.9	100.0
Gravedad de solidos (Gs)	2.659	2.659
Relacion de vacios (e)	0.360	0.363

ETAPA DE EXPANSIÓN		
Tiempo (min)	Lectura Dial (mm)	Expansion Libre (%)
0	0.000	0.00
0.10	0.001	0.00
0.25	0.001	0.00
0.5	0.002	0.01
1	0.005	0.01
2	0.010	0.03
4	0.016	0.04
8	0.030	0.08
15	0.050	0.13
30	0.070	0.18
60	0.098	0.26
120	0.106	0.28
240	0.110	0.29
480	0.108	0.28
1440	0.106	0.28
2160	0.104	0.27
2880	0.102	0.27
4320	0.101	0.26

EXPANSIÓN LIBRE (%) : **0.30**



ETAPA DE CONSOLIDACION

Presion (kg/cm2)	Lectura dial (mm)	e
0	0.101	0.363
0.05	0.082	0.362
0.10	0.038	0.361
0.20	-0.025	0.359
0.40	-0.124	0.355

Presión de control: 0.152 kg/cm2

Nota:

El espécimen se remoldeó con la densidad del próctor modificado.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Revisión : Ing. H. Espinoza C.

INFORME Nº S22 - 114-7-7

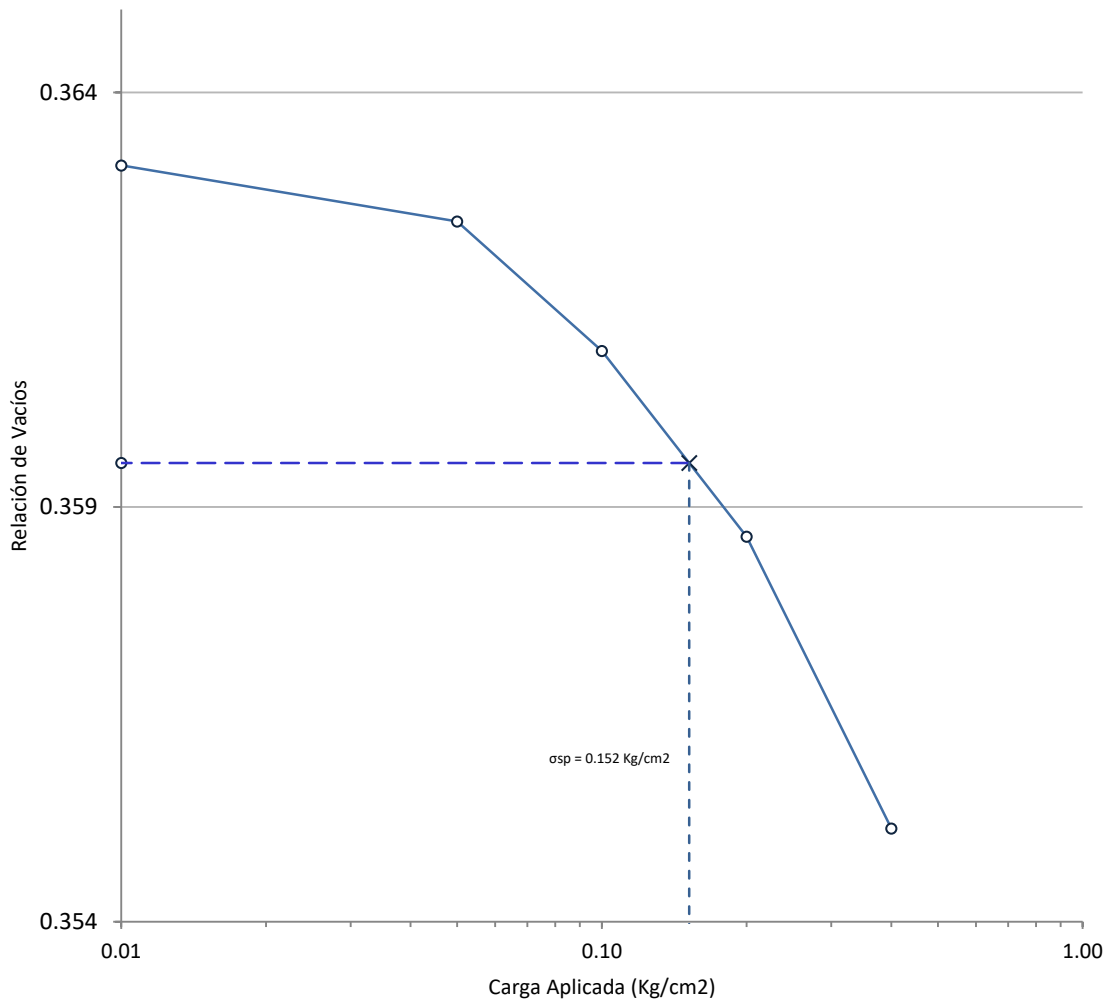
SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 29 DE JUNIO 2022

ENSAYO DE EXPANSIÓN DE CARGA CONTROLADA (MÉTODO A) - ASTM D 4546

Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado.

ETAPA DE CONSOLIDACION

CURVA DE CONSOLIDACION



INFORME N° S22 - 114-7-8

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS - DISTRITO LURICOCHA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO
FECHA : 11 DE MARZO 2022

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Referencia : 40% Suelo + 60% Residuo concreto demolido, triturado y pulverizado

GRAVEDAD ESPECIFICA RELATIVO DE SOLIDOS - REFERENCIA ASTM D854

Procedimiento interno AT-PR.3 - Método "A"

Masa del suelo seco(gr)	108.73
Masa del frasco + Masa del suelo + Masa del agua(gr)	735.81
Masa del frasco + Masa del agua(gr)	667.97

Gravedad Específica Relativo de Sólidos a Temperatura de Ensayo	:	2.659
Temperatura de Ensayo (°C)	:	20.2
Gravedad Específica Relativo de Sólidos a 20 °C	:	2.659

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. J. Huambo Ch.

Aprobación : Ing. H. Espinoza C.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

REGISTRO : S22-114 / LQU22-138

PROYECTO : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA – AYACUCHO."

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO AICAS – DISTRITO LURICOCHA – PROVINCIA HUANTA – DEPARTAMENTO AYACUCHO

TIPO DE EXPLORACIÓN: CALICATA: C-2

PROFUNDIDAD (m): 0.00 – 3.00

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 15-03-2022

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻ ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm	SULFATOS (SO ₄) ²⁻ ASTM D 516 AASHTO T 290 ppm	SALES SOLUBLES TOTALES MTC E 219 ppm
TIPO DE EXPLORACIÓN: CALICATA: C-2 TIPO DE MUESTRA: PROFUNDIDAD(m): 0.00 – 3.00	78	1 846	1 988

Lima, 16 de marzo del 2022


CARMEN M. REYES CÚBAS
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Código Postal: 15333, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070/Anexos: 4020 - 4003

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

REGISTRO : S22-114 / LQU22-591

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS – DISTRITO LURICOCHA – PROVINCIA HUANTA DEPARTAMENTO AYACUCHO

TIPO DE MATERIAL: 80% SUELO + 20% RESIDUO CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 31-08-2022

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻	SULFATOS (SO ₄) ⁻	SALES SOLUBLES TOTALES
	ASTM D 512	ASTM D 516	MTC E 219
	AASHTO T 291	AASHTO T 290	
	ppm	ppm	ppm
TIPO DE MATERIAL:			
80% SUELO + 20% RESIDUO CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO	185	5 441	5 724

Lima, 02 de setiembre del 2022


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
REPUBLICA DEL PERÚ
CARMEN M. REYES
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Código Postal: 15333, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070/Anexos: 4020 - 4003

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

REGISTRO : S22-114 / LQU22-592

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS – DISTRITO LURICOCHA – PROVINCIA HUANTA DEPARTAMENTO AYACUCHO

TIPO DE MATERIAL: 60% SUELO + 40% RESIDUO CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 31-08-2022

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻	SULFATOS (SO ₄) ²⁻	SALES SOLUBLES TOTALES
	ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm	ASTM D 516 AASHTO T 290 ppm	MTC E 219 ppm
TIPO DE MATERIAL:			
60% SUELO + 40% RESIDUO CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO	165	1 537	3 812

Lima, 02 de setiembre del 2022


CARMEN M. REYES CEBALLOS
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
REPUBLICA DEL PERÚ
OFICINA DE FATORIA
LABORATORIO DE QUÍMICA

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Código Postal: 15333, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070/Anexos: 4020 - 4003

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : EDSON PAÚL AGUILAR SULCA

REGISTRO : S22-114 / LQU22-593

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DEL SUELO COHESIVO POR ADICIÓN DE RESIDUO DE CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO, APLICACIÓN CENTRO POBLADO AICAS, HUANTA, AYACUCHO.

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE AICAS – DISTRITO LURICOCHA – PROVINCIA HUANTA DEPARTAMENTO AYACUCHO

TIPO DE MATERIAL: 40% SUELO + 60% RESIDUO CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 31-08-2022

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻ ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm	SULFATOS (SO ₄) ⁻ ASTM D 516 AASHTO T 290 ppm	SALES SOLUBLES TOTALES MTC E 219 ppm
TIPO DE MATERIAL:			
40% SUELO + 60% RESIDUO CONCRETO DEMOLIDO, TRITURADO Y PULVERIZADO	96	2 018	2 178

Lima, 02 de setiembre del 2022


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
CARMEN M. REYES
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Código Postal: 15333, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070/Anexos: 4020 - 4003

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Accreditation
Commission