

# Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con fibra y ceniza de ichu para el tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de conservación vial Ichuña 1, provincia General Sánchez Cerro, departamento

*por* JAIME MIGUEL FLORES DELGADO

---

**Fecha de entrega:** 10-sep-2024 06:58p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2450516687

**Nombre del archivo:** tesis\_2011802091\_20240724\_232533\_27290b92-c01e-49d2-ba4a-518a67dc0bdc.pdf (7.04M)

**Total de palabras:** 46734

**Total de caracteres:** 201712

2

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con fibra y ceniza de ichu para el tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de conservación vial Ichuña 1, provincia General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua

Tesis presentada por el Bachiller:

**Flores Delgado, Jaime Miguel**

**ORCID: 0009-0007-7073-4527**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

**Mg. Gamarra Tuco, Rubén Francisco**

**ORCID: 0000-0003-1748-5887**

**Arequipa - Perú**

2024



UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA CIVIL**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 11 de Julio del 2024

**Dictamen: 003995-C-EPIC-2024**

Visto el borrador del expediente 003995, presentado por:

**2011802091 - FLORES DELGADO JAIME MIGUEL**

Titulado:

**EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS ESTABILIZADOS CON FIBRA Y CENIZA DE ICHU  
PARA EL TRAMO 5 (YUNTA-PATAQUEÑA) DEL PROYECTO DE CONSERVACIÓN VIAL ICHUÑA 1,  
PROVINCIA GENERAL SÁNCHEZ CERRO, DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA.**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**INGENIERO CIVIL**

**29329377 - NEIRA ARENAS JULY LILIAM  
DICTAMINADOR**



**29439333 - TICONA BALDARRAGO AGUSTO ISRRAEL  
DICTAMINADOR**



**41587204 - GARCIA GODOS PEÑALOZA LUZ MATILDE  
DICTAMINADOR**



## **DEDICATORIA**

A Dios por ser mi guía y darme la perseverancia y voluntad para seguir con mis objetivos; a mis padres, por el esfuerzo de darme mis estudios y sacara adelante a nuestra familia, y a mis amigos y seres queridos, por desear siempre lo mejor para mí.

### **AGRADECIMIENTO**

A la universidad y docentes por la formación brindada durante mi etapa como estudiante, a los profesionales con los que pude compartir experiencias laborales de las cuales obtuve gran aprendizaje y a mi asesor de tesis que me supo guiar para el desarrollo de la investigación.

## RESUMEN

La finalidad la presente investigación, es mejorar la capa de rodadura del camino no pavimentado, empleando la paja de ichu (stipa ichu), para la estabilización de suelos, agregando un porcentaje de fibra de Ichu, cenizas de Ichu y ambos componentes. El Ichu es un pasto natural oriundo de la zona que contiene características cementicias, lo que beneficiara la resistencia del suelo natural y alargara su vida útil. Es entonces que nos planteamos si es posible mejorar la Capacidad de Soporte (CBR) en vías de bajo volumen de transito mediante la adición de Fibra y Ceniza de Ichu.

La investigación se considera de carácter no experimental, puesto que no se llegará aplicar el diseño obtenido en el camino vecinal de muestra, solo se recogerán las muestras, datos e información de la vía de estudio. Para el desarrollo de la presente investigación se plantea evaluar los resultados obtenidos de CBR a consecuencia de las mezclas del suelo encontrado en el anexo de Yunta-Pataqueña y la adición porcentual de fibra y ceniza de ichu. Asimismo, se tiene como propósito determinar el porcentaje más óptimo, que logren mejorar su capacidad de resistencia. Las principales limitaciones que se presentan son la ubicación del tramo de muestra, el traslado de equipos para la obtención de las muestras in situ, asimismo, el período en el que se desarrolla la investigación, no permite la evaluación del diseño.

La investigación se desarrolló en base a los manuales técnicos del Ministerio de Transporte y comunicaciones (MTC), los mismos que se emplearon para la realización de ensayos y sirvieron de guía para el diseño de mezclas del suelo y la paja de ichu, primero se determinó las características del suelo, su clasificación y parámetros de calidad, seguido se continuo con la paja de ichu, de la cual se obtuvo la fibra y ceniza que se utilizó para el desarrollo de la parte experimental, donde adicionando determinados porcentajes, se desea obtener un incremento en la capacidad de soporte (CBR) del suelo, es así, que se pudo concluir que adicionando un 3% de ceniza de ichu al suelo natural se incrementa hasta en un 30% en el porcentaje de CBR, así mismo, se determinó la adición de fibra al suelo natural no genera ningún incremento, por lo contrario, reduce su capacidad de soporte (CBR). Además, se observó que, a mayor porcentaje de ceniza se adicione al suelo, se reduce de forma proporcional su porcentaje de expansión.

### **Palabras Clave:**

Estabilización, Ichu, CBR

## **ABSTRACT**

The purpose of this research is to improve the wearing course of the unpaved road, using ichu straw (*stipa ichu*) for soil stabilization, adding a percentage of Ichu fiber, Ichu ash and both components. Ichu is a natural grass native to the area that contains cementitious characteristics, which will benefit the resistance of the natural soil and extend its useful life. It is then that we wonder if it is possible to improve the bearing capacity (CBR) in low traffic volume roads through the addition of Ichu fiber and ash.

The research is considered non-experimental, since the design obtained will not be applied on the sample road, only samples, data and information from the study road will be collected. For the development of the present investigation, it is proposed to evaluate the CBR results obtained as a consequence of the soil mixtures found in the Yunta-Pataqueña annex and the percentage addition of ichu fiber and ash. Likewise, the purpose is to determine the most optimal percentage that will improve its resistance capacity. The main limitations are the location of the sample section, the transfer of equipment to obtain the samples in situ, and the period in which the research was carried out, which does not allow the evaluation of the design.

The research was developed based on the technical manuals of the Ministry of Transportation and Communications (MTC), which were used to carry out the tests and served as a guide for the design of soil and ichu straw mixtures. First, the characteristics of the soil, its classification and quality parameters were determined, followed by the ichu straw, from which the fiber and ash were obtained and used for the development of the experimental part. In this way, it was possible to conclude that adding 3% of ichu ash to the natural soil increases the percentage of CBR by up to 30%. It was also determined that the addition of fiber to the natural soil does not generate any increase, on the contrary, it reduces its bearing capacity (CBR). In addition, it was observed that the higher the percentage of ash added to the soil, the proportional reduction in its expansion percentage.

### **Key words:**

Stabilization, Ichu, CBR

## INTRODUCCION

Es de conocimiento, que el clima en la sierra y sobre todo en las zonas altas, es muy agresivo, puesto que se presenta en verano con intensidad de lluvias y nevadas, como en invierno con bajas temperaturas, por lo que es necesario realizar cada cierto tiempo de un mejoramiento o mantenimiento, para reducir los daños producidos por el tráfico y las adversidades climatológicas, es por ello que se desea determinar si es posible incrementar la capacidad de soporte (CBR) en las vías de bajo volumen de tránsito, mediante la estabilización de fibra y ceniza de Ichu, aplicado al tramo 5 (yunta-pataqueña) del proyecto de conservación vial Ichuña 1, departamento de Moquegua.

La presente investigación está conformada por los capítulos:

Capítulo I, Se planteo el problema basado en la deficiente gestión vial del país, encaminada por los gobiernos, genera retrasos en el desarrollo económico de las regiones y por ende de los pueblos más lejanos. Según el diagnóstico de la situación de brechas de infraestructura o de accesos a servicios, realizado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2020), se estima que el 20% de la red nacional, el 87% de la red departamental y el 98% de la red vecinal no está pavimentada. Por lo que se desea determinar si la mezcla de fibra y ceniza de ichu incrementa la capacidad de soporte (CBR) de las vías de bajo volumen de tránsito en el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña), distrito de Ichuña, departamento de Moquegua.

Capitulo II, Se realizo la exploración de investigaciones que tengan en común el mejoramiento de la capacidad de soporte (CBR) y apliquen la mezcla de aditivos naturales, es así que se tomó como ejemplo las investigaciones del **Mejoramiento del suelo con clasificación SUCS GC-GM mediante la adición de ceniza volcánica en la ciudad de Arequipa**, desarrollado en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, y la investigación **de** estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante, desarrollado en la Universidad Nacional de Ingenierías. Así mismo, se definió la parte teórica necesaria para entender el objetivo de la presente investigación, desarrollando todos los términos relacionados al pavimento, estructura, clasificación, deterioros, mantenimientos y métodos de estabilización, de igual manera se detallaron los manuales técnicos del MTC que forman parte de la base legal de la investigación

Capitulo III, Se planteo la metodología para el desarrollo de la investigación, la cual se determinó de carácter cuantitativo, debido a que se pretende comprobar a través de datos numéricos obtenidos de especímenes que serán sometidos a ensayos de prueba y error y de carácter descriptivo, puesto que, mediante una evaluación visual se determinará las condiciones de la vía que se empleará como muestra, además que, se complementará con registros fotográficos, se considera no experimental, puesto que no

se llegará aplicar el diseño obtenido en el camino vecinal de muestra, y del tipo transversal, debido a que, para el desarrollo del diseño, solo se recogerán las muestras, datos e información una sola vez.

Capítulo IV, este capítulo tiene como objetivo ajustar los métodos y procedimientos para la realización de ensayos de laboratorio, así mismo, los ensayos se han realizado en base a los procedimientos estipulados en el Manual de Ensayos de Materiales (2016), el mismo que toma como referencia la normatividad de las instituciones técnicas reconocidas internacionalmente, tales como AASHTO, ASTM, Instituto del Asfalto ACI, NTP, entre otras.

Capítulo V, en este capítulo se describe y desarrollo paso a paso cada ensayo realizado de la muestra de suelo recogida de la vía de estudio, aquí se determina su clasificación, parámetros de calidad y porcentaje de CBR del suelo en estado natural.

Capítulo VI, aquí se desarrolla la parte experimental de la investigación, obtenido los resultados del suelo en estado natural, se procede a realizar el diseño de mezclas, estimando porcentajes de fibra y ceniza de ichu, por separado, que se agregaran a la muestra de suelo natural, para obtener los porcentajes de CBR

Capítulo VII, siendo el último capítulo, aquí se analizan e interpreta los resultados obtenidos de CBR, para determinar cuál es el porcentaje de fibra o ceniza más óptimo, que logre incrementar el porcentaje de CBR de la muestra de suelo en investigación.

## INDICE

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| DEDICATORIA.....                                                          | ii  |
| AGRADECIMIENTO.....                                                       | iii |
| RESUMEN .....                                                             | iv  |
| ABSTRACT.....                                                             | v   |
| INTRODUCCION .....                                                        | vi  |
| CAPITULO 1. GENERALIDADES .....                                           | 1   |
| 1.1. Problemática de la Investigación.....                                | 1   |
| 1.2. Problema de la investigación.....                                    | 1   |
| 1.2.1. Problema general .....                                             | 1   |
| 1.2.2. Problemas específicos.....                                         | 1   |
| 1.3. Justificación .....                                                  | 2   |
| 1.4. Hipótesis .....                                                      | 3   |
| 1.5. Objetivos.....                                                       | 3   |
| 1.5.1. Objetivo general .....                                             | 3   |
| 1.5.2. Objetivos específicos.....                                         | 3   |
| 1.6. Alcances y Limitaciones.....                                         | 4   |
| CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO .....                                           | 5   |
| 2.1. Antecedentes .....                                                   | 5   |
| 2.2. Bases teóricas .....                                                 | 7   |
| 2.2.1. Pavimentos.....                                                    | 7   |
| 2.2.2. Clasificación de los Pavimentos.....                               | 9   |
| 2.2.3. Tipos de Deterioro .....                                           | 12  |
| 2.2.4. Conservación Vial.....                                             | 12  |
| 2.2.5. Tipos de Conservación Vial .....                                   | 13  |
| 2.2.6. Manual de Carreteras, Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos..... | 14  |
| 2.2.7. Estabilización de Suelos.....                                      | 14  |
| 2.2.8. Afirmados .....                                                    | 17  |



|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.9. Stipa Ichu .....                                                     | 18 |
| 2.3. Base legal .....                                                       | 22 |
| CAPITULO 3. METODOLOGÍA .....                                               | 23 |
| 3.1. Tipo y nivel de investigación.....                                     | 23 |
| 3.2. Diseño de investigación .....                                          | 23 |
| 3.3. Métodos de investigación.....                                          | 24 |
| CAPITULO 4. ANALISIS DEL SUELO.....                                         | 25 |
| 4.1. Descripción de los Ensayos .....                                       | 25 |
| 4.2. Ensayos Físicos .....                                                  | 25 |
| 4.2.1. Contenido de Humedad (MTC E-108) .....                               | 25 |
| 4.2.2. Análisis Granulométrico (MTC E-204) .....                            | 26 |
| 4.2.3. Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E-205) ..... | 27 |
| 4.2.4. Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E-206).....    | 28 |
| 4.2.5. Desgaste de los Ángeles (MTC E-207) .....                            | 30 |
| 4.2.6. Límites de Atterberg .....                                           | 31 |
| 4.3. Ensayos Mecánicos .....                                                | 33 |
| 4.3.1. Proctor Modificado (MTC E-115) .....                                 | 33 |
| 4.3.2. CBR (MTC E-132) .....                                                | 36 |
| CAPITULO 5. RESULTADOS .....                                                | 39 |
| 5.1. Ensayo de Granulometría .....                                          | 39 |
| 5.2. Ensayo de Gravedad específica y Absorción de agregados finos .....     | 41 |
| 5.3. Peso específico y absorción de agregados gruesos.....                  | 42 |
| 5.4. Ensayo de Desgaste de los Ángeles.....                                 | 45 |
| 5.5. Ensayo de Limite Liquido .....                                         | 47 |
| 5.6. Ensayo de Limite Plástico .....                                        | 48 |
| 5.7. Ensayo de Proctor Modificado.....                                      | 49 |
| 5.9. Análisis de resultados .....                                           | 52 |
| 5.8. Ensayo de CBR.....                                                     | 53 |

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| CAPITULO 6. PROGRAMA EXPERIMENTAL .....     | 56 |
| 6.1. Fibra de Ichu .....                    | 56 |
| 6.2. Ceniza de ichu .....                   | 58 |
| CAPITULO 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....     | 63 |
| 7.1. Suelo Natural .....                    | 63 |
| 7.2. Fibra de Ichu .....                    | 65 |
| 7.3. Ceniza de Ichu .....                   | 68 |
| 7.4. Fibra y Ceniza de Ichu .....           | 70 |
| 7.5. Estabilidad estructural del Ichu.....  | 70 |
| 7.6. Aplicación del diseño para Obra.....   | 73 |
| 7.7. Análisis económico .....               | 74 |
| 7.8. Impacto y Conservación Ambiental ..... | 77 |
| CONCLUSIONES .....                          | 80 |
| RECOMENDACIONES .....                       | 82 |
| REFERENCIAS.....                            | 83 |
| ANEXOS .....                                | 86 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 1 TIPOS DE DETERIORO EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS .....                            | 12 |
| TABLA 2 FACTORES PARA DETERMINAR EL METODO DE ESTABILIZACIÓN.....                         | 16 |
| TABLA 3 REQUISITOS DE CALIDAD PARA CONSIDERAR UN SUELO COMO AFIRMADO                      | 18 |
| TABLA 4 COMPOSICIÓN DE LA PAJA (STIPA DE ICHU).....                                       | 19 |
| TABLA 5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PAJA (STIPA DE ICHU) .....                              | 19 |
| TABLA 6 COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADA COMO ÓXIDOS DE LA CENIZA DE ICHU<br>.....           | 21 |
| TABLA 7 RESULTADOS DE LA CALCINACIÓN DE LA PAJA DE ICHU .....                             | 21 |
| TABLA 8 VARIABLES E INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN.....                                  | 23 |
| TABLA 9 TAMAÑO DE TAMICES.....                                                            | 26 |
| TABLA 10 PESO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO AG.<br>GRUESO.....        | 29 |
| TABLA 11 MASA DE LA CARGA PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN .....                                | 30 |
| TABLA 12 CÁLCULO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO DE DESGASTE DE LOS<br>ÁNGELES.....          | 31 |
| TABLA 13 MÉTODOS DE USO DE ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO SEGÚN EL TIPO<br>DE MATERIAL..... | 34 |
| TABLA 14 TIEMPO DE PERMANENCIA DE SATURACIÓN DE ESPECÍMENES.....                          | 35 |
| TABLA 15 LECTURAS DE PENETRACIÓN - ENSAYO DE CBR.....                                     | 37 |
| TABLA 16 GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA DEL SUELO.....                                          | 40 |
| TABLA 17 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS<br>AG. FINO.....   | 42 |
| TABLA 18 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DEL AG. GRUESO .....                    | 44 |
| TABLA 19 PESOS ESPECÍFICOS PROMEDIO DEL SUELO .....                                       | 45 |
| TABLA 20 ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES.....                                           | 47 |
| TABLA 21 RESULTADOS DEL ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO.....                                     | 48 |
| TABLA 22 RESULTADOS DEL ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO.....                                    | 49 |
| TABLA 23 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO .....                                | 51 |
| TABLA 24 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS.....                             | 52 |
| TABLA 25 PROMEDIO DE CBR.....                                                             | 55 |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 26 ENSAYOS DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MEZCLA DE SUELO + % FIBRA DE ICHU.....                    | 58 |
| TABLA 27 ENSAYOS DE CBR DE LA MEZCLA DE SUELO + % FIBRA DE ICHU.....                                   | 58 |
| TABLA 28 ENSAYOS DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MEZCLA DE SUELO + % CENIZA DE ICHU.....                   | 60 |
| TABLA 29 ENSAYOS DE CBR DE LA MEZCLA DE SUELO + % CENIZA DE ICHU.....                                  | 61 |
| TABLA 30 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MEZCLA DE SUELO +2% Y 4 % CENIZA DE ICHU.....              | 61 |
| TABLA 31 ENSAYOS DE CBR DE LA MEZCLA DE SUELO + 2% Y 4% CENIZA DE ICHU ..                              | 62 |
| TABLA 32 <sup>5</sup> COCIENTE DE RESISTENCIA (CR) PARA DIFERENTES MEZCLAS DE SUELO CON CCA Y CAL..... | 72 |
| TABLA 33 COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CCA Y LA CENIZA DE ICHU.....                      | 73 |
| TABLA 34 CALCULO DEL PESO DE LA CENIZA Y AGUA POR M3.....                                              | 75 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....                                               | 9  |
| FIGURA 2 PROCESOS PARA IDENTIFICAR EL TIPO DE SUELO.....                             | 16 |
| FIGURA 3 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL MÉTODO APROPIADO DE<br>ESTABILIZACIÓN..... | 17 |
| FIGURA 4 FASES FENOLÓGICAS DEL ICHU.....                                             | 20 |
| FIGURA 5 CUARTEO DE LA MUESTRA.....                                                  | 39 |
| FIGURA 6 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.....                                                | 40 |
| FIGURA 7 ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AG. FINO.....                             | 41 |
| FIGURA 8 ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DEL AG. GRUESO.....                               | 43 |
| FIGURA 9 PESO ESPECÍFICO PROMEDIO DEL SUELO.....                                     | 44 |
| FIGURA 10 PROCESO DE LAVADO DE LA MUESTRA.....                                       | 45 |
| FIGURA 11 MUESTRA PARA ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES.....                        | 46 |
| FIGURA 12 MÁQUINA DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES.....                                    | 46 |
| FIGURA 13 ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO.....                                              | 47 |
| FIGURA 14 ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO.....                                             | 48 |
| FIGURA 15 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL MOLDE 6".....                                      | 50 |
| FIGURA 16 MUESTRAS DESPUÉS DE HABERSE REALIZADO EL ENSAYO DE<br>COMPACTACIÓN.....    | 51 |
| FIGURA 17 ENSAYO DE CBR.....                                                         | 53 |
| FIGURA 18 MUESTRAS SUMERGIDAS PARA EL ENSAYO DE CBR.....                             | 54 |
| FIGURA 19 ENSAYO DE PENETRACIÓN DE CBR.....                                          | 55 |
| FIGURA 20 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE ICHU.....                                         | 56 |
| FIGURA 21 PREPARACIÓN FIBRA DE ICHU.....                                             | 57 |
| FIGURA 22 SATURACIÓN DE LA FIBRA DE ICHU.....                                        | 57 |
| FIGURA 23 RECOPILACIÓN DE LA PAJA DE ICHU.....                                       | 59 |
| FIGURA 24 CENIZA DE ICHU.....                                                        | 59 |
| FIGURA 25 TAMIZADO DE LA CENIZA DE ICHU.....                                         | 60 |
| FIGURA 26 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL.....                        | 63 |
| FIGURA 27 ENSAYO DE CBR DEL SUELO NATURAL.....                                       | 64 |

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 28 COMPARATIVO DE CURVAS DE PROCTOR MODIFICADO DEL DISEÑO DE SUELO NATURAL + %FIBRA.....                              | 65 |
| FIGURA 29 GRÁFICO COMPARATIVO DE %CBR DEL DISEÑO DE MEZCLA DE SUELO NATURAL + % FIBRA DE ICHU .....                          | 66 |
| FIGURA 30 COMPARATIVO DE PROCTOR MODIFICADO DEL DISEÑO DE MEZCLA DE SUELO NATURAL + %CENIZA DE ICHU.....                     | 68 |
| FIGURA 31 GRÁFICO COMPARATIVO DE %CBR DEL DISEÑO DE MEZCLA DE SUELO NATURAL + % CENIZA DE ICHU .....                         | 69 |
| FIGURA 32 CENIZA TAMIZADA EN MALLA N°4 .....                                                                                 | 73 |
| FIGURA 33 GRÁFICO COMPARATIVO DE %CBR DEL DISEÑO DE MEZCLA DE SUELO NATURAL + 3% CENIZA DE ICHU (PASANTE DEL TAMIZ N°4)..... | 74 |
| FIGURA 34 ANÁLISIS DEL PRECIO UNITARIO DE LA CENIZA DE ICHU.....                                                             | 75 |
| FIGURA 35 ANÁLISIS DEL PRECIO UNITARIO DEL MATERIAL DE CANTERA PARA AFIRMADO CON CENIZA DE ICHU .....                        | 76 |
| FIGURA 36 ANÁLISIS DEL PRECIO UNITARIO DEL MATERIAL DE CANTERA PARA AFIRMADO.....                                            | 77 |

## LISTA DE ANEXOS<sup>2</sup>

|                      |                                                                                                                             |     |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ANEXO 1              | RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA MUESTRA DE SUELO...                                                               | 86  |
| ANEXO 2              | RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA DOSIFICACIÓN DE<br>AFIRMADO + FIBRA DE ICHU .....                                | 119 |
| <sup>2</sup> ANEXO 3 | RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA DOSIFICACIÓN DE<br>AFIRMADO + CENIZA DE ICHU (PASANTE EL TAMIZ N°60).....        | 141 |
| <sup>2</sup> ANEXO 4 | RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA DOSIFICACIÓN DE<br>AFIRMADO + 3% DE CENIZA DE ICHU (PASANTE EL TAMIZ N°04) ..... | 175 |
| ANEXO 5              | PANEL FOTOGRÁFICO.....                                                                                                      | 181 |

## **CAPITULO 1. GENERALIDADES**

### **1.1. Problemática de la Investigación**

La deficiente gestión vial del país, encaminada por los gobiernos, genera retrasos en el desarrollo económico de las regiones y por ende de los pueblos más lejanos. Según el diagnóstico de la situación de brechas de infraestructura o de accesos a servicios, realizado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2020), se estima que el 20% de la red nacional, el 87% de la red departamental y el 98% de la red vecinal no está pavimentada. Mientras que solo en la región de Moquegua, el porcentaje de red vecinal no pavimentado es del 92%. Sumarle a ello la deficiente gestión de los gobiernos regionales para realizar el mejoramiento y mantenimiento adecuado. Nos lleva a plantear soluciones a corto y mediano plazo para el beneficio de la población más lejana.

Es de conocimiento, que el clima en la sierra y sobre todo en las zonas altas, es muy agresivo, puesto que se presenta en verano con intensidad de lluvias y nevadas, como en invierno con bajas temperaturas, por lo que es necesario realizar cada cierto tiempo de un mejoramiento o mantenimiento, para reducir los daños producidos por el tráfico y las adversidades climatológicas.

La finalidad la presente investigación, es mejorar la capa de rodadura del camino no pavimentado, empleando la paja de ichu (*stipa ichu*), para la estabilización de suelos, agregando un porcentaje de fibra de ichu, cenizas de ichu y ambos componentes. El ichu es un pasto natural oriundo de la zona que contiene características cementicias, lo que beneficiara la resistencia del suelo natural y alargara su vida útil.

### **1.2. Problema de la investigación**

#### **1.2.1. Problema general**

2. ¿Cómo será la evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con fibra y ceniza de ichu, para el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua?
- 3.

#### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo se determinará si las propiedades del suelo existente en el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua, cumplen los parámetros de calidad para ser considerado un afirmado?



- ¿Cómo influirá la adición de fibra y ceniza de ichu en el <sup>6</sup> óptimo contenido de humedad y peso unitario seco máximo obtenido mediante el ensayo de Proctor Modificado, del suelo existente en el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua?
- ¿Cómo se demostrará si la adición de fibra de ichu incrementa la capacidad de soporte (CBR) del suelo existente en el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua?
- ¿Cómo se demostrará si la adición de ceniza de ichu incrementa la capacidad de soporte (CBR) del suelo existente en el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua?
- ¿Cómo se determinará si la combinación de fibra y ceniza de ichu incrementa la capacidad de soporte (CBR) del suelo existente en el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua?

### 1.3. Justificación

- Ambiental: Mejorar la infraestructura de la vía del distrito de Ichuña hacia el Anexo de (Yunta-Pataqueña), empleando un pasto natural de la zona, que no genere un mayor impacto en la infraestructura del suelo, logrando la conservación ambiental.
- Social: Beneficiar a la población del anexo de (Yunta-Pataqueña), para mejorar el tránsito de sus vehículos, para el traslado de sus alimentos y animales, sobre todo en épocas de lluvia.
- Económica: Alargar la vida útil de la vía, empleando un aditivo que refuerce la carpeta de rodadura, lo que generará un ahorro a mediano y largo plazo, reduciendo los gastos en obras de mantenimiento periódico y rutinario.
- Tecnológico: Aplicación de nuevos métodos para el mejoramiento de las carpetas de afirmado, que podrían aplicarse como estabilización de suelos.
- Político: Generar puestos de trabajo a la población de la zona, beneficiarlos económica y socialmente, además de generar reducciones en los gastos del presupuesto del distrito.

#### **1.4. Hipótesis**

Dadas las circunstancias que se presentan a consecuencia del clima en las vías de bajo volumen de tránsito, en el distrito de Ichuña, es probable que, aplicando el diseño de pavimentos estabilizados con fibra y ceniza de ichu, para el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) se logre mejorar su capacidad de resistencia.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Evaluar el diseño de pavimentos estabilizados con fibra y ceniza de ichu, para el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar si las propiedades del suelo existente en el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua, cumplen los parámetros de calidad para ser considerado un afirmado.
- Determinar cómo influye la adición de fibra y ceniza de ichu en la obtención del óptimo contenido de humedad y el peso unitario seco máximo de cada mezcla con el suelo existente del Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua.
- Demostrar si la capacidad de soporte (CBR) incrementa adicionando un estimado porcentaje de fibra de ichu al suelo existente del Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua.
- Demostrar si la capacidad de soporte (CBR) incrementa adicionando un estimado porcentaje de ceniza de ichu al suelo existente del Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua.
- Determinar si la mezcla de fibra y ceniza de ichu incrementa la capacidad de soporte (CBR) de las vías de bajo volumen de tránsito en el Tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de Conservación vial Ichuña 1, de la Provincia General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua.

### **1.6. Alcances y Limitaciones**

- Alcance: Mediante la presente investigación se plantea evaluar los resultados obtenidos de CBR a consecuencia de las mezclas del suelo encontrado en el anexo de Yunta-Pataqueña y la adición porcentual de fibra y ceniza de ichu. Asimismo, se tiene como propósito determinar el porcentaje más óptimo, que logren mejorar su capacidad de resistencia.
- Limitaciones: La ubicación del tramo de muestra, nos limita el traslado de equipos para la realización de ciertos ensayos in situ, asimismo, el período en el que se desarrolla la presente investigación, no permite la evaluación del diseño en un tramo de muestra.

## CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Polinario (2021). <sup>4</sup> “*Mejoramiento del suelo con clasificación SUCS GC-GM mediante la adición de ceniza volcánica en la ciudad de Arequipa*”, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima – Perú.

La investigación tuvo como objetivo principal la obtención de un aumento <sup>4</sup> en la resistencia al corte, a través de la capacidad portante del suelo, utilizando un porcentaje óptimo de ceniza volcánica del volcán Ubinas en composición con el material patrón para proyectos de mejoramiento de suelos a nivel de subrasante en la ciudad de Arequipa. En la etapa inicial del proyecto de investigación se realizaron ensayos de laboratorio (SUCS, Proctor Modificado, CBR y Corte directo) en la muestra de la subrasante, la cual se consideró como la muestra modelo; posteriormente <sup>4</sup> el cálculo de la capacidad portante se realizó en gabinete. En la segunda etapa del proyecto se realizaron los ensayos de laboratorio de la muestra modelo con la adición de diferentes porcentajes de ceniza volcánica en 5%, 7%, 9%, 10%, y 13%; corte directo de suelos, la cual se remodeló con la máxima densidad seca obtenida del Proctor modificado. En la tercera etapa del proyecto se realizaron los ensayos con la adición óptima de ceniza volcánica; SUCS, Proctor Modificado y el valor de CBR con los diferentes porcentajes de ceniza volcánica 5%, 7%, 9%, 10%, y 13%. En la cuarta y última etapa se realizó la interpretación y el análisis comparativo de las capacidades portantes de la muestra de la subrasante sin adición, la cual se describió como la muestra modelo con la muestra de la subrasante con adición del porcentaje óptimo de ceniza volcánica, juntamente con todos los ensayos antes realizados. Concluyendo así, <sup>4</sup> que, durante la evaluación de las muestras adicionadas con los porcentajes de 5, 7, 9, 11 y 13 de ceniza volcánica, se observó que presenta variaciones en su resistencia al corte, a través del indicador de la capacidad portante, por consiguiente, <sup>4</sup> presentan incrementos en comparación a la muestra modelo.

Esta investigación es importante, porque se ha empleado la ceniza volcánica como aditivo para la estabilización de subrasante, un material natural producto de las eyecciones de los volcanes y que se pueden obtener y recolectar de manera natural al igual que la paja de ichu, además, se logró obtener un incremento en la capacidad de soporte de la subrasante, lo que nos proyecta a la probabilidad de obtener resultados positivos con la ceniza de ichu.

Castro (2017) “*Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante*”, Universidad Nacional de Ingenierías, Lima – Perú.

En la investigación el objetivo principal fue determinar si la ceniza de cáscara de arroz puede ser usada como material estabilizante de los suelos arcillosos empleándolos a nivel de subrasante de un pavimento, para lo cual se emplearon 04 combinaciones de mezcla entre el suelo existente, cal y distintos porcentajes de ceniza de arroz (10%, 20%, 30%, 40%) logrando

obtener distintas muestras a las que se realizaron los distintos ensayos físicos (contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, gravedad específica), mecánicos (Proctor modificado, CBR, compresión no confinada) y químicos (Caracterización mineralógica, análisis de materia orgánica). Los resultados logrados de la investigación demostraron que el suelo estabilizado con ceniza de cáscara de arroz es favorable y permiten la viabilidad del material para su uso como estabilizante a nivel de subrasante. No obstante, los resultados más reveladores se producen cuando se mezcla el suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz y cal. Esto se debe a que las combinaciones de suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz son condicionadas para formar productos cementosos por la presencia de sílice reactiva con baja cantidad de contenido de calcio presente en el suelo. Por lo tanto, la ceniza de cáscara de arroz tiene mayores mejorías cuando son agentes estabilizadores secundarios. Asimismo, se determinó que el valor CBR aumenta para las dos combinaciones planteadas (10%, 20%, 30% y 40%, no obstante, las combinaciones de suelo arcilloso, ceniza de cáscara de arroz y cal nos permite obtener valores más altos de capacidad de soporte de resistencia, incrementando el valor de CBR al 100% de la máxima densidad seca del Proctor modificado de 5% hasta 38.5%, es decir, aumenta 6 veces. Este aumento se logró con un contenido del 20% de ceniza de cáscara de arroz.

La investigación es importante, porque emplea la ceniza de cascara de arroz para estabilizar un suelo arcilloso, asimismo, cabe mencionar que hace uso de cal como principal agente cementicio y la ceniza de cascara de arroz como secundario, ya que debido a sus propiedades, la cascara de arroz por sí mismo no logra alcanzar la estabilización pretendida, además de los resultados, la investigación nos aporta las técnicas empleadas y los ensayos realizados para determinar el diseño y el porcentaje más óptimo que generara la mayor resistencia del espécimen, esta es una de las variables que se pretende investigar en la presente investigación.

Aranda (2018) "*Resistencia a flexión en vigas de concreto al sustituir en un 5% el cemento por cenizas de ichu (Stipa de Ichu)*", Universidad San Pedro, Huancayo – Perú.

La investigación tuvo como objetivo principal, comprobar la resistencia a flexión en vigas de un concreto de  $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ , al sustituir un 5% de cemento por la combinación de ceniza de Ichu, para lo cual se emplearon ensayos en laboratorio como la granulometría, contenido de humedad de los agregados, análisis térmico diferencial de la ceniza de Ichu, para evaluar su descomposición y pérdida de masa de las hojas de Ichu, y por último se continuo con el diseño de mezclas, posteriormente se procedió a evaluar los moldes de viga realizados para los ensayos de flexión, con pruebas a los 7, 14 y 28 días posteriores a su vaciado, obteniendo así conclusiones como la composición química de la ceniza de Ichu calcinado a  $750^\circ\text{C}$  por 2 horas contiene alto porcentaje de Silicio  $232310.00 \pm 11570$  y Aluminio  $5045.33 \pm 290.51$ , lo cual es favorece la resistencia del concreto, asimismo, el concreto con adición de 5% de

ceniza de Ichu a la edad de 7 días aumenta su resistencia en un 51.89 %, a la edad de 14 días aumenta su resistencia en un 57.24% y a la edad de 28 días aumentan su resistencia en un 61.83%.

Esta investigación es importante, porque se emplea la ceniza de Ichu como sustitución del 5% de Cemento, en un diseño de mezcla que se emplea para el vaciado de vigas, logrando así incrementar la resistencia a la flexión del concreto, quizá la conclusión más importante de esta investigación, además qué, también se concluye que la composición de la ceniza de Ichu beneficia las características del cemento por su alto contenido de Silicio y Aluminio, estas conclusiones nos serán muy útiles para determinar porcentajes más apropiados al momento de emplear la ceniza de Ichu para generar la estabilización de nuestra muestra de suelo.

Alzate (2019) "*Mejoramiento de subrasante en vías de tercer orden, Universidad Libre Seccional Pereira*", Pereira – Colombia.

En la investigación el objetivo principal fue Evaluar el cemento como aditivo estabilizante en la capa de subrasante para la vía Llano Grande, para lo cual se emplearon instrumentos de laboratorio para la toma de muestras, determinación de los parámetros, diseño y realización de probetas, ensayo de resistencia a la compresión y métodos estadísticos para la interpretación de resultados, asimismo, la extracción de las muestras se realizó cada 200m. de la subrasante de la vía Llano Grande, para lo cual se concluyó, que el porcentaje de cemento de mayor eficiencia, mediante la realización de ensayos de resistencia a la compresión no confinada de cilindros moldeados de suelo-cemento, fue con el 13%. Asimismo, se puede afirmar que al aumentar el porcentaje de cemento se debe hacer un aumento en el porcentaje de humedad, debido a que el cemento tiene una reacción que libera calor, por lo que se produce una pérdida en el porcentaje de humedad. Los porcentajes se tiene en cuenta por peso de muestra.

Esta investigación aporta las consideraciones y parámetros que toman las normas de Colombia para la estabilización de suelos, como el uso del cemento para mejorar la resistencia del afirmado, variable que se considerara en la presente investigación.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Pavimentos**

Según el MTC (2014) se puede definir al pavimento como el compuesto <sup>1</sup>de capas añadidas, que se diseñan y construyen <sup>2</sup>con agregados adecuados y correctamente compactados. La estructura del pavimento recoge de manera directa las cargas de tránsito, las mismas que producen esfuerzos que se dispersan con la profundidad, motivo por el cual, se debe apostar por materiales de gran resistencia en las capas superiores.

Asimismo, señala que los pavimentos se diseñan con la finalidad de que duren y resistan el mayor tiempo posible, pero estas características no solo están sujetas a las propiedades de los agregados, si no también se ven influenciados por el proceso constructivo, en consecuencia, es de gran importancia el correcto procedimiento de compactación y humedad que se emplee para dicho material.

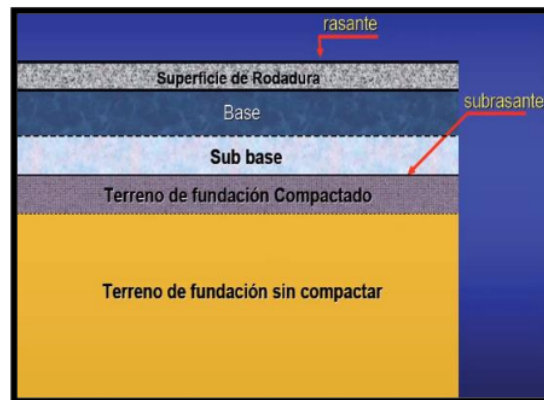
Generalmente, el pavimento se conforma por la capa de rodadura, base y subbase.

- Rasante: Es la cota que se ubica al término de la capa de la carpeta de rodadura, esta cota se emplea para hacer mención de la superficie del pavimento (MTC, 2014).
- Carpeta de rodadura: Es la capa final, la que se encuentra en la superficie, pueden ser de distintas clases como, bituminosos (flexible), de concreto (rígido) o de unidades (adoquinado). La función primordial es lograr la seguridad, comodidad y consistencia ante los efectos del tránsito vehicular, es así, que tiene que asegurar una superficie sin presencia de desniveles u ondulaciones que se presentan de manera longitudinal y transversal a la vía, asimismo, tiene que mostrar impermeabilidad y pendiente, de manera que impida la filtración y reposo del agua en la estructura del pavimento. Igualmente, debe lucir una textura que genere fricción y evite los deslizamientos (MTC, 2014).
- Base: Es la capa siguiente a la capa de rodadura, se encuentra por debajo y se encarga de recoger los esfuerzos generados por la capa de rodadura y transferirlos hacia las capas subyacentes. Está conformada por materiales selectos y procesados (agregados) que obedecen con los parámetros de calidad mencionados en las normas, dependiendo la utilidad que se tendrá el pavimento. Esta capa puede ser tratada con emulsiones asfálticas, cal, cemento, como también se puede emplear agregado únicamente granular drenante (MTC, 2014).
- Subbase: Es la capa que generalmente se coloca por encima del suelo natural previamente compactado, es una capa de bajo costo, por lo cual sus materiales no precisamente son de gran calidad. Su principal función es la de soportar y transferir uniformemente los esfuerzos al suelo natural, considerándose así, una capa de transición. Asimismo, otra de sus funciones es la de interrumpir que los finos del suelo natural la contaminen. Otra de sus funciones es permitir que se drene el agua que se filtra por la carpeta de rodadura o por las bermas. Esta capa también puede ser de material granular (MTC, 2014).



- Subrasante: Es la cota que divide el suelo natural de las demás capas que conforman la estructura del pavimento (MTC, 2014).

**Figura 1**  
*Estructura del pavimento*



*Nota:* Capas que conforman la estructura de un Pavimento. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

### **2.2.2. Clasificación de los Pavimentos**

Según el MTC (2014) los pavimentos pueden clasificarse según su:

- Según la distribución de cargas sobre el terreno
- Según la calidad de los materiales empleados para su elaboración.
- Según su estructura
- Según su demanda
- Según su uso a lo largo de su vida útil
- Según el periodo para el cual son diseñados

#### **2.2.2.1. Clasificación por distribución de cargas**

- Pavimentos flexibles: compuesto por capas granulares (subbase y base drenantes) y una superficie de rodadura bituminosa en frío o caliente (MTC, 2014).
- Pavimentos semirrígidos: conformados por una estructuración de base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente. También se le considera semirrígidos a los pavimentos compuestos por una carpeta asfáltica en caliente sobre una base tratada con cemento o base tratada con cal (MTC, 2014).



- Pavimentos rígidos: conformados por losas de concreto de cemento hidráulico y una subbase granular para uniformizar las características de cimentación de la losa (MTC, 2014).
- Pavimento articulado: conformado en su mayoría por una capa de rodadura de adoquines de concreto, estos adoquines descansan sobre una capa de arena, que divide al pavimento articulado de la capa base (MTC, 2014).

#### **2.2.2.2. Clasificación según la calidad de sus materiales**

- Afirmados: Es un pavimento compuesto por una capa de revestimiento con materiales de cantera, graduados naturalmente o por zarandeo, con una dosificación especificada, preparada por una combinación de piedra arena y finos o arcillas (MTC, 2014).
- Empedrados: Es un pavimento formado por piedra repicada, la misma que se obtiene de forma artesanal o mediante moldes geométricos, a esta capa de piedra se le considera la superficie de rodadura (MTC, 2014).
- Estabilizados y Aglomerados: Es un pavimento que ha necesitado combinar alguna de sus capas con materiales estabilizadores (Químicos o Mecánicos), con la finalidad de mejorar las propiedades físicas de sus agregados o suelo (MTC, 2014).
- Mezclas asfálticas: Son los pavimentos que hacen uso de mezclas de asfalto (frio o caliente) en capas de rodadura o en capas inferiores, con la finalidad de ofrecer una superficie de rodadura cómoda, segura y económica a los conductores (MTC, 2014).
- Concreto: Es un pavimento que está compuesto por una losa de concreto hidráulico soportada sobre la capa de subbase o en algunos procesos no es necesario la realización de esta capa, por lo que la losa de concreto termina descansando sobre la subrasante (MTC, 2014).

#### **2.2.2.3. Clasificación según su estructura**

- Simples: Son los pavimentos compuestos por capas de suelo, agregados y superficie de rodadura, diseñados para soportar cargas de tránsito vehicular común (MTC, 2014).
- Reforzados: Son los pavimentos que en su mayoría son elaborados de concreto, cuya particularidad es su reforzamiento con mallas o fibras de acero, para mejorar su resistencia, puestos que están diseñados para soportar cargas de gran magnitud (MTC, 2014).

#### **2.2.2.4. Clasificación según su demanda**

Según lo indicado por el MTC (2014), las carreteras se miden a través de su IMDA (Índice Medio Diario Anual), el cual es el valor numérico estimado del tráfico vehicular en un determinado tramo de la red vial en un año.

- Autopistas de primera clase:
- $IMDA > 6000 \text{ veh/día}$
- Autopistas de segunda clase:
- $6000 \text{ veh/día} < IMDA > 4001 \text{ veh/día}$
- Carreteras de primera clase:
- $4000 \text{ veh/día} < IMDA > 2001 \text{ veh/día}$
- Carreteras de segunda clase:
- $2000 \text{ veh/día} < IMDA > 400 \text{ veh/día}$
- Carreteras de tercera clase:
- $400 \text{ veh/día} < IMDA$
- Trochas carrozables:
- $200 \text{ veh/día} < IMDA$

#### **2.2.2.5. Clasificación según su uso a lo largo de su vida útil**

- Pavimentos urbanos: Son los pavimentos que existen en las ciudades, diseñados para soportar mayores demandas de tránsito vehicular (MTC, 2014).
- Pavimentos industriales: Son los pavimentos que se elaboran en zonas industriales para determinados fines de servicio, generalmente para soportar tránsito pesado (MTC, 2014).
- Pavimentos rurales: Son los pavimentos diseñados para bajas demandas vehiculares, generalmente son construidos a nivel de afirmados (MTC, 2014).
- Pavimentos Aeroportuarios: Son los pavimentos que se encuentran en los aeropuertos, diseñados para soportar fricción y cargas de gran magnitud (MTC, 2014).
- Pavimentos deportivos: Son los empleados para el desarrollo de distintos deportes, su diseño depende del servicio para el cual será empleado (MTC, 2014).

#### **2.2.2.6. Clasificación según el periodo de diseño**

- Temporales: Construidos para salvar alguna eventualidad o emergencia, o también para soportar un bajo tránsito vehicular, como los pavimentos a nivel

de afirmado, que necesitan mantenimientos y cambios de superficie de rodadura cada cierto tiempo (MTC, 2014).

- Definitivos: Son los pavimentos que se construyen para ser transitados a lo largo de su vida útil, son los que se elaboran en zonas urbanas o de conexión vial (MTC, 2014).

### 2.2.3. Tipos de Deterioro

El estado de las carreteras no pavimentadas o también llamadas vías afirmadas como indica el MTC (2018) se aprecia por sus deterioros o fallas, la velocidad promedio y la sinuosidad del recorrido del vehículo como resultado de los daños de la carretera.

**Tabla 1**

*Tipos de Deterioro en Carreteras no Pavimentadas*

| Código de daño | Deterioros / Fallas     | Gravedad                                                                                                                                 |
|----------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1              | Deformación             | 1. Huellas /hundimientos sensibles al usuario, pero <5cm<br>2. Huellas /hundimientos entre 5cm y 10cm<br>3. Huellas /hundimientos ≥ 10cm |
| 2              | Erosión                 | 1. Sensible al usuario, pero profundidad <5cm<br>2. Profundidad entre 5cm y 10cm<br>3. Profundidad ≥ 10cm                                |
| 3              | Baches (huecos)         | 1. Pueden repararse por conservación rutinaria<br>2. Se necesita una capa de material adicional<br>3. Se necesita una reconstrucción     |
| 4              | Encalaminado            | 1. Sensible al usuario, pero profundidad <5cm<br>2. Profundidad entre 5cm y 10cm<br>3. Profundidad ≥ 10cm                                |
| 5 y 6          | Lodazal y Cruce de agua | 1. Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia<br>2. No se definen niveles de gravedad                                  |

*Nota.* El inicio y fin del nivel de gravedad de cada tipo de deterioro observado tienen que localizarse, luego dichos datos básicos se procesan. Adaptado del "Manual de Mantenimiento y Conservación Vial" por el *Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2014*.

### 2.2.4. Conservación Vial

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018) define la conservación vial como "un proceso que involucra actividades de obras e instalaciones, que se realizan con carácter permanente o continuo en los tramos conformantes de una red vial" (p.33)

#### 2.2.4.1. Factores que Influyen en la Conservación Vial

Los principales factores según el MTC (2018) a ser considerados para la ejecución de una conservación vial son los siguientes:

- <sup>3</sup> Características del territorio:

La compleja y variada geografía y geología en nuestro país, hacen de por sí, un desafío al planear la construcción de vías o realizar soluciones alternativas que ofrezcan un servicio vial favorable a los distintos usuarios. La existencia o no de canteras de materiales en las zonas, la disponibilidad de agua, entre otros, son componentes que imponen sus condiciones a las características del proyecto, debido a que intervienen en los costos de inversión, de conservación y de operación, tanto de los usuarios como de la propia gestión vial (MTC, 2018).

- <sup>3</sup> Clima:

El clima tiene gran injerencia en las carreteras y en el tipo de solución que se adopte para cada tipo de proyecto, debido a que puede significar altas o muy bajas temperaturas o gradientes muy fuertes de temperatura. También la magnitud de las precipitaciones de lluvias o la falta de ellas, tienen impactos distintos sobre los requerimientos de los proyectos. Las lluvias y los cursos de agua que generan representan impactos sobre las carreteras y la estabilidad, tanto de los terraplenes como de la capa de rodadura (MTC, 2018).

- <sup>3</sup> Accesibilidad a otros servicios y facilidades públicas:

La existencia o no de servicios y facilidades en el área de trabajo de las obras de construcción y conservación vial condicionan también el tipo de obras que debe y puede diseñarse, ejecutarse y naturalmente, justificarse en relación con el tipo de demanda a transportarse (MTC, 2018).

- <sup>3</sup> Características del tránsito:

El tránsito de vehículos sobre la carretera es otro aspecto determinante en el diseño de la estructura de la carretera y, en especial, sobre su capa o estructura de rodadura. Factores como el tipo y cantidad de vehículos que transitarán la carretera, características físicas, peso bruto, peso por ejes e incluso presión de neumáticos determinará el tipo de superficie de rodadura y el tipo de estructura del pavimento a corto o largo plazo según las especificaciones de cada proyecto (MTC, 2018).

#### **2.2.5. Tipos de Conservación Vial**

En cuanto a la conservación vial, el MTC (2018) define dos tipos:

- Conservación vial rutinaria:

Es el grupo de actividades que se producen dentro del presupuesto cada año, está formada por todas las actividades de carácter necesario para el cuidado de la seguridad

vial y la prevención de deterioros en todos los elementos de la infraestructura vial como son: pistas, puentes y túneles, señales, obras de drenaje, etc.

Mientras que en las vías no pavimentadas, demandara del perfilado de la capa granular de rodadura, el relleno de baches a consecuencia de las lluvias, limpieza de los drenajes, reparación y remplazo de señales camineras, remoción de derrumbes, etc (MTC, 2018).

– Conservación vial periódica:

Está orientada a las circunstancias que se requiere para reponer los elementos que son parte de las calzadas y las bermas de la vía, así como reparaciones precisas a consecuencia de la inestabilidad en los terraplenes, que generan posibles hundimientos y que necesitan una recuperación localizada de la plataforma, de la superficie de rodadura y de las obras complementarias (MTC, 2018).

#### **2.2.6. Manual de Carreteras, Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos**

El presente manual tiene como propósito, proporcionar juicios uniformes en términos de subrasante y pavimentos, que facilite el diseño de superficies superiores y superficies de rodadura de caminos tanto pavimentados como no pavimentados, otorgándoles la estabilidad estructural para un desempeño óptimo en términos de eficiencia y economía, siendo por lo tanto una herramienta para el diseño estructural de los pavimentos (MTC, 2014).

#### **2.2.7. Estabilización de Suelos**

Según el MTC (2014) lo define como “el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos.” (p. 96)

Las estabilizaciones se realizan generalmente en las capas superiores como las subrasante, a causa de que estas capas sean pobres o inadecuadas (MTC, 2014)..

Asimismo, la estabilización de suelos tiene como finalidad el incremento de la resistencia mecánica del suelo y que esta propiedad permanezca a lo largo de un determinado tiempo. Los métodos varían desde la estabilización natural, es decir con la adición de otros suelos con mejores propiedades, como también la adición de uno o más estabilizadores, cualquiera de los procedimientos que se realice, el proceso continúa con una compactación del suelo (MTC, 2014).

#### **2.2.7.1. Criterios para considerar una estabilización de suelos:**

- CBR (California Bearing Ratio):

Este ensayo mide la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, para determinar que un suelo necesita ser estabilizado o mejorar su capacidad, es necesario realizar este ensayo para conocer su porcentaje de resistencia (CBR), en este caso una estabilización aplicaría a suelos con  $\text{CBR} \geq 6\%$ . En caso de ser menores, se requerirá de un estudio especial para su estabilización (MTC, 2014).

- Suelo Arcilloso o Limoso:

Este criterio se define por la calidad de la sub rasante, cuando presenta características arcillosas o limosas y que al momento de humedecerse las partículas puedan penetrar las capas granulares del pavimento, lograndose contaminar, lo que genera la reducción de su capacidad de resistencia, para estos casos se necesita de una capa de material anticontaminante (MTC, 2014).

- Napa Freática:

La superficie de la sub rasante debe quedar encima de la napa freática dependiendo la calidad del material que se encuentre en la zona, pero como mínimo deberá tener 0.60 m. cuando se trate de una sub rasante extraordinaria y de 1.00 m. a 1.20 m. cuando se trate de una sub rasante pobre o inadecuada, en estos casos también se puede colocar capas anticontaminantes y/o drenes (MTC, 2014).

- Zonas Altas:

En lugares donde la altura sobre el nivel del mar, sea igual o sobre pase los 4000 m. se deberá evaluar las acciones de las heladas en los suelos, ya que el efecto del congelamiento está asociado con el nivel de la napa freática (MTC, 2014).

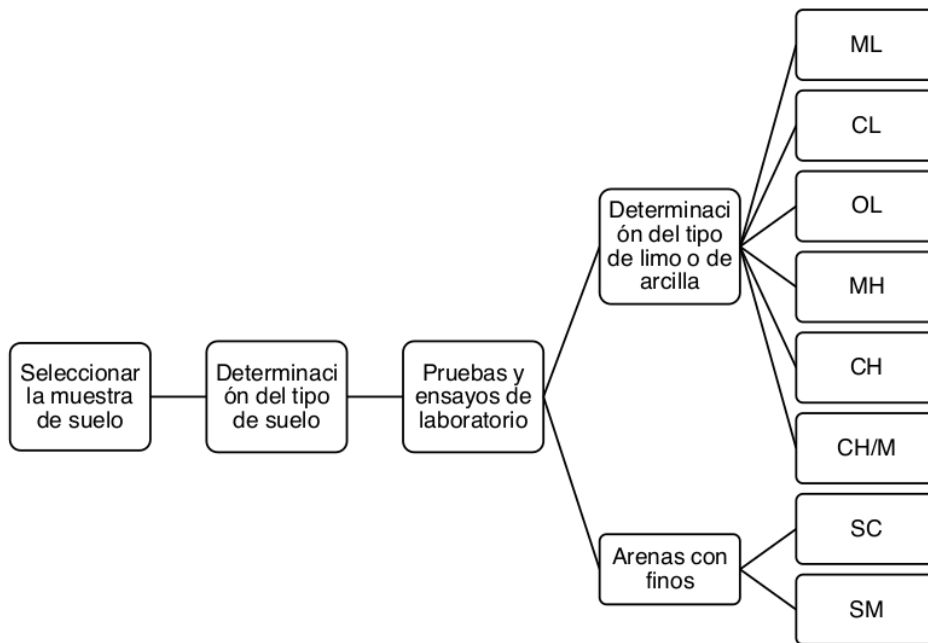
- Suelo Existente:

Este es uno de los principales criterios para considerar una estabilización de suelos, pues dependerá del suelo predominante en la zona, los mismos pueden ser limos, arcillas, arenas limosas o arcillosas (MTC, 2014).

## Proceso para identificar el tipo de suelo

**Figura 2**

*Procesos para identificar el tipo de suelo*



*Nota.* Este es el procedimiento mas apropiado que se realiza para determinar la clasificacion de suelos. Adaptado del "Manual de Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos" por el Ministerio de Trasnportes y Comunicaciones, 2014.

- Factores para determinar el metodo mas apropiado de estabilizacion:

**Tabla 2**

*Factores para determinar el metodo de estabilización.*

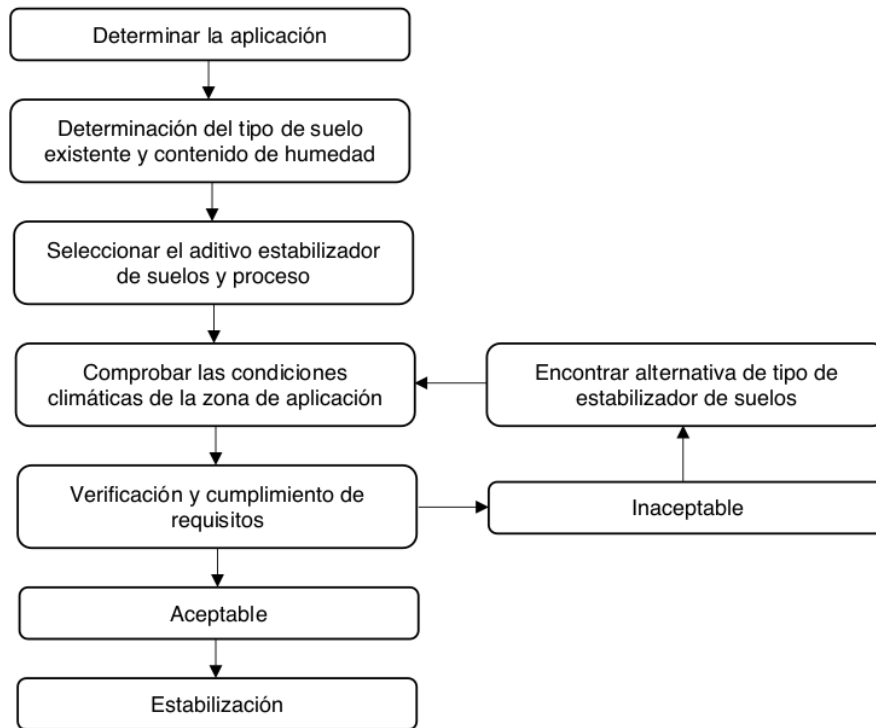
| Item | Factores                                         |
|------|--------------------------------------------------|
| i.   | Tipo de suelo a estabilizar                      |
| ii.  | Uso propuesto del suelo estabilizado             |
| iii. | Tipo de aditivo estabilizador de suelos          |
| iv.  | Experiencia en el tipo de aditivo estabilizador  |
| v.   | Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador |
| vi.  | Disponibilidad del equipo adecuado               |
| vii. | Costos comparativos                              |

*Nota.* Teniendo en cuenta estos factores, se toman como guía para evaluar los agentes estabilizantes que se empleara en la presente tesis. Adaptado del "Manual de Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos" por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

En el siguiente diagrama se resume el proceso para establecer el método más adecuado de estabilización.

**Figura 3**

*Procedimiento para determinar el método apropiado de estabilización.*



*Nota.* Este es el procedimiento recomendado por el MTC, para realizar una evaluación adecuada para seleccionar el estabilizante mas apropiado. Adaptado del “Manual de Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos “ por el Ministerio de Trasnportes y Comunicaciones, 2014.

#### **2.2.8. Afirmados**

Para la construcción de afirmados, con o sin estabilizadores, se utilizarán materiales granulares naturales procedentes de excedentes de excavaciones, canteras, o escorias metálicas. así mismo podrán provenir de la trituración de rocas, gravas o estar constituidos por una mezcla de productos de diversas procedencias (MTC 2014).



**Tabla 3***Requisitos de calidad para considerar un suelo como afirmado*

| Tamiz               | Porcentaje que pasa |          |         |          |          |          |
|---------------------|---------------------|----------|---------|----------|----------|----------|
|                     | A-1                 | A-2      | C       | D        | E        | F        |
| 50 mm (2")          | 100                 | -        |         |          |          |          |
| 37.5 mm (1 1/2")    | 100                 | -        |         |          |          |          |
| 25 mm (1")          | 90 – 100            | 100      | 100     | 100      | 100      | 100      |
| 19 mm (3/4")        | 65 – 100            | 80 – 100 |         |          |          |          |
| 9.5 mm (3/8")       | 45 – 80             | 65 – 100 | 50 – 85 | 60 – 100 |          |          |
| 4.75 mm (N°4)       | 30 – 65             | 50 – 85  | 35 – 65 | 50 – 85  | 55 – 100 | 70 – 100 |
| 2.0 mm (N°10)       | 22 – 52             | 33 – 67  | 25 – 50 | 40 – 70  | 40 – 100 | 55 – 100 |
| 4.25 $\mu$ m (N°40) | 15 – 35             | 20 – 45  | 15 – 30 | 25 – 45  | 20 – 50  | 30 – 70  |
| 75 $\mu$ m (N°200)  | 5 - 20              | 5 - 20   | 5 – 15  | 5 - 20   | 6 - 20   | 8 - 25   |

*Nota:* Para considerar un suelo como afirmado, este debe cumplir con los parámetros de calidad mencionados. Adaptado del "Manual de carreteras y Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción", por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

Además, deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de Plasticidad: 4-9% (MTC E 111)
- CBR (1): 40% mín (MTC E 132)

### 2.2.9. Stipa Ichu

La paja ichu (Stipa ichu) o el ichu es un pasto del altiplano, según Baltazar (2015) es utilizado como alimento para el ganado, esencialmente de auquénidos. Según la Academia de la Lengua Quechua el ichu (Stipa ichu) en botánica significa la paja de las punas.

Es un pasto de los andes peruanos, que también se encuentra en regiones similares de Venezuela, Bolivia, Colombia, Ecuador, Chile y Argentina. Además de tener presencia también en la sierra de México y Guatemala, esta planta crece a partir de los 3,500 msnm y puede llegar a medir desde los 20 cm a los 90 cm., asimismo, se encuentra en zonas como los pajonales, laderas, mesetas, rivera de los ríos, despeñaderos, teniendo gran resistencia y adaptabilidad a los climas secos, sequías y épocas de nevada y lluvia (Baltazar 2015).

#### 2.2.9.1. Principales usos del ichu

Como comenta Baltazar (2015) los principales usos del ichu son:

- Empleado en la construcción de puentes antiguamente, para la fabricación de las cuerdas a base de ichu.
- Actualmente se continúa usando la paja de ichu para la construcción de los techos, apiladas con cuerdas del mismo ichu, se utiliza para forrar los techos de las viviendas.
- Empleado también para la elaboración de ladrillos de arcilla y adobe, los mismos que se emplean para la construcción de las viviendas de la zona.
- El uso principal de la paja de ichu es de forraje para los animales del altiplano, mayormente consumido por llamas y vacunos, sólo en estado tierno es consumido por alpacas durante el pastoreo de verano (puna seca).

#### 2.2.9.2. Composición de la paja de Ichu

**Tabla 4**

Composición de la paja (Stipa de Ichu)

| Parametro              | Composición promedio (% peso) |
|------------------------|-------------------------------|
| Humedad                | 57.7                          |
| Celulosa               | 45.9                          |
| Lignina                | 18.2                          |
| Pentosanos             | 5.5                           |
| Cenizas                | 5.6                           |
| Resinas, cera y grasas | 6.7                           |

*Nota.* Aquí se observan los componentes que se encuentran en la paja de Ichu. de Albarracin, Jaramillo y Arbuja (2015)

**Tabla 5**

Composición química de la paja (Stipa de Ichu)

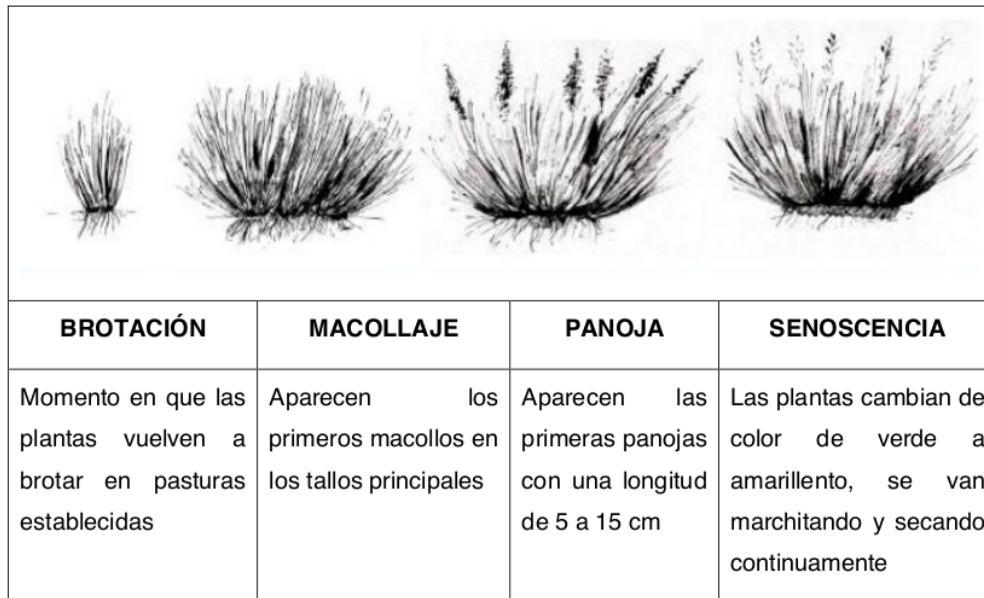
| Composición            | Contenido (%) |
|------------------------|---------------|
| Holocelulosa           | 70.08         |
| Lignina                | 14.87         |
| Extractivos en alcohol | 10.13         |
| Cenizas                | 2.92          |
| Sílice                 | 1.93          |

*Nota.* Aquí se observan los componentes químicos que en mayores porcentajes se encuentran en la paja de Ichu de UNALM (2017)

#### 2.2.9.3. Fases Fenológicas del Ichu

Según Baltazar (2015) una fase fenológica se define como el período en el cual se observan cambios, transformaciones o desapariciones de los órganos de las plantas. Asimismo, puede interpretarse como el lapso en el que ocurre una manifestación biológica

**Figura 4**  
*Fases fenológicas del ichu*



*Nota.* Aquí se observan las fases fenológicas del Ichu, adaptado de "Manual de observaciones Fenológicas. Manual de observaciones Fenológicas. Lima, Perú, Dirección General de Agrometeorología." *Ministerio del Ambiente, S. (2011).*

#### 2.2.9.4. Composición química de la ceniza de Ichu

El grado de calcinación y tiempo se obtuvo de referencia a 600C° por 2 horas. Los datos químicos obtenidos por FRX de las cenizas de ichu ponen de manifiesto cuyos componentes principales son sílice, aluminio y óxido de potasio. (Baltazar,2015)

**Tabla 6***Composición química expresada como óxidos de la ceniza de Ichu*

| Composición química                                    | Resultados (%) | Método utilizado                              |
|--------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|
| Dióxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )                 | 59.207         | Espectrometría de<br>Fluorescencia de Rayos x |
| Trióxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 16.782         |                                               |
| Oxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)                    | 12.894         |                                               |
| Trióxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )   | 4.573          |                                               |
| Oxido de Calcio (CaO)                                  | 3.511          |                                               |
| Pentóxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  | 2.073          |                                               |
| Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> )                 | 0.378          |                                               |
| Oxido de Manganeso (MnO)                               | 0.366          |                                               |
| Trióxido de Azufre (SO <sub>3</sub> )                  | 0.234          |                                               |
| Oxido de Zinc (ZnO)                                    | 0.036          |                                               |
| Oxido de Cobre (CuO)                                   | 0.027          |                                               |

*Nota.* Aquí se observan el alto contenido de Silicio y Aluminio en la composición química de la paja de Ichu. Adaptado de "Resistencia del concreto F'210 kg/cm<sup>2</sup> con adición de cenizas de Ichu" por *Baltazar (2015)*.

Según las conclusiones obtenidas por Vidal (2019) se obtiene un 8.6% de ceniza pre quemada de un total de 1000g de paja de ichu, estos resultados se obtuvieron de un análisis termo diferencial realizado para su investigación.

**Tabla 7***Resultados de la calcinación de la paja de ichu*

| Características | Ichu     | Ceniza Pre Quemada | Ceniza quemada | Ceniza Tamizada (N°200) |
|-----------------|----------|--------------------|----------------|-------------------------|
| Peso            | 1000 gr  | 86 gr              | 65 gr          | 50 gr                   |
| Porcentaje      | 100%     | 8.6%               | 6.5%           | 5%                      |
| Color           | Crema    | Gris oscuro        | Gris           | Gris claro              |
| Aspecto         | De Paja  | Partículas gruesas | Polvo          | Polvo fino              |
| Tamaño          | 40-50 cm | < 3 cm             | < 1mm          | < 75 um                 |

*Nota.* Para la presente investigación se tomará de referencia el 8.6% de ceniza obtenida del pre quemado de la paja de ichu. Adaptado de "Resistencia de concreto con sustitución del cemento en 5%, 7.5% y 10% por la combinación de ceniza de ichu y cascara de huevo" por *Vidal (2019)*.

### **2.3. Base legal**

- Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección suelos y pavimentos del MTC.
- Manual de Carreteras: Diseño de Camino no Pavimentados de bajo volumen de Transito del MTC.
- Manual de Ensayo de Materiales

## CAPITULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y nivel de investigación

- Nivel de Investigación: será de carácter descriptivo, puesto que, mediante una evaluación visual se determinará las condiciones de la vía que se empleará como muestra, además que, se complementará con registros fotográficos.

### 3.2. Diseño de investigación

- No experimental: Se considera de carácter no experimental, puesto que no se llegará aplicar el diseño obtenido en el camino vecinal de muestra, debido a que el desarrollo de la presente investigación se desarrolla en un periodo distante a la época de lluvias que se presentan en la zona.
- Transversal: Se considera del tipo transversal, debido a que, para el desarrollo del diseño, solo se recogerán las muestras, datos e información una sola vez.

**Tabla 8**

*Variables E Indicadores De La Investigación*

|                        | Variables              | Dimensiones                           | Indicadores                                                         | Unidad de Medida                |
|------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Variable Independiente | Fibra de Ichu          | Porcentaje de la Fibra de Ichu        | Dosificación de la Fibra con respecto al peso del Afirmado          | % del peso del Afirmado         |
|                        | Ceniza de Ichu         | Porcentaje de la Ceniza de Ichu       | Dosificación de la Ceniza con respecto al peso del Afirmado         | % del peso del Afirmado         |
|                        | Fibra y Ceniza de Ichu | Porcentaje de Fibra y Ceniza de Ichu  | Dosificación de la Fibra y Ceniza con respecto al peso del Afirmado | % del peso del Afirmado         |
| Variable Dependiente   | Afirmado               | Capacidad de Soporte California (CBR) | %CBR                                                                | %CBR con Fibra de Ichu          |
|                        |                        |                                       |                                                                     | %CBR con Ceniza de Ichu         |
|                        |                        |                                       |                                                                     | %CBR con Fibra y Ceniza de Ichu |

*Nota.* La obtención del resultado (CBR) más óptimo se logrará con el porcentaje de fibra, ceniza o de ambos componentes que logre la mayor resistencia al esfuerzo cortante de la mezcla (%CBR). Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2021.

### **3.3. Métodos de investigación**

- Área de estudio:

Pavimentos

- Materiales y equipos:

- i. Balanzas, hornos, tamices
- ii. Cuchara de Casagrande
- iii. Moldes cilíndricos, probetas, pisón o martillo
- iv. Discos de metal, trípode, pesas, pistón de penetración, diales, tanque de agua.

- Recolección de datos:

- i. Recolectar muestras de material de la cantera.
- ii. Ensayo de granulometría de la muestra
- iii. Dosificación de las proporciones de la fibra y ceniza de Ichu en las muestras
- iv. Ensayo de límites de consistencia de las muestras
- v. Ensayo de Proctor modificado de las muestras
- vi. Ensayo de CBR de las muestras

## CAPITULO 4. ANALISIS DEL SUELO

### 4.1. Descripción de los Ensayos

<sup>6</sup> El “Manual de Ensayos de Materiales” tiene como objetivo estandarizar los métodos y procedimientos para la realización de ensayos de laboratorio y de campo de los materiales utilizados en los proyectos de infraestructura vial para asegurar su desempeño de acuerdo a los estándares de calidad propuestos en los estudios para su uso en las obras y actividades de mantenimiento vial. (MTC 2016). Así mismo, los ensayos se han realizado en base a los procedimientos estipulados en el Manual de Ensayos de Materiales (2016), el mismo que toma como referencia la normatividad de las instituciones técnicas reconocidas internacionalmente, tales como AASHTO, ASTM, Instituto del Asfalto ACI, NTP, entre otras

### 4.2. Ensayos Físicos

#### 4.2.1. Contenido de Humedad (MTC E-108)

- Objetivo: Determina la humedad de un suelo.
- Alcance: La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.
- Materiales y equipos: Estufa u horno, balanza, recipientes
- Muestra: las muestras pueden encontrarse en su estado natural después de ser transportadas, también se aplica este ensayo para las muestras saturadas que han sido parte de un ensayo.
- Procedimiento: Se obtiene una porción representativa de la muestra de suelo, el peso de la porción varía dependiendo el tamaño máximo nominal de la muestra, una vez obtenida esta porción se coloca en un recipiente previamente tarado, para ser ingresado a la estufa u horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. por un tiempo necesario hasta que la muestra mantenga un peso constante, pasado este tiempo se procede a pesar nuevamente para obtener el contenido de humedad.
- Calculo: Se calcula con la siguiente formula:

$$w = \left( \frac{\text{Peso Muestra Saturada} - \text{Peso Muestra seca}}{\text{Peso Muestra seca} - \text{Peso de Recipiente}} \right) \times 100$$



#### 4.2.2. Análisis Granulométrico (MTC E-204)

- Objetivo: Se determinará por medio de una serie de tamices de abertura cuadrada la distribución de partículas de agregados grueso y fino en una muestra seca de peso conocido.
- Alcance: Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de los requisitos exigidos en la especificación técnica para ser considerados como afirmado.
- Materiales y equipos: Balanza, juego de tamices, estufa.

**Tabla 9**

*Tamaño de tamices*

| Tamiz | Abertura (mm) | Tamiz | Abertura (mm) |
|-------|---------------|-------|---------------|
| 2"    | 50.00         | Nº10  | 02.00         |
| 1 ½"  | 37.50         | Nº20  | 0.840         |
| 1"    | 25.00         | Nº40  | 0.425         |
| ¾"    | 19.00         | Nº60  | 0.260         |
| 3/8"  | 09.50         | Nº140 | 0.106         |
| Nº4   | 04.75         | Nº200 | 0.075         |

*Nota:* Para realizar el ensayo de granulometría se hizo uso de los siguientes tamaños de tamices. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Muestra: Para determinar la cantidad de material que se deberá emplear para el ensayo, se toma como referencia el tamaño máximo nominal de muestra de estudio.

Si el suelo presenta partículas aglomeradas por motivos de lluvia o precipitaciones de la zona, se requiere preparar la muestra por el método de la vía húmeda.

- Procedimiento: Dependiendo el contenido de humedad de la muestra, se considerará realizar el secado de la muestra si es necesario, de lo contrario se procederá a tamizar, la muestra será separada en dos tamaños mediante el tamiz Nº4, y se realizara el ensayo por separado, empleando los tamices de forma decreciente por cada tamiz que se ha estimado en la tabla anterior, pasado el tiempo prudente se procederá a pesar en la balanza el material retenido en cada tamiz
- Calculo: Con el peso retenido en cada tamiz, se procede a calcular los porcentajes del material que pasa cada tamiz, el porcentaje retenido de cada

tamiz y el porcentaje acumulado. Con los datos obtenidos se realiza la gráfica en una escala logarítmica, para determinar su clasificación.

2

#### 4.2.3. Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E-205)

- Objetivo: Determinar la densidad seca, la densidad saturada superficial seca, la densidad aparente y la absorción de agua de los agregados finos
- Alcance: La gravedad específica es una propiedad comúnmente utilizada para calcular el volumen ocupado por los agregados. No es adecuado para agregados livianos, ya que la inmersión de 24 horas en agua no brinda un llenado completo de los poros, lo cual es necesario para el uso válido de la prueba.
- Materiales y Equipo: Frasco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup>, molde cónico de metal, varilla para apisonado, tamiz, balanza, estufa, termómetro, equipo para secado del material.
- Muestra: Se necesita de una muestra de 1 ½ kg para realizar el ensayo. Primero se cuartea la muestra y seguido se pasa a secar en el horno a temperatura constante a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , después de retirada, se cubre con agua y se deja reposar por 24 horas. Se retira el agua, evitando la pérdida de partículas finas, y se esparce sobre una superficie plana expuesta al aire caliente, removiendo frecuentemente para que se seque uniformemente hasta que las partículas ya no se adhieran bien entre sí. Luego golpee ligeramente la superficie con el pisón 25 veces y levante el molde. El relleno fino conservará su forma si aún hay humedad libre, se continúa secando, revolviendo continuamente y verificando hasta que el cono colapse después de quitar el molde, lo que indica que el agregado fino ha alcanzado una condición de superficie seca.
- Procedimiento: Se procede a ingresar una muestra superficialmente seca de 500 g aproximadamente al frasco volumétrico, conservando la temperatura que indica el ensayo de  $\pm 23^{\circ}\text{C}$  se completa el volumen del frasco con aguas hasta alcanzar los 500 cm<sup>3</sup>, a continuación, se agita el frasco para eliminar las burbujas en su interior, posteriormente se vuelve a registrar su peso. Por último, se retira la muestra saturada del frasco y se lleva a secar a la estufa a una temperatura constante de  $\pm 110^{\circ}\text{C}$ , se retira, se enfría y registra su peso seco.

- Cálculo: Los datos se obtienen con las siguientes formulas:

$$P_{esss} = \frac{500}{(W-Wa)} \times 100 \quad (\text{Peso específico con masa superficialmente seca})$$

$$P_{ea} = \frac{W_o}{(W-Wa)-(500-W_o)} \times 100 \quad (\text{Peso específico aparente})$$

$$A = \frac{500-W_o}{W_o} \times 100 \quad (\text{Absorción})$$

W = Peso del frasco volumétrico + agua

Wa = Peso del frasco volumétrico + agua + muestras sumergidas

Wo = Peso de la muestra seca

#### 4.2.4. Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E-206)

- Objetivo: Determinar la densidad seca, la densidad saturada superficialmente seca, la densidad aparente y la absorción de agua de los agregados gruesos.
- Alcance: El peso específico es una propiedad empleada para calcular el volumen ocupado por los agregados. En agregados gruesos la inmersión es de 24 horas para llenar esencialmente los poros, lo cual es necesario para la prueba.
- Materiales y Equipo: Cesta con malla de alambre de abertura correspondiente al tamiz N°06, depósito de agua, tamiz, balanza, estufa, termómetro, material para secado de la muestra.
- Muestra: Se obtiene una muestra de acuerdo al tamaño máximo nominal del suelo según la Figura 5, esta muestra representativa se obtiene del peso retenido después de pasar por el tamiz N°4, a continuación, pasa a ser lavado para retirar el exceso de polvo o agregado fino adherido, se ingresa a una estufa para su secado a temperatura constante  $\pm 110^\circ\text{C}$  posteriormente se sumerge en agua durante  $\pm 24$  horas.

**Tabla 10***Peso mínimo de la muestra de ensayo de peso específico ag. Grueso*

| Tamaño Máximo Nominal<br>mm (pulg) | Peso Mínimo de la muestra de Ensayo<br>kg (lb) |
|------------------------------------|------------------------------------------------|
| 12.5 (1/2") o menos                | 2 (4.4)                                        |
| 19.0 (3/4")                        | 3 (6.6)                                        |
| 25.0 (1")                          | 4 (8.8)                                        |
| 37.5 (1 1/2")                      | 5 (11)                                         |
| 50.0 (2")                          | 8 (18)                                         |
| 63.0 (2 1/2")                      | 12 (26)                                        |
| 75.0 (3")                          | 18 (40)                                        |
| 90.0 (3 1/2")                      | 25 (55)                                        |
| 100.0 (4")                         | 40 (88)                                        |
| 112.0 (4 1/2")                     | 50 (110)                                       |
| 125.0 (5")                         | 75 (165)                                       |
| 150.0 (6")                         | 125 (276)                                      |

*Nota:* Según el tamaño máximo nominal del suelo se puede determinar el peso mínimo de la muestra para realizar el ensayo de Peso específico en agregados gruesos. Adaptado del "Manual de Ensayo de Materiales", por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

- Procedimiento: Se retira la muestra sumergida y se hace rodar sobre un paño o franela, hasta lograr retirar la capa de agua visible o estado superficialmente seco, se toma registro de su peso, según lo que indique la figura 5. A continuación se coloca la muestra en la canastilla para ser ingresada al depósito con agua y poder registrar su peso sumergido, antes de ello se debe retirar las burbujas de aire atrapadas y controlar su temperatura según el ensayo a  $\pm 23$  °C. Por último, se procede a retirar la muestra de la canastilla y se coloca en una estufa a temperatura constante  $\pm 110$  °C, se deja enfriar y se registra su peso seco.
- Calculo: Los datos se obtienen con las siguientes formulas:

$$Pem = \frac{A}{(B-C)} \times 100 \text{ (Peso específico)}$$

$$Pesss = \frac{B}{B-C} \times 100 \text{ (Peso específico con masa superficialmente seca)}$$

$$Pea = \frac{A}{A-C} \times 100 \text{ (Peso específico aparente)}$$

$$\% A = \frac{B-A}{A} \times 100 \text{ (Peso específico aparente)}$$

A = Peso de la muestra seca

B = Peso de la muestra superficialmente seca

C = Peso de la muestra saturada

#### 4.2.5. Desgaste de los Ángeles (MTC E-207)

- Objetivo: El objetivo del ensayo es establecer el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37,5 mm (1 ½") para determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles.
- Alcance: La finalidad del ensayo es determinar la resistencia de las partículas de mayor tamaño del suelo frente a la abrasión o desgaste, impacto y trituración, de un tambor de acero en constante rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, que dependen de la gradación de la muestra de ensayo.

**Tabla 11**

*Masa de la carga para el Ensayo de Abrasión*

| Gradación | Número de Esferas | Masa de la carga (g) |
|-----------|-------------------|----------------------|
| A         | 12                | 5 000 ± 25           |
| B         | 11                | 4 584 ± 25           |
| C         | 8                 | 3 330 ± 25           |
| D         | 6                 | 2 500 ± 25           |

*Nota:* Para poder determinar el número de esferas que se emplearan para el ensayo de Abrasión, se hace uso de la gradación de la muestra. Adaptado del "Manual de Ensayo de Materiales", por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

- Materiales y Equipo: Máquina de desgaste de los Ángeles, Balanza, Juego de tamices, esferas de acero, estufa.
- Muestra: Para realizar el ensayo, se utiliza una muestra representativa de suelo, que se determina según la clasificación que se obtuvo del ensayo de granulometría, la muestra se calcula según la Figura 7, que nos indica el peso y tamaño de partícula.
- Procedimiento: Previamente se tiene que lavar y secar la muestra de suelo que se empleara para el ensayo durante 24 horas. Posteriormente se tamizara y pesara de acuerdo a lo descrito en la tabla de la Figura 7, según su gradación, luego se ingresara la muestra a la máquina de desgaste de los ángeles junto a las esferas de acero, para después se logre rotar 500 veces, a continuación, se retire la muestra y se observa si el agregado está esencialmente libre de recubrimiento y polvo se puede omitir el lavado y se

procede a tamizar por el tamiz N°12 (1,70 mm), finalmente se considera el peso solo del material retenido para el cálculo del ensayo.

- Cálculo: La obtención del porcentaje de pérdida se calcula mediante la diferencia de pesos entre la muestra inicial y la muestra obtenida al final del ensayo.

$$\%Perdida = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100$$

**Tabla 12**

*Cálculo de la muestra para el ensayo de Desgaste de los ángeles.*

| Medida del tamiz (abertura cuadrada) |                | Masa de tamaño indicado (g) |            |            |            |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------|------------|------------|------------|
| Que pasa                             | Retenido sobre | Gradación                   |            |            |            |
|                                      |                | A                           | B          | C          | D          |
| 37.5 mm (1 ½")                       | 25.0 mm (1")   | 1 250 ± 25                  |            |            |            |
| 25.0 mm (1")                         | 19.0 mm (¾")   | 1 250 ± 25                  |            |            |            |
| 19.0 mm (¾")                         | 12.5 mm (½")   | 1 250 ± 10                  | 2 500 ± 10 |            |            |
| 12.5 mm (½")                         | 9.5 mm (3/8")  | 1 250 ± 10                  | 2 500 ± 10 |            |            |
| 9.5 mm (3/8")                        | 6.3 mm (¼")    |                             |            | 2 500 ± 10 |            |
| 6.3 mm (¼")                          | 4.75 mm (N°4)  |                             |            | 2 500 ± 10 |            |
| 4.75 mm (N°4)                        | 2.36 mm (N°8)  |                             |            |            | 5 000      |
| TOTAL                                |                | 5 000 ± 10                  | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 |

*Nota:* Según la gradación del suelo, se determina el tamaño de la muestra que se empleara para realizar el ensayo Desgaste de los ángeles. Adaptado del "Manual de Ensayo de Materiales", por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

#### 4.2.6. Límites de Atterberg

##### 4.2.6.1. Límite Líquido (MTC E-110):

- Objetivo: Hallar el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.
- Alcance: Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos, en conjunto con otras propiedades, los límites ayudan a determinar el comportamiento del suelo frente a la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.
- Materiales y equipos: Aparato de Casa grande, acanalador, calibrador, recipientes, balanza, estufa, agua destilada.

- Muestra: Se requiere de una muestra representativa de aproximadamente 200 gr. que haya pasado por el tamiz N°40 (426 mm) Previamente secada en el horno.
- Procedimiento: Primero se satura la muestra representativa lo suficiente hasta lograr una masa pastosa, posteriormente se coloca una parte presionando con la ayuda de la espátula sobre la cuchara de Casagrande, cuidando que no se formen burbujas de aire hasta lograr un espesor de 10 mm aprox., con ayuda del acanalador se divide por la mitad la muestra colocada en la cuchara, finalmente se inicia el proceso que a través de un manubrio se levanta la cuchara y la deja caer, golpeándola contra la base a una altura de 10 mm previamente calibrada, el procedimiento se repite a una velocidad aprox. de 2 golpes por segundo hasta que la muestra dividida se vuelve a juntar, allí se para de girar el manubrio, el ensayo se repite agregando agua o muestra seca hasta lograr que la muestra se junte entre los 25 y 35 golpes, 20 y 30 golpes y 15 y 25 golpes. Por último, se toman muestras representativas de cada espécimen y se proceden a secar a temperatura constante en una estufa, posterior a ello se registra su peso y se haya su contenido de humedad.
- Calculo: El límite líquido se calculó graficando en el eje de las abscisas a escala logarítmica el número de golpes y sobre el eje de las ordenadas a escala aritmética el contenido de humedad, a continuación, se traza la mejor línea recta entre los puntos continuos, por último, se toma el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa 25 (golpes)

#### **4.2.6.2. Límite Plástico (MTC E-111)**

- Objetivo: Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo
- Alcance: Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen
- Materiales y equipos: base de Vidrio, espátula, recipientes, estufa, agua destilada, balanza.
- Muestra: Se requiere de una muestra representativa de aproximadamente 40 gr. que haya pasado por el tamiz N°40 (426 mm) Previamente secada en el horno.

- Procedimiento: Primero se satura unos 15 gr de la muestra de suelo representativa con el agua, luego se procede a formar elipsoides de la muestra, posteriormente se presiona con la mano los elipsoides contra la superficie de vidrio y se empieza a rodar hasta lograr que los cilindros se desmoronen en aprox. los 3.2 mm o 1/8" de diámetro, si la muestra no logra desmoronarse a ese diámetro significa que está muy saturada o seca, se repite el procedimiento agregando más muestra o de lo contrario más agua.
- Calculo: Se toma una muestra representativa y se procede a secar a una temperatura constante, para obtener el peso seco y calcular el contenido de humedad, que se obtiene del promedio de dos muestras.

#### **4.2.6.3. Índice de Plasticidad (MTC E-111)**

El índice de plasticidad de un suelo se puede definir como la diferencia entre su límite líquido y límite plástico.

- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).
- Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

### **4.3. Ensayos Mecánicos**

#### **4.3.1. Proctor Modificado (MTC E-115)**

- Objetivo: Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada de 2 700 kN-m/m<sup>3</sup>.
- Alcance: Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos. Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾" pulg). Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado.



**Tabla 13***Métodos de uso de Ensayo de Proctor Modificado según el tipo de material*

|                    | Método A         | Método B                     | Método C                        |
|--------------------|------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Molde (Diámetro)   | 4" (101.6 mm)    | 4" (101.6 mm)                | 6" (152.4 mm)                   |
| Material (Pasante) | Tamiz N° 4       | Tamiz N° 3/8"                | Tamiz N° 3/4"                   |
| N° Capas           | 05               | 05                           | 05                              |
| Golpes por capa    | 25               | 25                           | 56                              |
| Uso                |                  | >20% retenido en             | >20% retenido en                |
|                    | ≤20% retenido en | tamiz N°4 y ≤ 20%            | tamiz N° 3/8" y <               |
|                    | tamiz N°4        | retenido en tamiz<br>N° 3/8" | 30% retenido en<br>tamiz N°3/4" |

*Nota:* El método a emplear para realizar el ensayo de Proctor modificado, se determina según la granulometría del suelo, además se debe considerar que para realizar el ensayo de CBR, se debe emplear el método C. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Materiales y Equipos: Molde metálico cilíndrico de 6" tenga en promedio  $152,4 \pm 0,7$  mm ( $6,000 \pm 0,026$  pulg) de diámetro interior, una altura de:  $116,4 \pm 0,5$ mm ( $4,584 \pm 0,018$  pulg) y un volumen de  $2\,124 \pm 25$  cm<sup>3</sup> ( $0,075 \pm 0,0009$  pie<sup>3</sup>), pisón o martillo debe caer libremente a una distancia de  $457,2 \pm 1,6$  mm ( $18 \pm 0,05$  pulg) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será  $4,54 \pm 0,01$  kg ( $10 \pm 0,02$  lb-m), balanza, estufa u horno, enrasador, recipientes, agua.
- Muestra: Para el desarrollo del ensayo, se necesitará una masa aproximada de 29 kg de suelo, se debe tener en cuenta que, si el suelo contiene partículas mayores a 3/4", el porcentaje que representan se deberá sustituir, ya que para el presente ensayo solo se puede trabajar con material pasante del tamiz 3/4".
- Procedimiento: Para iniciar el ensayo la muestra representativa deberá estar en estado seco, de lo contrario se deberá calcular su contenido de humedad antes de iniciar con el ensayo, a continuación, se recomienda realizar el ensayo 05 veces para obtener 05 puntos de contenido de humedad, por lo tanto, se deberá separar la muestra en 5 partes iguales de 6 kg aprox. para cada ensayo, tener en cuenta que las muestras deberán permanecer en las mismas condiciones sin perder humedad, posteriormente se procede a estimar el porcentaje de agua que se le agregara a la muestra de 6 kg. Antes de comenzar se deberá conocer el volumen y peso del molde (sin collar) con

el que se trabajará. Seguidamente, se inicia saturando la muestra de 6kg con el porcentaje de agua que se ha estimado y si es requerido se tendrá que curar la muestra según indica la figura 8, seguido, se procede a mezclar hasta lograr una muestra homogénea y se divide en 5 porciones. En seguida se procede agregando cada porción y compactando la misma con ayuda del martillo o pisón, golpeando 56 veces, según lo descrito en el método C, se repite este proceso con las 04 porciones restantes. Al terminar, se pasa a pesar el molde sin el collar y se registra su peso, asimismo, se toma una muestra para calcular su contenido de humedad, ingresándola al horno a temperatura constante  $\pm 110^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Por último, se repite este procedimiento con las otras 4 muestras de 6 kg.

**Tabla 14**

*Tiempo de permanencia de saturación de especímenes*

| Clasificación          | Tiempo de permanencia mínimo en horas |
|------------------------|---------------------------------------|
| GW, GP, SW, SP         | No se requiere                        |
| GM, SM                 | 3                                     |
| Todos los demás suelos | 16                                    |

*Nota:* Según la clasificación del suelo, se determina el tiempo de permanencia mínima de saturación de la muestra para el ensayo de Proctor modificado. Adaptado del "Manual de Ensayo de Materiales", por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

- Cálculo del Volumen del molde: Se realiza mediante el método lineal (se toman medidas del diámetro y altura del molde con ayuda de un vernier calibrado) y el método de llenado de agua (se llena el molde completamente con agua y se calcula su peso, con el peso específico del agua se calcula el volumen). La diferencia de resultados debe estar dentro de las medidas de tolerancia, si se cumple con este requisito, se procede a emplear el volumen obtenido mediante el método de llenado de agua para el cálculo de los resultados.
- Cálculo de resultados: Obtenidos el contenido de humedad y el peso unitario seco de cada espécimen ensayado, se procede a realizar la gráfica de compactación para calcular el óptimo contenido de humedad y peso unitario seco máximo, para comprobar que se realizó un correcto ensayo, esta curva de compactación debería trazarse al lado izquierdo de la línea de saturación (100%), de lo contrario se deberá volver a realizar el ensayo.

#### 4.3.2. CBR (MTC E-132)

- Objetivo: Determinar el índice de resistencia de los suelos a través del ensayo de CBR (California Bearing Ratio)
- Alcance: Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base.
- Materiales y Equipos: Prensa para forzar la penetración de los especímenes, Molde metálico cilíndrico de 6" de 152,4mm  $\pm$  0,66 mm ( $6 \pm 0,026$ ") de diámetro interior y de 177,8  $\pm$  0,46 mm ( $7 \pm 0,018$ ") de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50,8 mm (2,0") de altura y una placa de base perforada de 9,53 mm ( $3/8$ ") de espesor, disco espaciador de metal, de forma circular, de 150,8 mm ( $5 \frac{15}{16}$ ") de diámetro exterior y de 61,37  $\pm$  0,127 mm ( $2,416 \pm 0,005$ ") de espesor, pisón o martillo de compactación, trípode con vástago, dos <sup>6</sup>diales para medir la expansión, tanque de agua, estufa u horno, balanza, dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de 4,54  $\pm$  0,02kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de 2,27  $\pm$  0,02 kg. Las pesas anular y ranurada deberán tener  $5 \frac{7}{8}$ " a  $5 \frac{15}{16}$ " (149,23 mm a 150,81 mm) en diámetro; además de tener la pesa, anular un agujero central de  $2 \frac{1}{8}$ " aproximado (53,98 mm) de diámetro.
- Muestra: La muestra deberá ser preparada repitiendo el procedimiento que se empleó para el ensayo de Proctor modificado, teniendo en cuenta <sup>6</sup>lo siguiente, Si todo el material pasa el tamiz de 19mm ( $3/4$ "), toda la graduación deberá usarse para preparar las muestras a compactar sin modificación. Si existe material retenido en el tamiz de 19 mm ( $3/4$ "), este material deberá ser removido y reemplazado por una cantidad igual de material que pase el tamiz de  $3/4$  de pulgada (19 mm) y sea retenido en el tamiz N° 4 obtenido por separación de porciones de la muestra no de otra forma usada para ensayos.
- Procedimiento: Para la realización del ensayo de CBR, se necesita primero conocer el contenido de humedad óptimo que se haya con el ensayo de Proctor modificado. Seguidamente la muestra se prepara según lo indicado previamente y se satura con el contenido de humedad óptimo obtenido, para realizar el ensayo de penetración, es necesario contar con mínimo 03 especímenes preparados, los mismos que se compactaran con 12, 25 y 56 golpes respectivamente, posteriormente se procede a tomar los pesos de los moldes, para seguidamente ingresarlos al estanque de agua y sumergirlos completamente durante 04 días, al momento de ingresarlos al agua se deberán colocar los trípodes con el dial análogo para determinar la expansión

del suelo. Posteriormente, al término de los 04 días, se retiran los especímenes del agua, tomando el registro del dial, para evaluar la expansión del suelo, por último, se pasa a escurrir los moldes y se pasan a ensayar los especímenes con la máquina de penetración, se registran los esfuerzos obtenidos según la tabla de penetración como indica en la figura 9, culminado el ensayo se procede a tomar una muestra y se ingresa a la estufa para posteriormente obtener el contenido de humedad.

**Tabla 15**

*Lecturas de penetración - Ensayo de CBR*

| Milímetro | Pulgadas |
|-----------|----------|
| 0.63      | 0.025    |
| 1.27      | 0.050    |
| 1.90      | 0.075    |
| 2.54      | 0.100    |
| 3.17      | 0.125    |
| 3.81      | 0.150    |
| 5.08      | 0.200    |
| 7.62      | 0.300    |
| 10.16     | 0.400    |
| 12.70     | 0.500    |

*Nota:* Lecturas para definir la forma de la curva de esfuerzo vs penetración. Adaptado del "Manual de Ensayo de Materiales", por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

- Cálculos: Para el cálculo del porcentaje de CBR, primero se determina los pesos unitarios secos de los especímenes ensayados, seguido se grafica la curva de presión (ordenadas) vs penetraciones (abscisas) obtenida del ensayo de penetración, seguido se observa si la curva presenta puntos de inflexión, de no presentar se toman los datos correspondientes a los valores de 2,54 mm y 5,8 mm o (0.1" y 0.2"), si presenta un punto de inflexión se tendrá corregir la gráfica trazando una tangente en el punto que corte el eje de las abscisas, tomando así un nuevo punto de origen, desde allí se volverá a tomar los valores correspondientes a los valores de 2,54 mm y 5,8 mm. Obtenidos los valores de los 3 especímenes, se calculan los valores de relación de soporte correspondiente, que se obtienen de la división de los esfuerzos corregidos con los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (10001b / plg<sup>2</sup>) y 10,3 MPa (1500 lb / plg<sup>2</sup>), estos valores obtenidos de la relación de esfuerzos se multiplican por 100 para obtener el % de CBR de los especímenes.

Por último, una vez obtenido los resultados se realiza la gráfica de pesos unitarios secos (abscisas) y los % CBR (ordenadas), se traza la mejor línea recta entre los puntos continuos, y se obtiene el %CBR <sup>6</sup> correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa del valor de peso unitario seco máximo.

## CAPITULO 5. RESULTADOS

### 5.1. Ensayo de Granulometría

- Primero se procedió con el proceso de cuarteo de la muestra.

**Figura 5**

*Cuarteo de la muestra*



*Nota:* Proceso de cuarteo para lograr obtener la muestra más homogénea posible. *Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.*

- Para el presente caso de estudio, se preparó la muestra mediante el método húmedo: Primero, empleando un martillo de goma se golpea las partículas formadas de terrones, segundo, se separa la muestra mediante el tamiz N°4, la muestra retenida se considerará como Ag. Grueso (A) y la muestra pasante como Ag. Fino (B), tercero, el Ag. Grueso (A) se procederá a lavar en el tamiz N°4, obteniendo muestra retenida (C) y muestra pasante (D), cuarto, la muestra retenida del ag. grueso (C) se procede a secar en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, quinto, la muestra pasante del ag. grueso (D) junto al ag. fino (B) se procede a secar en un horno a una temperatura de  $60 \pm 5$  °C, por último, se retira las muestras del horno y se procede a mezclar todos los agregados para iniciar con el ensayo de granulometría.
- El tamaño máximo nominal de la muestra es de  $\frac{3}{4}$ " y corresponde emplear una muestra aprox. de 5 kg para el ag. Grueso, para ello se empleó 18 kg aprox. de muestra para obtener los 5 kg de ag. grueso que se retuvo en el tamiz N°4. Para el ensayo de ag. fino se tomó una muestra representativa de 500 g aprox. del material pasante de la malla N°4.
- Seguidamente, se procedió a realizar el ensayo en 9 partes, esto debido al tamaño de los tamices, por lo que se repitió el ensayo empleando 2 kg en cada repetición, para no saturar los equipos y se realice un mejor ensayo.

**Figura 6**  
*Ensayo de granulometría*



*Nota:* Proceso de tamizado a través del tamizador portátil. *Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.*

- Según los resultados obtenidos, comparados con los requisitos de calidad, se determina que el tipo de suelo es del tipo A-2.

**Tabla 16**  
*Gradación granulométrica del suelo*

| Tamiz | Diámetro<br>mm | Muestra 1<br>Pasante | Muestra 2<br>Pasante | Muestra 3<br>Pasante | Parámetros de<br>Calidad del Afirmado<br>(EG-2013) |      |
|-------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------|------|
|       |                | %                    | %                    | %                    | Gradación A-2                                      |      |
| 1"    | 25.40          | 100%                 | 100%                 | 100%                 | 100%                                               | 100% |
| ¾"    | 19.00          | 98%                  | 98%                  | 98%                  | 80%                                                | 100% |
| 3/8"  | 9.50           | 86%                  | 88%                  | 86%                  | 65%                                                | 100% |
| N4    | 4.75           | 72%                  | 74%                  | 71%                  | 50%                                                | 85%  |
| N10   | 2.00           | 55%                  | 56%                  | 54%                  | 33%                                                | 68%  |
| N40   | 0.43           | 25%                  | 27%                  | 25%                  | 20%                                                | 45%  |
| N200  | 0.08           | 6%                   | 6%                   | 6%                   | 5%                                                 | 20%  |

*Nota:* Comparación de los resultados obtenidos de los 03 ensayos de granulometría con los parámetros de calidad del Afirmado de gradación A-2. *Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.*

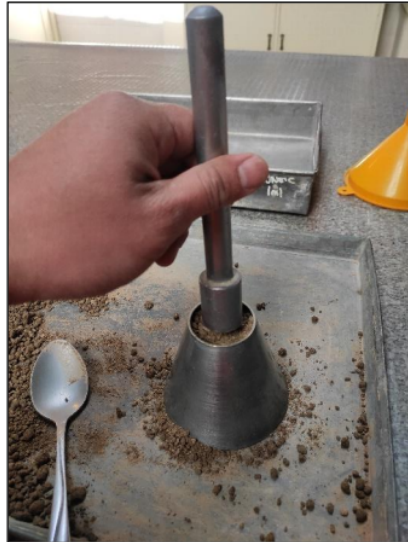


## 5.2. Ensayo de Gravedad específica y Absorción de agregados finos

- Primero a través del cuarteo se obtuvo una muestra de 1 ½ kg aprox. para repetir 03 veces el ensayo.
- Seguido de secar la muestra a temperatura constante de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  se colocó en un recipiente, y se cubrió con agua, dejándola reposar por 24 horas.
- Pasado el tiempo de saturación, se procede a retirar el agua, evitando la pérdida de partículas finas, y se esparce sobre una superficie plana para ser expuesta al aire caliente, removiendo frecuentemente para secar superficialmente las partículas y no se adhieran entre sí.
- Obtenido el estado superficialmente seco, se continuo a pesar 500 g de la muestra.

**Figura 7**

*Ensayo de Gravedad específica del ag. fino*



*Nota:* Apisonamiento de la muestra saturada, para comprobar su estado superficialmente seco. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Se procede a ingresar la muestra al frasco volumétrico, considerando que se tiene que calcular el peso específico promedio entre el ag. fino y ag. grueso, a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , se puede realizar de dos formas, manteniendo la temperatura que indica el ensayo  $\pm 23^\circ\text{C}$  y multiplicando el resultado por un factor de corrección K o realizar el ensayo a la temperatura promedio  $20^\circ\text{C}$ . Se optó por realizar el ensayo a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  y corrigiendo



por el factor de temperatura  $k$  de ser necesario, para obtener un resultado más preciso, se siguió completando el volumen del frasco con agua hasta alcanzar los 500 cm<sup>3</sup>

- A continuación, se agito el frasco para eliminar las burbujas en su interior, y se espera un momento que repose la muestra para registrar su peso saturado.
- Por último, se retiró la muestra saturada del frasco y se lleva a secar a la estufa a una temperatura constante de  $\pm 110$  °C, una vez retirada y enfriada se registró su peso seco.

**Tabla 17**  
Resultados obtenidos del ensayo de <sup>1</sup>Gravedad específica de los ag. Fino

| Variables                                           | Und | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|-----------------------------------------------------|-----|-----------|-----------|-----------|
| Masa de la muestra superficialmente seca            | g   | 500.1     | 500       | 500.1     |
| Masa de la muestra sumergida                        | g   | 287.45    | 287.81    | 287.14    |
| Temperatura del agua                                | °C  | 20.2      | 20.1      | 19.9      |
| Masa de la muestra seca                             | g   | 450.54    | 451.4     | 452.12    |
| Coeficiente de temperatura (K)                      |     | 0.99996   | 0.99998   | 1.00002   |
| Peso específico de la masa (pem)                    |     | 2.12      | 2.13      | 2.12      |
| Promedio (pem)                                      |     | 2.12      |           |           |
| Peso esp. masa saturada con superficie seca (pesss) |     | 2.35      | 2.36      | 2.35      |
| Promedio (pesss)                                    |     | 2.35      |           |           |
| Peso específico aparente (pea)                      |     | 2.76      | 2.76      | 2.74      |
| Promedio (pea)                                      |     | 2.75      |           |           |
| Absorción (Ab)                                      | %   | 11.0      | 10.8      | 10.6      |
| Promedio (Ab)                                       | %   | 10.8      |           |           |

*Nota:* Se obtuvo el promedio de las tres muestras ensayadas, determinando así los pesos específicos secos, superficialmente saturados y aparentes. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

### 5.3. Peso específico y absorción de agregados gruesos

- Primero se realizó el cuarteo de la muestra y se procedió a tamizar a través de la malla N°4 para obtener una muestra representativa de 9 kg aprox. del suelo retenido.
- A continuación, se pasó a lavar el material para retirar el exceso de polvo o agregado fino adherido y se ingresó a una estufa para su secado a temperatura constante  $\pm 110$  °C, posteriormente se retiró y sumergió en agua durante  $\pm 24$  horas.

- Una vez cumplido el tiempo y saturado el agregado, se hizo rodar sobre un paño, hasta lograr retirar la capa de agua visible, logrando así, que se encuentre en un estado superficialmente seco, aquí se registra su peso de aprox. 3 kg.

**Figura 8**

*Ensayo de Peso específico del ag. grueso*



*Nota:* Se observa el secado del material previamente saturado para alcanzar su estado superficialmente seco. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Seguidamente se colocó la muestra en la canastilla previamente tarada, para calcular su peso sumergido, antes de ello se retiró las burbujas de aire atrapadas y se controló su temperatura, como en el ensayo de ag. fino se mantuvo la temperatura a 20°C.
- Por último, se retiró la muestra de la canastilla y se colocó en una estufa a temperatura constante  $\pm 110^{\circ}\text{C}$ , se dejó enfriar y se registró su peso seco.

**Tabla 18**  
Resultados del ensayo de peso específico del ag. Grueso

| Variables                                                       | Und | Muestra 01 | Muestra 02 | Muestra 03 |
|-----------------------------------------------------------------|-----|------------|------------|------------|
| Masa de la muestra superficialmente                             |     |            |            |            |
| Seca                                                            | g   | 3010.00    | 3050.00    | 3028.00    |
| Masa de la muestra sumergida                                    | g   | 1758.00    | 1797.00    | 1788.00    |
| Temperatura del agua                                            | °C  | 20.3       | 20.0       | 19.8       |
| Masa de la muestra seca                                         | g   | 2852.00    | 2892.00    | 2867.00    |
| Coefficiente de temperatura (K)                                 |     | 0.99814    | 1.00000    | 0.99825    |
| Peso específico de la masa (pem)                                |     | 2.28       | 2.31       | 2.31       |
| Promedio (pem)                                                  |     |            | 2.30       |            |
| Peso específico de la masa saturada con superficie seca (pesss) |     | 2.40       | 2.43       | 2.44       |
| Promedio (pesss)                                                |     |            | 2.43       |            |
| Peso específico aparente (pea)                                  |     | 2.61       | 2.64       | 2.66       |
| Promedio (pea)                                                  |     |            | 2.64       |            |
| Absorción (Ab)                                                  | %   | 5.54       | 5.46       | 5.62       |
| Promedio (Ab)                                                   | %   |            | 5.54       |            |

*Nota:* Se obtuvo el promedio de las tres muestras ensayadas, determinando así los pesos específicos secos, superficialmente saturados y aparentes del agregado grueso. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

**Figura 9**  
Peso específico promedio del suelo

$$G_{avg@20^{\circ}C} = \frac{1}{\frac{R}{100 \cdot G_{1@20^{\circ}C}} + \frac{P}{100 \cdot G_{2@20^{\circ}C}}} \quad (5)$$

Donde:

- R = Porcentaje de suelo retenido en la malla 4,75mm
- P = Porcentaje de suelo que pasa la malla 4,75mm
- G<sub>1@20°C</sub> = Peso específico de suelos retenido en el tamiz 4,75mm como fue determinado por el método de ensayo ASTM C 127, corregido a 20°C.
- G<sub>2@20°C</sub> = Peso específico de suelos que pasan el tamiz 4,75mm como fue determinado por estos métodos de ensayo (ecuación 4).

*Nota:* Formula para obtener el Peso específico promedio del suelo. Adaptado del "Manual de Ensayo de Materiales", por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

**Tabla 19**  
*Pesos específicos promedio del suelo*

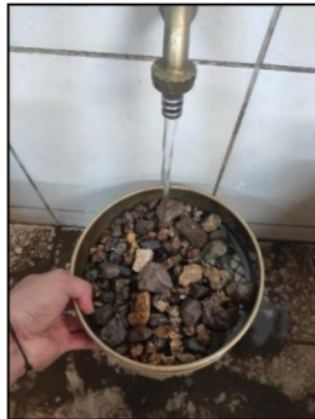
| Descripción                             | Ag. Grueso | Ag. Fino | Suelo  |
|-----------------------------------------|------------|----------|--------|
| % Retenido                              | 27.88      | 72.12    | 100.00 |
| Gravedad Especifica Aparente (20 °C)    | 2.64       | 2.75     | 2.72   |
| Gravedad Especifica SSS (20 °C)         | 2.43       | 2.35     | 2.37   |
| Gravedad Especifica Seca (Bulk) (20 °C) | 2.31       | 2.12     | 2.17   |

*Nota:* Se obtuvo el promedio de los dos agregados, determinando así los pesos específicos secos, superficialmente saturados y aparentes del suelo. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

#### 5.4. Ensayo de Desgaste de los Ángeles

- Primero, se realizó el proceso de lavado de la muestra para retirar el materia fino de las partículas de mayor tamaño y se continuo con el secado durante 24 horas. en la estufa a una temperatura constante.

**Figura 10**  
*Proceso de lavado de la muestra*



*Nota:* Procedimiento de lavado de la muestra para retirar limos y desintegrar granos formados por material fino. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Seguido, se determinó la muestra según la gradación del suelo obtenida (tipo A), para lo cual se realizó el procedimiento de tamizado, obteniendo el peso retenido de 1,250 gr aproximadamente de cada tamiz 1", ¾", ½" y 3/8", sumando así una muestra de 5,000 gr.

**Figura 11**

*Muestra para ensayo de Desgaste de los ángeles*



*Nota:* Procedimiento de tamizado y pesado del agregado según la gradación que demanda la norma del ensayo. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Se continuo con el ensayo, ingresando la muestra de 5,000 gr aprox. junto a las esferas de acero (12 esferas) a la máquina de desgaste de los ángeles, el procedimiento culmino cuando se logró rotar 500 veces el tambor de la máquina.

**Figura 12**

*Máquina de Desgaste de los Ángeles*



*Nota:* Procedimiento de desgaste del agregado a través de la máquina de los ángeles. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Se procedió a retirar la muestra de la máquina y se continuo a tamizar por la malla N°12, se apartó la muestra pasante y se observó que la muestra retenida contenía revestimiento de polvo y se derivó a lavar en el mismo tamiz N°12, seguido se ingresaron las muestras retenida y pasante después del lavado al horno a temperatura constante.

- Por último, se retiraron las muestras del horno, se sumó la muestra pasante del lavado a la muestra inicialmente apartada para obtener el peso total pasante y el peso retenido, obteniendo un promedio de 29.8% de material perdido por abrasión, porcentaje que cumple con los parámetros de calidad para ser considerado un material de afirmado.

**Tabla 20**  
*Ensayo de Abrasión de los ángeles*

| Variable                                | und | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|-----------------------------------------|-----|-----------|-----------|-----------|
| Porcentaje del peso retenido tamiz N°12 | %   | 70.3      | 70.0      | 70.4      |
| Perdida por abrasión                    | %   | 29.7      | 30.0      | 29.6      |
| Promedio Porcentaje perdido             | %   |           | 29.8      |           |

*Nota:* Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los parámetros de calidad del Afirmado. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

### 5.5. Ensayo de Limite Liquido

- Primero se realizó el proceso de tamizado a través de la malla N°40, para obtener una muestra representativa de 200 gr aprox. por ensayo.
- Obtenida la cantidad necesaria se procedió a saturar la muestra.
- Seguido se colocó la muestra con ayuda de una espátula sobre la cuchara de casa grande, hasta obtener las muestras que indica el ensayo, dentro de los parámetros de golpes requeridos.

**Figura 13**  
*Ensayo de Limite Liquido*



*Nota:* Procedimiento para obtener el límite líquido a través del ensayo con la cuchara de Casa Grande, realizando golpes repetitivamente. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.



- A continuación, se muestra una tabla con los datos obtenidos, la gráfica y el cálculo del Límite Líquido:

**Tabla 21**

*Resultados del ensayo de Limite Líquido.*

| Muestras | Rango   | Golpes | Peso recipiente (0.01 g) | Peso muestra húmeda (0.01 g) | Peso muestra seca (0.01 g) | Contenido humedad (0.1 %) |
|----------|---------|--------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1        | 25 a 35 | 34     | 21.15                    | 42.66                        | 37.86                      | 28.7                      |
|          | 20 a 30 | 27     | 21.40                    | 46.20                        | 40.50                      | 29.8                      |
|          | 15 a 25 | 18     | 21.04                    | 44.14                        | 38.63                      | 31.3                      |
| 2        | 25 a 35 | 34     | 21.70                    | 42.19                        | 37.58                      | 29.0                      |
|          | 20 a 30 | 25     | 21.58                    | 44.81                        | 39.38                      | 30.5                      |
|          | 15 a 25 | 18     | 21.38                    | 45.82                        | 39.90                      | 32.0                      |
| 3        | 25 a 35 | 33     | 21.41                    | 43.74                        | 38.69                      | 29.2                      |
|          | 20 a 30 | 28     | 21.65                    | 46.78                        | 40.75                      | 31.6                      |
|          | 15 a 25 | 21     | 21.72                    | 48.93                        | 42.11                      | 33.4                      |

*Nota:* Procesamiento de resultados del ensayo de Limite líquido. *Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.*

- De los gráficos obtenidos y que se detallan en el Anexo1 podemos determinar que el Limite Líquido es del 31 %.

#### 5.6. Ensayo de Limite Plástico

- Primero se realizó el proceso de tamizado a través del tamiz N°40, para obtener una muestra representativa de 20 gr aprox. por ensayo.
- Posteriormente se saturó la muestra, hasta obtener una masa plástica con la que se logró la ruptura de los cilindros a un espesor de 1/8".

**Figura 14**

*Ensayo de Limite plástico*



*Nota:* Procedimiento de saturación y elaboración de rollos cilíndricos para determinar el límite plástico de la muestra. *Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.*

- Por último, se registró el peso de 06 muestras y sus respectivos recipientes, para luego dejarlos en la estufa durante 24 horas, para obtener el contenido de humedad.
- El cálculo del Limite Plástico, se da con el promedio del contenido de humedad obtenido.

**Tabla 22**

*Resultados del ensayo de Limite Plástico*

| Muestras | Peso recipiente<br>(0.01 g) | Peso muestra<br>húmeda (0.01<br>g) | Peso muestra<br>seca (0.01 g) | Contenido<br>humedad (0.1<br>%) |
|----------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1        | 21.79                       | 29.56                              | 28.09                         | 23.3                            |
|          | 21.76                       | 28.83                              | 27.44                         | 24.5                            |
| 2        | 21.69                       | 28.53                              | 27.16                         | 25.0                            |
|          | 21.73                       | 28.68                              | 27.30                         | 24.8                            |
| 3        | 21.78                       | 29.20                              | 27.77                         | 23.9                            |
|          | 21.74                       | 29.05                              | 27.63                         | 24.1                            |

*Nota:* Cálculo del límite plástico a través de los resultados obtenidos del ensayo. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- De la tabla podemos determinar que el Limite Plástico es de 24.3 %
- Por último, se calculó el índice de plasticidad, obteniendo un valor de 6.7%

#### **5.7. Ensayo de Proctor Modificado**

- Primero se determinó el método que se empleara para realizar el ensayo, según la granulometría del suelo.
- Según la clasificación del suelo, el método a emplear es el tipo B, pero se debe considerar que para la realización del ensayo de CBR solo se debe tomar en cuenta el método C.
- Se puede observar además que no será necesaria la corrección de gravedad específica por partículas sobredimensionadas, ya que el material retenido por encima de la malla  $\frac{3}{4}$ " no supera el 5%.
- Definido el método y la corrección de gravedad específica, se procedió a realizar el ensayo por el método de la preparación húmeda.
- Previamente a realizar el ensayo, se determinó el peso y el volumen del molde de 6" por el método lineal y llenado de agua.



**Figura 15**

*Cálculo del volumen del molde 6"*



*Nota: Al generarse una desigualdad permitida en el volumen del molde por ambos métodos, se consideró el resultado obtenido por el método de llenado de agua. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.*

- Seguidamente se preparó la muestra, considerando 6 kg aprox, por espécimen a ensayar.
- Inmediatamente después, se estimó un porcentaje de agua para acercarse al contenido de humedad óptimo de la muestra y a continuación se adiciono un mayor y menor porcentaje de agua para los demás especímenes.
- Según la clasificación obtenida del suelo a ensayar, la norma indica que deberá cumplir un tiempo de curado estimado según la figura 8, con el fin de lograr un óptimo contenido de humedad en toda la muestra.
- Pasado el tiempo de curado, se realizó la compactación de las muestras, realizando 56 golpes en cada una de las 05 capas, a la postre se retira el anillo y se enraso el molde.
- Por último, se registró el peso del molde con el material compactado, y se toma una muestra para calcular el contenido de agua.

**Figura 16**

*Muestras después de haberse realizado el ensayo de compactación*



*Nota:* Muestras después de haber sido compactadas y saturadas con distintos porcentajes de agua. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- A continuación, se muestra la tabla con los datos obtenidos de los tres ensayos realizados, las gráficas y demás cálculos se adjuntan en el Anexo 1.

**Tabla 23**

*Resultados del ensayo de Proctor Modificado*

| Descripción             | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Promedio | und   |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------|
| % humedad optimo ensayo | 9.55      | 9.65      | 9.5       | 9.6      | %     |
| Peso unitario seco máx. | 20.33     | 20.33     | 20.3      | 20.33    | kN/m3 |

*Nota:* Calculo de los resultados obtenidos del ensayo de Proctor modificado. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Según los datos obtenidos del gráfico, podemos determinar que el contenido de agua optimo es de 9.6 % y el Peso Unitario Seco máximo es de 20.33 kN/m3

### 5.9. Análisis de resultados

- Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados, se determinó la clasificación del suelo según el sistema:

|                      |       |                                      |
|----------------------|-------|--------------------------------------|
| CLASIFICACION SUCS   | SW-SM | Arena bien graduada con limo y grava |
| CLASIFICACION AASHTO | A-2-4 | Arenas Limosas de buena calidad      |

- Asimismo, se compararon los resultados del suelo natural con los parámetros de calidad del afirmado, para determinar si se puede considerar al suelo en estudio como un afirmado.

**Tabla 24**

*Comparación de resultados de ensayos realizados*

| Requisitos de calidad del afirmado |           |           |     |                      |            |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----|----------------------|------------|
| Ensayo                             | Norma     | Parámetro |     | Resultado de ensayos | Aceptación |
| Ensayo de granulometría            | MTC E-108 | TAMIZ     |     | A-2                  | SI         |
|                                    |           |           |     | % PASA               |            |
|                                    |           | 2"        |     | 100%                 |            |
|                                    |           | 1 1/2"    |     | 100%                 |            |
|                                    |           | 1"        |     | 100%                 |            |
|                                    |           | 3/4"      |     | 80-100%              |            |
|                                    |           | 3/8"      |     | 65-100%              |            |
|                                    |           | Nº4       |     | 50-85%               |            |
|                                    |           | Nº10      |     | 33-68%               |            |
|                                    |           | Nº40      |     | 20-45%               |            |
|                                    |           | Nº200     |     | 5-20%                |            |
| Desgaste de los ángeles            | MTC E-207 | max.      | 50% | 30%                  | SI         |
| Limite liquido                     | MTC E-110 | max.      | 35% | 31.0%                | SI         |
| Índice de plasticidad              | MTC E-111 | 4-9 %     |     | 7%                   | SI         |
| CBR a 0.1"                         | MTC E-132 | min.      | 40% | 74%                  | SI         |

*Nota:* Se realizó un cuadro resumen de todos los resultados obtenidos de los ensayos, comparados con los parámetros de calidad que exige la norma, obteniendo así, que el material si cumple como afirmado. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

### 5.8. Ensayo de CBR

- Obtenido el Contenido la humedad optimo y el peso especifico seco máximo para la muestra de suelo, se continuo con la preparación de la muestra para el ensayo de CBR
- Primero se determinó el volumen y peso de los moldes cilíndricos y anillo espaciador, además de comprobar las medidas de cada equipo y material.
- Seguidamente se tomaron las mismas consideraciones para la preparación de la muestra, tal como se realizó para el ensayo de Proctor modificado.
- A continuación, se realizó el proceso de compactación de las 03 muestras saturadas con el óptimo contenido de humedad obtenido, para este ensayo se emplea 12, 25 y 56 golpes correspondientemente a cada espécimen.
- Seguido, se procedió a pesar las muestras con el suelo compactado, sin considerar el collar ni el anillo espaciador.
- Siguiendo del proceso de compactación, se tomó una muestra de cada espécimen para comprobar su contenido de humedad, a continuación, se le coloca el papel filtro, las pesas, las mismas que deben cumplir con las especificaciones técnicas mencionadas anteriormente.

**Figura 17**  
*Ensayo de CBR*



*Nota:* Se observa el molde con la muestra de suelo después de ser compactado y antes de ser sumergida. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Después se procedió a colocar el trípode con el dial para determinar la expansión, al momento que se encuentren sumergidas en el agua.

**Figura 18**

*Muestras sumergidas para el ensayo de CBR*



*Nota:* Procedimiento de saturación de los especímenes en agua durante 96 horas. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Pasado los 04 días de saturación se procedió a retirar los especímenes del agua y tomar el registro del dial para determinar la expansión. Para obtener la expansión en milímetros, se necesita convertir las lecturas obtenidas del dial, que se encuentran en pulgadas, mediante la siguiente formula.

$$\text{Lectura (mm)} = \text{Lectura dial (pulg)} \times 0.0254$$

- Seguido, se procede a decantar el agua que permanece en los moldes por un tiempo aproximado de 15 min, para continuar con el ensayo de penetración.
- Antes de iniciar el ensayo de penetración se registra el peso del molde saturado, sin considerar las pesas, trípode, dial, y restando el peso del papel filtro.
- Por último, se volvió a colocar las pesas al molde y se le ubico en la plataforma para iniciar con el ensayo de penetración, la norma indica que el ensayo se tiene que realizar a una velocidad de 1.27 rev/min, para conservar una velocidad constante y correcta realización del ensayo, seguido se tomó el registro de las lecturas del dial tal como indica la figura 9. Estas lecturas se necesitan convertir mediante la siguiente fórmula para obtener las gráficas de esfuerzo, penetración.

$$\text{Esfuerzo (kgf)} = (\text{Lectura (dial)} \times 4.22021) + 12.84260$$

**Figura 19**  
*Ensayo de Penetración de CBR*



*Nota:* Procedimiento de penetración de los especímenes. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Finalmente, pasado el ensayo de penetración se tomó una muestra de cada molde para calcular el contenido de agua.
- Obtenidos los datos de esfuerzo y penetración, se procede a dibujar las gráficas y de ser necesario, se corrige las curvas si se observa un desplazamiento del origen.
- Según la norma técnica (MTC, 2014) el CBR para un suelo clasificado como afirmado se debe tomar al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1" (2,5 mm)
- De los datos obtenidos se promedió el resultado de los tres ensayos, logrando obtener un CBR promedio de 74% a una máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1"
- El desarrollo de los ensayos se adjunta en el anexo 1.

**Tabla 25**  
*Promedio de CBR*

| CBR al 100% Densidad Seca Máxima | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Promedio | und |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 0.1" de penetración              | 73       | 73       | 75       | 74       | %   |
| 0.2" de penetración              | 81       | 82       | 83       | 82       | %   |

*Nota:* Se observa el promedio de los 03 ensayos realizados para obtener un % de CBR a 0.1" y 0.2" de carga. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

## CAPITULO 6. PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 6.1. Fibra de Ichu

- Para la obtención de la paja de ichu, se recomienda emplear el método del cuadrante, el cual consiste en utilizar un marco de 1m<sup>2</sup>, el mismo se arroja a una determinada zona al azar y donde caiga se recoge la paja que quede dentro del cuadrante, con ello se puede determinar un peso por m<sup>2</sup>, según la investigación realizada por (Atahuachi Layme & Carcausto Quispesayhua, 2018), de 1m<sup>2</sup> de una zona de pastizal se obtiene un promedio de 907.5 gr de paja de ichu
- La fibra de Ichu, se obtuvo de los cerros aledaños a la vía en estudio, para la presente investigación, la planta debía encontrarse en estado seco.

**Figura 20**

*Obtención de la Fibra de Ichu*



*Nota:* Extracción de la paja de ichu de los cerros aledaños a la vía de estudio. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Para el desarrollo de los ensayos se optó por emplear un tamaño homogéneo de la fibra, para mayor trabajabilidad y se recortó a un tamaño entre 6 a 7 cm.



**Figura 21**  
*Preparación Fibra de Ichu*



*Nota:* Preparación de la fibra de ichu para realizar los ensayos de Proctor modificado y CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Antes de continuar con los ensayos, se determinó el porcentaje de absorción de la fibra de ichu, obteniendo un 209% de absorción, lo que significa que la paja tiene un alto grado de absorción.
- Para emplear la fibra de ichu en los ensayos de Proctor modificado y CBR, se consideró trabajar con la fibra saturada, para evitar la pérdida de humedad al momento de realizar los ensayos. Es así que, se dejaba la fibra saturada en agua por 24 horas antes de realizar los ensayos.
- Para el desarrollo experimental se consideró iniciar con los siguientes porcentajes de fibra de Ichu 0.3%, 0.5%, 0.7%. Dependiendo los resultados se incrementaría el porcentaje de ser necesario.

**Figura 22**  
*Saturación de la Fibra de ichu*



*Nota:* Saturación de la fibra de ichu para realizar los ensayos de Proctor modificado y CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.



- A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado realizado con los porcentajes de fibra de ichu propuestos.

**Tabla 26**

*Ensayos de Proctor Modificado de la mezcla de suelo + % Fibra de Ichu*

| Suelo Natural |       | Suelo Natural + 0.3% Fibra de Ichu |       | Suelo Natural + 0.5% Fibra de Ichu |       | Suelo Natural + 0.7% Fibra de Ichu |       |
|---------------|-------|------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|
| %w            | Yd    | %w                                 | Yd    | %w                                 | Yd    | %w                                 | Yd    |
| %             | kN/m3 | %                                  | kN/m3 | %                                  | kN/m3 | %                                  | kN/m3 |
| 9.6           | 20.3  | 9.6                                | 20.0  | 9.5                                | 19.7  | 9.4                                | 19.4  |

*Nota:* Resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Obtenidos los resultados de contenido de humedad óptimo y pesos unitarios máximos, se continuo con los ensayos de CBR

**Tabla 27**

*Ensayos de CBR de la mezcla de suelo + % Fibra de Ichu*

| Items                        | Und | Suelo natural |     |     | Suelo natural +<br>0.3 % fibra<br>ichu |     |     | Suelo natural +<br>0.5 % fibra<br>ichu |     |     | Suelo natural +<br>0.7 % fibra<br>ichu |     |     |     |
|------------------------------|-----|---------------|-----|-----|----------------------------------------|-----|-----|----------------------------------------|-----|-----|----------------------------------------|-----|-----|-----|
|                              |     | Golpes        | 12  | 26  | 55                                     | 12  | 26  | 55                                     | 12  | 26  | 55                                     | 12  | 26  | 55  |
| Expansión                    | %   |               | 0.6 | 0.7 | 0.8                                    | 0.2 | 0.2 | 0.1                                    | 0.1 | 0.2 | 0.2                                    | 0.2 | 0.4 | 0.3 |
| Compactación                 | %   |               | 90  | 94  | 100                                    | 92  | 97  | 100                                    | 91  | 97  | 100                                    | 92  | 98  | 100 |
| % CBR<br>corregido a<br>0.1" | %   |               | 74  |     |                                        | 69  |     |                                        | 60  |     |                                        | 56  |     |     |
| % CBR<br>corregido a<br>0.2" | %   |               | 82  |     |                                        | 80  |     |                                        | 69  |     |                                        | 65  |     |     |

*Nota:* Resultados obtenidos de los ensayos de CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

## 6.2. Ceniza de ichu

- Se recopiló una gran cantidad de paja de Ichu, para lograr obtener la suma necesaria de ceniza para los ensayos.

**Figura 23**

*Recopilación de la paja de ichu*



*Nota:* Acopio de la paja de ichu. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- La ceniza de Ichu, se obtuvo mediante un proceso de calcinación de la paja de ichu, lo que se busca con la calcinación no es fundir la paja, sino modificarla química y físicamente para obtener las cualidades requeridas para la aplicación experimental.

**Figura 24**

*Ceniza de Ichu*



*Nota:* Obtención de la ceniza de ichu, mediante el proceso de calcinación. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- El proceso de calcinación se realizó en un espacio abierto, dentro de depósitos de metal.
- Para efectos de la presente tesis, se procedió a tamizar la ceniza obtenida para conseguir un producto más homogéneo y libre de impurezas o agregados adicionales, para ello se empleó de la malla N°60.

**Figura 25**  
*Tamizado de la Ceniza de ichu*



*Nota:* Proceso de tamizado de la Ceniza obtenida para ser empleada en los ensayos de Proctor modificado y CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Debido a la densidad que presentan las cenizas, la cual es menor que la densidad que el agua, para efectos de la presente tesis no se determinó el porcentaje de absorción de la ceniza.
- Para el desarrollo experimental se consideró iniciar con los siguientes porcentajes de fibra de Ichu 1%, 3%, 5%. Dependiendo los resultados se incrementaría el porcentaje de ser necesario.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado realizado con los porcentajes de ceniza de ichu propuestos.

**Tabla 28**  
*Ensayos de Proctor Modificado de la mezcla de suelo + % Ceniza de Ichu*

| Suelo Natural |       | Suelo Natural +1% Ceniza de Ichu |       | Suelo Natural + 3% Ceniza de Ichu |       | Suelo Natural + 5% Ceniza de Ichu |       |
|---------------|-------|----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| %w            | Yd    | %w                               | Yd    | %w                                | Yd    | %w                                | Yd    |
| %             | kN/m3 | %                                | kN/m3 | %                                 | kN/m3 | %                                 | kN/m3 |
| 9.6           | 20.3  | 9.3                              | 19.8  | 10.7                              | 19.1  | 13.2                              | 18.3  |

*Nota:* Resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Obtenidos los resultados de contenido de humedad óptimo y pesos unitarios máximos, se continuo con los ensayos de CBR.

**Tabla 29**

*Ensayos de CBR de la mezcla de suelo + % Ceniza de Ichu*

| Ítems                  | Und | Suelo Natural |     |      | Suelo Natural + 1 % Ceniza Ichu |     |      | Suelo Natural + 3 % Ceniza Ichu |     |      | Suelo Natural + 5 % Ceniza Ichu |     |      |
|------------------------|-----|---------------|-----|------|---------------------------------|-----|------|---------------------------------|-----|------|---------------------------------|-----|------|
|                        |     | Golpes        |     |      |                                 |     |      |                                 |     |      |                                 |     |      |
|                        |     | 12            | 26  | 55   | 12                              | 26  | 55   | 12                              | 26  | 55   | 12                              | 26  | 55   |
| Expansión              | %   | 0.6           | 0.7 | 0.7  | 0.4                             | 0.4 | 0.5  | 0.4                             | 0.4 | 0.3  | 0.2                             | 0.3 | 0.3  |
| Compactación           | %   | 90.           | 94. | 100. | 90.                             | 96. | 100. | 88.                             | 94. | 100. | 91.                             | 96. | 100. |
| % CBR                  |     | 0             | 0   | 0    | 0                               | 0   | 0    | 0                               | 0   | 0    | 0                               | 0   | 0    |
| % CBR corregido a 0.1" | %   | 74.00         |     |      | 99.00                           |     |      | 104.00                          |     |      | 78.00                           |     |      |
| % CBR corregido a 0.2" | %   | 82.00         |     |      | 108.00                          |     |      | 115.00                          |     |      | 87.00                           |     |      |

*Nota:* Resultados obtenidos de los ensayos de CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Con los resultados obtenidos no se podía determinar el mayor porcentaje de CBR, por lo que se realizó ensayos con 2 y 4% de ceniza de Ichu.

**Tabla 30**

*Ensayo de Proctor Modificado de la mezcla de suelo +2% y 4 % Ceniza de Ichu*

| Suelo Natural |       | Suelo Natural +2% Ceniza de Ichu |       | Suelo Natural + 4% Ceniza de Ichu |       |
|---------------|-------|----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| %w            | Yd    | %w                               | Yd    | %w                                | Yd    |
| %             | kN/m3 | %                                | kN/m3 | %                                 | kN/m3 |
| 9.6           | 20.3  | 10.3                             | 19.5  | 11.5                              | 18.7  |

*Nota:* Resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Obtenidos los resultados de contenido de humedad óptimo y pesos unitarios máximos, se continuo con los ensayos de CBR.

**Tabla 31***Ensayos de CBR de la mezcla de suelo + 2% y 4% Ceniza de Ichu*

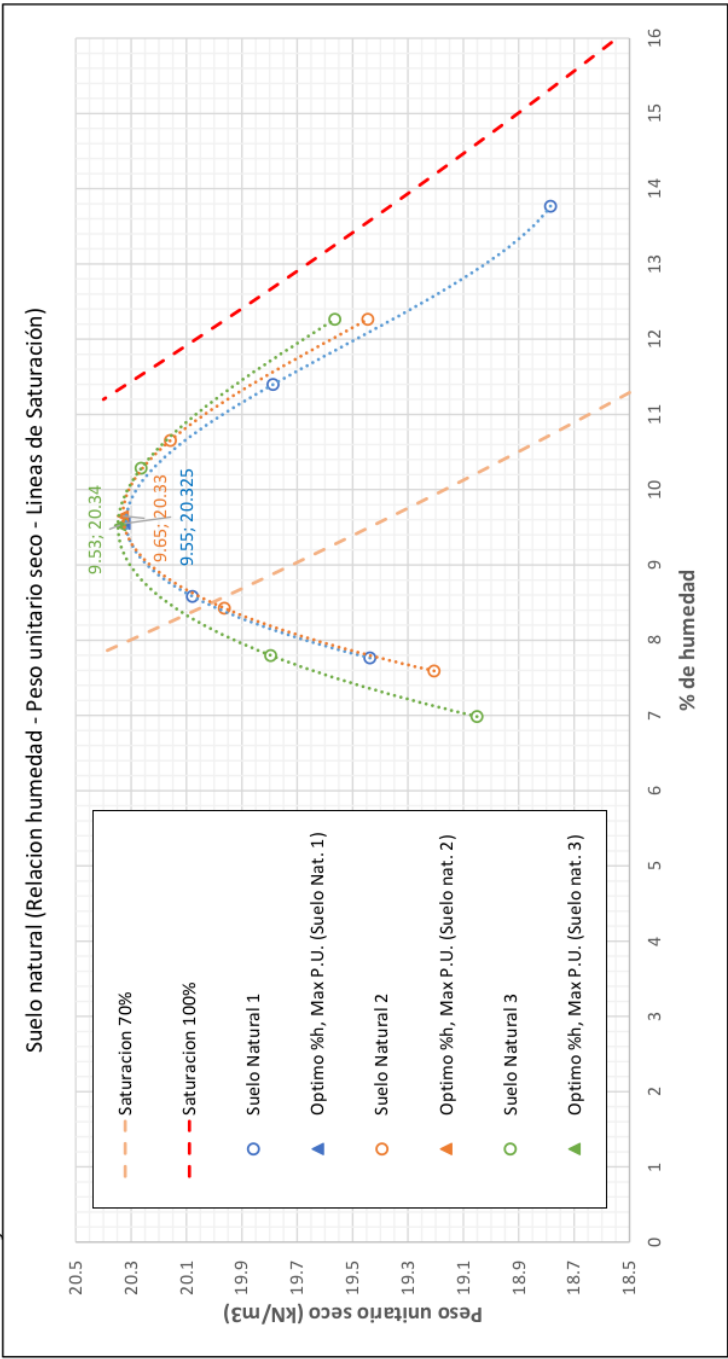
| Ítems                     | Und    | Suelo natural |      |       | Suelo natural + 2<br>% ceniza ichu |      |       | Suelo natural + 4<br>% ceniza ichu |      |       |
|---------------------------|--------|---------------|------|-------|------------------------------------|------|-------|------------------------------------|------|-------|
|                           | Golpes | 12 G          | 26 G | 55 G  | 12 G                               | 26 G | 55 G  | 12 G                               | 26 G | 55 G  |
| Expansión                 | %      | 0.6           | 0.7  | 0.7   | 0.4                                | 0.6  | 0.6   | 0.3                                | 0.3  | 0.3   |
| Compactación              | %      | 90.0          | 94.0 | 100.0 | 89.0                               | 94.0 | 100.0 | 89.0                               | 95.0 | 100.0 |
| % CBR corregido<br>a 0.1" | %      | 74.00         |      |       | 103.00                             |      |       | 85.00                              |      |       |
| % CBR corregido<br>a 0.2" | %      | 82.00         |      |       | 114.00                             |      |       | 98.00                              |      |       |

*Nota:* Resultados obtenidos de los ensayos de CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

CAPITULO 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Suelo Natural

Figura 26  
Ensayo de Proctor Modificado del suelo natural



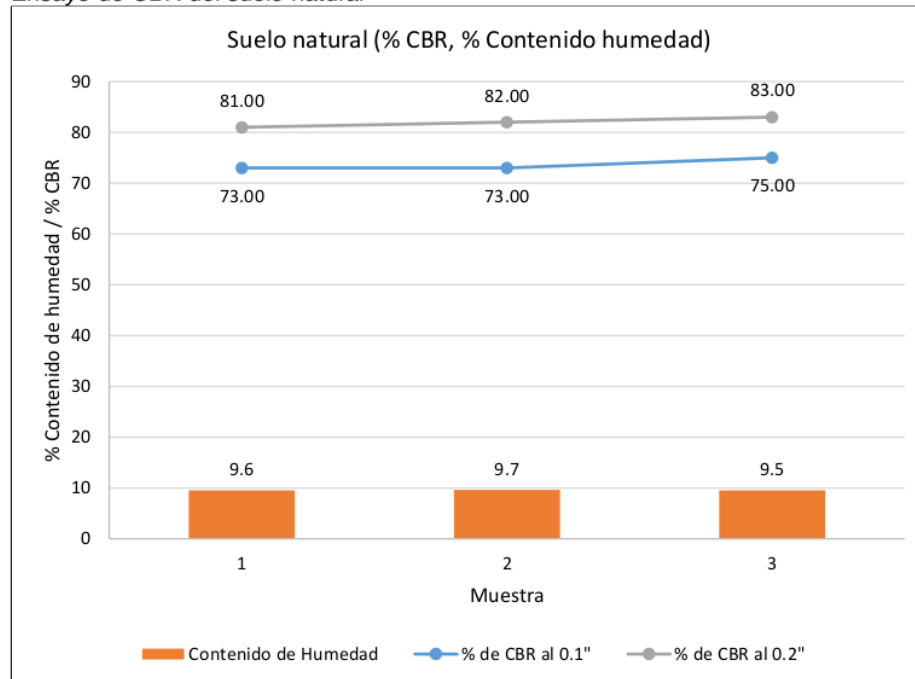
Nota: Comparativo de graficas obtenidas de los 03 ensayos de Proctor modificado realizados. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

De las gráficas de Proctor modificado se puede determinar lo siguiente:

- Las curvas se encuentran al lado izquierdo de la línea del 100% de saturación del suelo, lo que determina un correcto ensayo.
- La concavidad de las curvas concuerda con la descripción del suelo, considerado como una arena mal graduada con presencia de limos.
- Se obtuvo un porcentaje óptimo de humedad de 9.6%
- Se obtuvo un peso unitario seco máximo de 20.33 kN/m<sup>3</sup>

**Figura 27**

*Ensayo de CBR del suelo natural*



*Nota:* Resultados obtenidos de los ensayos de CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

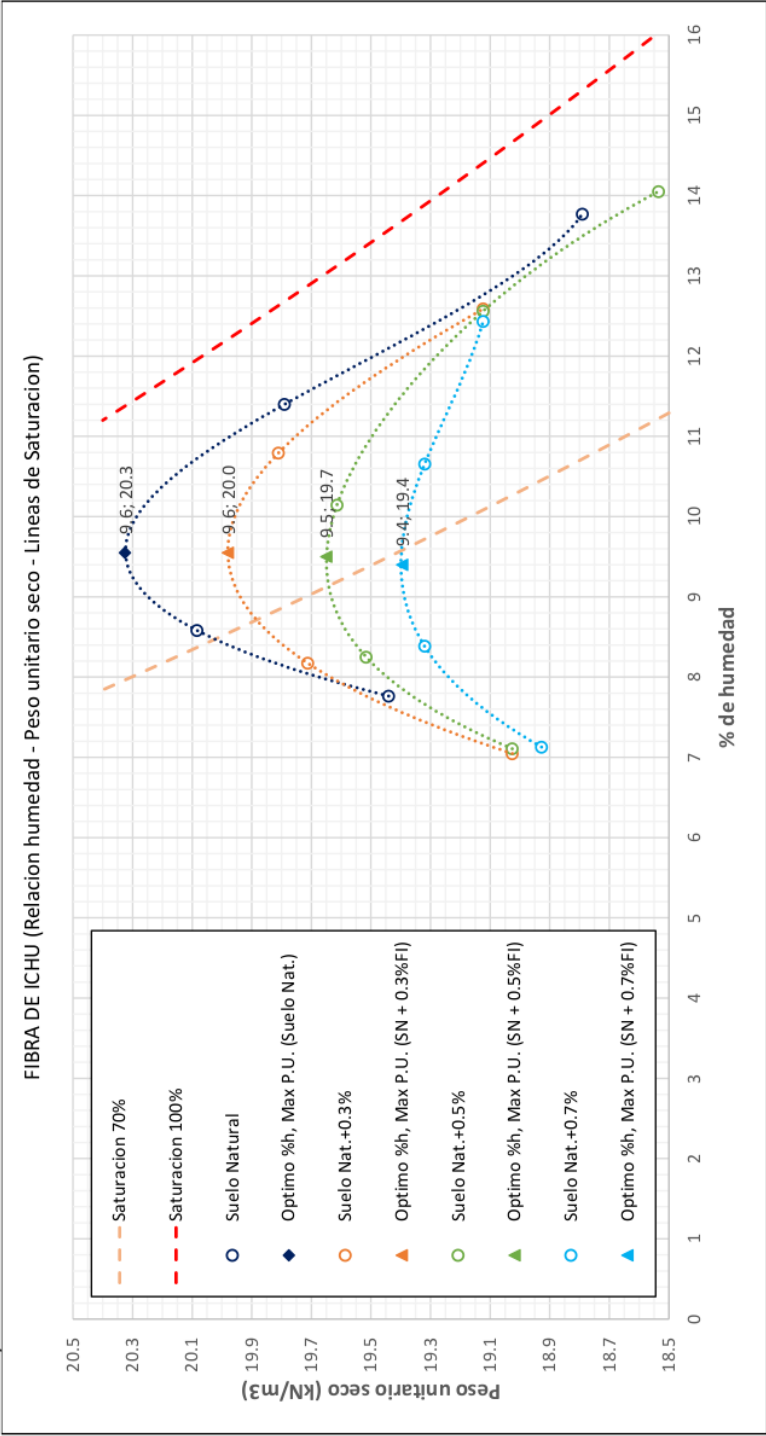
De los ensayos de CBR se puede determinar lo siguiente:

- El suelo ensayado presenta un porcentaje de expansión de 0.7% lo que significa que es un suelo con bajo porcentaje de expansión, por lo que se puede considerar como un suelo limpio de buena calidad.
- Al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1" (2,5 mm) se obtuvo un porcentaje promedio de CBR del 74%

7.2. Fibra de Ichu

Figura 28

Comparativo de curvas de Proctor modificado del diseño de suelo natural + %fibra



Nota: Se comparó la curva obtenida del suelo natural y las curvas obtenidas de los tres porcentajes de fibra de ichu propuestos. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

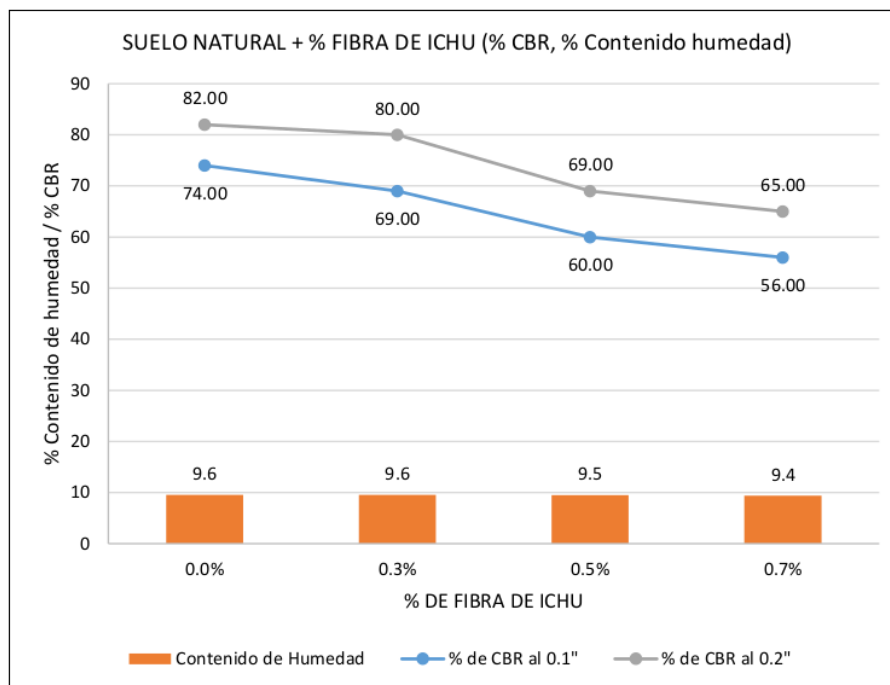


De las gráficas de Proctor modificado se puede determinar lo siguiente:

- Las curvas se encuentran al lado izquierdo de la línea del 100% de saturación del suelo, lo que determina un correcto ensayo.
- A mayor porcentaje de fibra de ichu, disminuye proporcionalmente el valor del peso unitario seco máximo.
- A mayor porcentaje de fibra de ichu, disminuye mínimamente el porcentaje de contenido de humedad.
- A mayor porcentaje de fibra de ichu, la concavidad de las curvas se aplanan considerablemente.

**Figura 29**

*Gráfico comparativo de %CBR del diseño de mezcla de suelo natural + % fibra de ichu*



*Nota:* Resultados obtenidos de los ensayos de CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

De los ensayos de CBR se puede determinar lo siguiente:

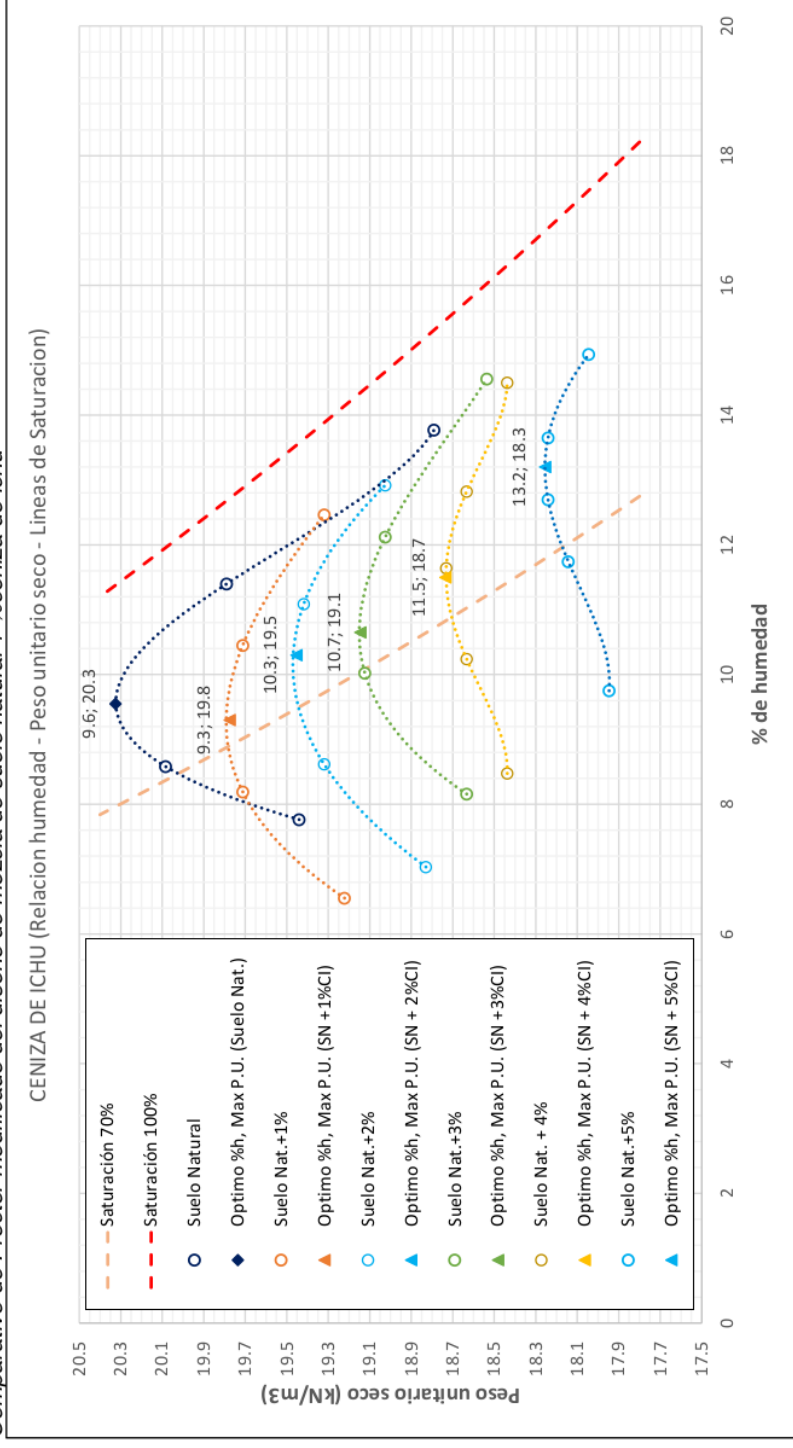
- El diseño de mezcla del suelo natural + el 0.3% de fibra de ichu presenta un porcentaje promedio de expansión de 0.2% pero se observó que a mayor porcentaje de fibra de ichu, esta expansión incrementa. lo que puede significar que un menor porcentaje de fibra de ichu reduciría el porcentaje de expansión en comparación a la obtenida en el suelo natural.

- De la gráfica se puede concluir que los resultados obtenidos de los ensayos de mezcla de suelo natural + % de fibra de ichu, no incrementa la capacidad de resistencia del afirmado, a medida que se incrementa la dosificación de % de fibra, el % de CBR disminuye.

### 7.3. Ceniza de Ichu

**Figura 30**

*Comparativo de Proctor modificado del diseño de mezcla de suelo natural + %ceniza de ichu*



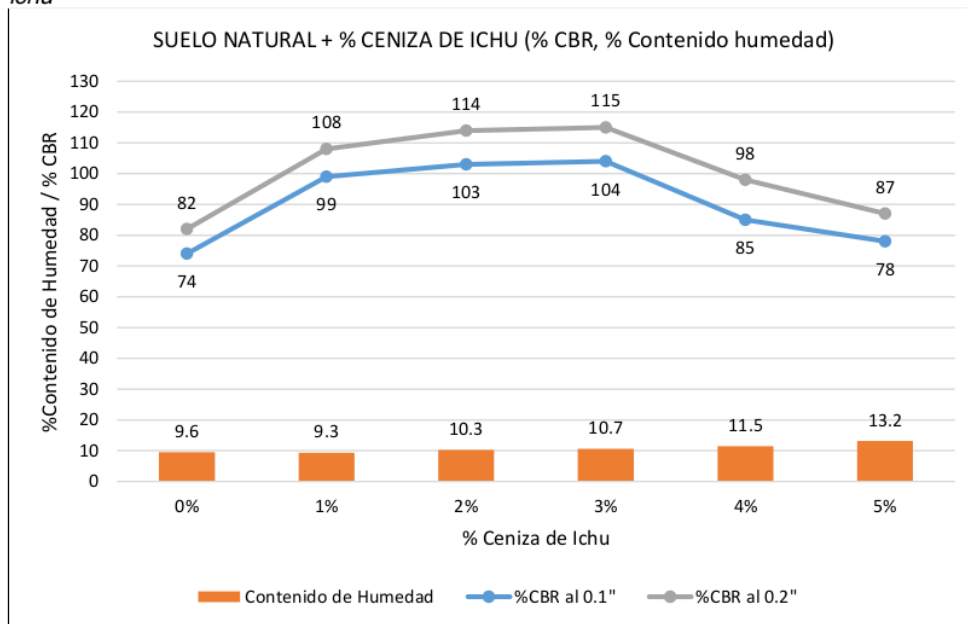
Nota: Resultados obtenidos de los ensayos de CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

De las gráficas de Proctor modificado se puede determinar lo siguiente:

- Las curvas se encuentran al lado izquierdo de la línea del 100% de saturación del suelo, lo que determina un correcto ensayo.
- A mayor porcentaje de ceniza de ichu, disminuye proporcionalmente el valor del peso unitario seco máximo.
- A mayor porcentaje de ceniza de ichu, incrementa cuantiosamente el porcentaje de contenido de humedad.
- A mayor porcentaje de ceniza de ichu, la concavidad de las curvas se aplanan considerablemente.

**Figura 31**

*Gráfico comparativo de %CBR del diseño de mezcla de suelo natural + % ceniza de ichu*



*Nota:* Resultados obtenidos de los ensayos de CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

De los ensayos de CBR se puede determinar lo siguiente:

- A mayor porcentaje de ceniza de ichu disminuye el porcentaje de expansión de las muestras, en comparación al porcentaje de expansión obtenido en el suelo natural.
- De la gráfica se puede concluir que los resultados obtenidos de los ensayos de mezcla de suelo natural + el 3% de ceniza de ichu (pasante la malla N°60) incrementa la capacidad de resistencia del afirmado en

un 30% más, pero a medida que se incrementa la dosificación de % de ceniza, el % de CBR vuelve a disminuir.

#### **7.4. Fibra y Ceniza de Ichu**

- De los resultados obtenidos de ambos diseños de mezcla se puede concluir que la adición de fibra de ichu no genera un cambio sustancial a favor de la resistencia del suelo (CBR), por el contrario, reduce su valor.
- Mientras que la adición de ceniza, incrementa hasta en un 30% su porcentaje de CBR, cuando se emplea un 3% de ceniza, pero a medida que se incrementa la adición de ceniza, el porcentaje de CBR empieza a decrecer.
- Se determinó así, que no sería necesario realizar los ensayos del diseño de mezclas de fibra y ceniza de ichu, puesto que la fibra no aporta ningún valor al diseño.

#### **7.5. Estabilidad estructural del Ichu**

##### **7.5.1. Estabilidad estructural de la fibra de Ichu**

Según los resultados obtenidos, se descarta el uso de la fibra de ichu como aditivo para la estabilización de suelos, debido a que su aporte es despreciable, por lo que, para el caso de la presente investigación, no será necesario determinar su durabilidad a lo largo del tiempo.

##### **7.5.2. Estabilidad estructural de la ceniza de ichu**

Para el caso de la ceniza de Ichu, aditivo que genera un aporte sustancial en la estabilización del suelo, se deduce su durabilidad en base a su composición química y semejanza a la estructura de la ceniza de cascara de arroz, la cual fue motivo de investigación, según el artículo publicado en la revista Ingeniería de Construcción (Behak & Peres Nuñez, 2008), donde se desarrolla la **mezcla de un suelo arenoso con ceniza de cascara de arroz y cal**, el objetivo fue estudiar las **propiedades físicas y mecánicas de las mezclas**, procurando encontrar **una solución económica para mejorar los pavimentos de bajo volumen de tránsito**, compartiendo el mismo propósito con el que se proyectó la presente investigación.

El suelo que se empleó en la investigación se clasificó según SUCS como una Arena bien graduada con limo y grava (SW-SM), siendo la misma clasificación del suelo empleado en la presente investigación.

Para el análisis de mejora de las propiedades del suelo estabilizado con CCA (Ceniza de Cascara de Arroz) y Cal, se realizaron ensayos de compactación (según norma AASHTO T99-86), ensayo de CBR (según norma AASHTO T193-81), ensayo de resistencia a la compresión confinada (según norma AASHTO T208-70), ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral (según método DNER-ME 138/94) y ensayo de durabilidad (según método propuesto por Hoover et al. 1958). Además del suelo natural se consideraron 03 mezclas: suelo + 15% de CCA + 5% de Cal, suelo + 20% de CCA + 5% de Cal y suelo + 20% de CCA + 10% de Cal. Las probetas fueron moldeadas en triplicado, inmediatamente después de realizarse la mezcla del suelo con la CCA, la cal y el agua. Las probetas de suelos fueron compactadas a las condiciones óptimas del ensayo de Proctor. Las mezclas se dejaron curar para permitir las reacciones alcalinas, variando el tiempo de curado según el ensayo.

Para evaluar el efecto del medio ambiente sobre las mezclas de suelo con CCA y Cal, se realizó el ensayo de durabilidad, el cual consistió en someter las probetas a ciclos de humedecimiento y secado, cada ciclo comprendió un periodo de 48 horas, siendo 24 horas de inmersión en agua y 24 horas de secado al aire. Otras probetas de cada mezcla permanecieron almacenadas en cámara húmeda durante los 12 ciclos. Finalmente, las probetas sometidas y no sometidas a los ciclos fueron ensayadas a la RCI (Resistencia a la compresión confinada). Un material se considera durable frente a la acción del humedecimiento y secado cuando la resistencia de las probetas sometidas a ciclos respecto a la resistencia de las probetas no sometida a ciclos es al menos del 80% el Cociente de resistencia (Cr).

**Tabla 32***Cociente de resistencia (Cr) para diferentes mezclas de suelo con CCA y Cal*

| Contenidos de<br>(%CCA+%Cal) | RCI (kPA) |            | Cr (%) |
|------------------------------|-----------|------------|--------|
|                              | Sin Ciclo | Con Ciclos |        |
| 15 + 5                       | 210       | 134        | 64     |
| 20 + 5                       | 197       | 141        | 72     |
| 20 +10                       | 364       | 279        | 77     |

*Nota.* Resultado de los ensayos de RCI y Durabilidad. Adaptado de "Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación", Behak & Peres Nuñez (2008).

De los ensayos realizados, se observa un aumento de Cr a medida que se aumentaba el contenido de CCA y de cal. Además, el RCI de la mezcla de suelo + 20% de CCA + 10% de Cal, sometida a ciclos, es mayor al RCI de las otras dos mezclas que no fueron sometidas a ciclos. Asimismo, la durabilidad aun siendo inferior al 80% puede ser considerable aceptable para la mezcla de suelos con CCA y cal, si se piensa en la utilización de estos materiales en pavimentos de bajo volumen de tránsito o cimentaciones.

Se debe tener en cuenta que las CCA (Cenizas de Cascara de Arroz) como la Ceniza de Ichu, pertenecen al conjunto de cenizas volantes, provenientes de la calcinación de materias naturales.

Además, la composición química de la CCA es de similar composición química que la Ceniza de Ichu, como se puede observar en la siguiente tabla, por lo que se puede interpretar que, la ceniza de ichu, por su composición química y el tipo de suelo empleado en la investigación citada (SW-SM) presentaría una durabilidad aceptable para ser empleada en la estabilización de suelos.

**Tabla 33***Comparación de la composición química de la CCA y la Ceniza de Ichu*

| Composición química                                    | Resultados (%) |             |
|--------------------------------------------------------|----------------|-------------|
|                                                        | CCA            | Ceniza Ichu |
| Dióxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )                 | 40.65          | 59.21       |
| Oxido de Calcio (CaO)                                  | 24.33          | 3.51        |
| Trióxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 10.06          | 16.78       |
| Trióxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )   | 6.13           | 4.57        |
| Oxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)                    | 3.07           | 12.89       |
| Oxido de Magnesio (MnO)                                | 2.21           | 0.37        |
| Pentóxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  | 1.55           | 2.07        |
| Oxido de Cobre (CuO)                                   | 0.42           | 0.03        |
| Trióxido de Azufre (SO <sub>3</sub> )                  | 0.09           | 0.23        |
| Oxido de Zinc (ZnO)                                    | 0.06           | 0.04        |

*Nota.* Aquí se observan el alto contenido de Silicio y Aluminio al igual que la composición química de la Ceniza de Ichu. Adaptado de "Evaluación de la resistencia a compresión del concreto  $f'c=210$  kg/m<sup>2</sup> adicionado con ceniza de cascarilla de arroz, por Bautista Mendoza (2015).

#### 7.6. Aplicación del diseño para Obra

- Para poder aplicar este diseño en campo, es necesario poder ensayar las muestras con el tamaño de mallas que se emplean en obra, por lo que se empleó la malla N°4 para tamizar la ceniza obtenida y ensayar junto al suelo natural.
- Conociendo de los resultados del diseño de mezcla de suelo natural + ceniza (pasante malla N°60), donde se obtiene el mayor valor de CBR adicionado un 3% de ceniza, se procedió a realizar el ensayo agregando el mismo porcentaje de ceniza.

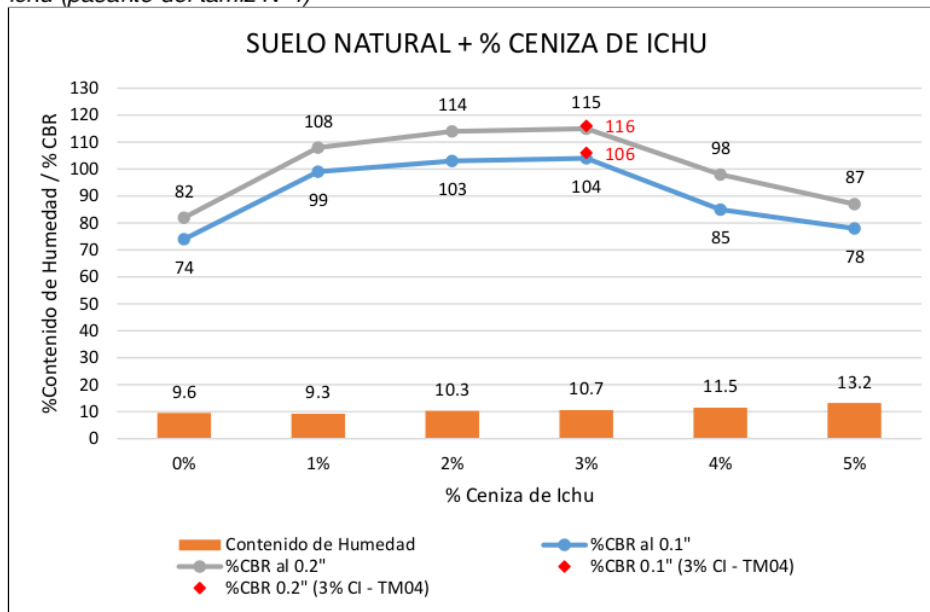
**Figura 32***Ceniza tamizada en malla N°4*

*Nota:* Tamizado de ceniza por malla N°4. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.



**Figura 33**

*Gráfico comparativo de %CBR del diseño de mezcla de suelo natural + 3% ceniza de ichu (pasante del tamiz N°4)*



*Nota:* Resultados obtenidos de los ensayos de CBR. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Se puede concluir que los resultados obtenidos de los ensayos de mezcla de suelo natural + el 3% de ceniza de ichu (pasante las mallas N°60 y N°04) son semejantes y mejora la capacidad de resistencia del suelo natural calificado como afirmado en un 30% más.

#### **7.7. Análisis económico**

- Primero: Para determinar la cantidad de ceniza de ichu por m3 de material de afirmado, se calculó primero el peso de suelo por m3, el cual se obtiene con la densidad seca, una vez obtenido el peso por m3, se calcula el porcentaje de ceniza, tomando en cuenta que a un 3% de ceniza se obtiene el mayor porcentaje de CBR, se calcula el 3% del peso del suelo por m3, obteniendo así el peso necesario de ceniza por m3. De igual forma se calcula el volumen de agua por m3, empleando el porcentaje de contenido de humedad obtenido del ensayo de Proctor modificado.

**Tabla 34***Calculo del peso de la Ceniza y Agua por m3*

| Material               | Cantidad | Und   |
|------------------------|----------|-------|
| Densidad suelo         | 19.10    | KN/m3 |
| Suelo                  | 1,947.66 | Kg/m3 |
| % de ceniza optimo     | 3.00     | %     |
| Ceniza                 | 58.43    | Kg/m3 |
| % Contenido de humedad | 10.7     | %     |
| Agua                   | 208.40   | Kg/m3 |
|                        | 0.21     | m3    |

*Nota:* APU Ceniza de ichu. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Segundo: Obtenido el peso de la ceniza y agua por m3, se procede a detallar el análisis de Precios Unitarios de cada partida y subpartida que se emplea para la colocación de material en una vía afirmada.

**Figura 34***Análisis del Precio unitario de la ceniza de ichu*

| <b>CENIZA DE ICHU</b>         |               |                  |                                |                   |                    |
|-------------------------------|---------------|------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|
| Rendimiento                   | <b>KG/DIA</b> | <b>55.00</b>     | Costo unitario directo por: kg |                   | <b>S/ 25.55</b>    |
| <b>Descripción Recurso</b>    | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>                | <b>Precio S/.</b> | <b>Parcial S/.</b> |
| <b>Mano de Obra</b>           |               |                  |                                |                   |                    |
| PEON                          | hh            | 2.0000           | 0.2909                         | 17.01             | S/ 4.95            |
| <b>Equipos</b>                |               |                  |                                |                   |                    |
| HERRAMIENTAS MANUALES         | %mo           |                  | 3.0000                         | 4.95              | S/ 0.15            |
| <b>Sub partida</b>            |               |                  |                                |                   |                    |
| EXTRACCION DE LA PAJA DE ICHU | m2            |                  | 12.8154                        | 1.60              | S/ 20.46           |

| <b>EXTRACCION DE LA PAJA DE ICHU</b> |               |                  |                                |                   |                    |
|--------------------------------------|---------------|------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|
| Rendimiento                          | <b>M2/DIA</b> | <b>168.00</b>    | Costo unitario directo por: m2 |                   | <b>S/ 1.60</b>     |
| <b>Descripción Recurso</b>           | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>                | <b>Precio S/.</b> | <b>Parcial S/.</b> |
| <b>Mano de Obra</b>                  |               |                  |                                |                   |                    |
| PEON                                 | hh            | 1.0000           | 0.0476                         | 17.01             | S/ 0.81            |
| <b>Equipos</b>                       |               |                  |                                |                   |                    |
| HERRAMIENTAS MANUALES                | %mo           |                  | 3.0000                         | 0.81              | S/ 0.02            |
| CAMION BARANDA 8TON                  | hm            | 0.2000           | 0.0095                         | 80.00             | S/ 0.76            |

*Nota:* APU Ceniza de ichu. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

**Figura 35**

*Análisis del Precio unitario del material de cantera para afirmado con ceniza de ichu*

| <b>MATERIAL GRANULAR DE CANTERA PARA AFIRMADO E=0.15 M</b> |               |            |               |                  |                                   |                   |                    |
|------------------------------------------------------------|---------------|------------|---------------|------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------|
| Rendimiento                                                | <b>m3/DIA</b> | <b>340</b> | EQ.           | <b>340</b>       | Costo unitario<br>directo por: m3 | <b>S/</b>         | <b>1,522.96</b>    |
| <b>Descripción Recurso</b>                                 |               |            | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>                   | <b>Precio S/.</b> | <b>Parcial S/.</b> |
| <b>Mano de Obra</b>                                        |               |            |               |                  |                                   |                   |                    |
| CAPATAZ                                                    |               |            | hh            | 0.1000           | 0.0024                            | 25.7 S/           | 0.06               |
| OFICIAL                                                    |               |            | hh            | 1.0000           | 0.0235                            | 18.84 S/          | 0.44               |
| PEON                                                       |               |            | hh            | 6.0000           | 0.1412                            | 17.01 S/          | 2.40               |
| OPERADOR DE EQUIPO PESADO                                  |               |            | hh            | 2.0000           | 0.0471                            | 24.79 S/          | 1.17               |
| OPERADOR DE EQUIPO MEDIANO                                 |               |            | hh            | 1.0000           | 0.0235                            | 24.57 S/          | 0.58               |
|                                                            |               |            |               |                  |                                   | <b>S/</b>         | <b>4.65</b>        |
| <b>Materiales</b>                                          |               |            |               |                  |                                   |                   |                    |
| PETROLEO D-2                                               |               |            | gal           |                  | 0.2200                            | 12.9 S/           | 2.84               |
| ADITIVO CENIZA ICHU                                        |               |            | kg            |                  | 58.4297                           | 25.55 S/          | 1,493.05           |
|                                                            |               |            |               |                  |                                   | <b>S/</b>         | <b>1,495.88</b>    |
| <b>Equipos</b>                                             |               |            |               |                  |                                   |                   |                    |
| HERRAMIENTAS MANUALES                                      |               |            | %mo           |                  | 2.7000                            | 4.65 S/           | 0.13               |
| RODILLO LISO VIBRATORIO<br>AUTOPROPULSADO 7- 9 ton         |               |            | hm            | 1.0000           | 0.0235                            | 170 S/            | 4.00               |
| MOTONIVELADORA DE 125 HP                                   |               |            | hm            | 1.0000           | 0.0235                            | 170 S/            | 4.00               |
| CAMION VOLQUETE DE 15 m3                                   |               |            | hm            | 1.0000           | 0.0235                            | 160 S/            | 3.76               |
|                                                            |               |            |               |                  |                                   | <b>S/</b>         | <b>11.89</b>       |
| <b>Subpartidas</b>                                         |               |            |               |                  |                                   |                   |                    |
| EXTRACCION DE MATERIAL<br>SELECCIONADO                     |               |            | m3            |                  | 1.3000                            | 6.44 S/           | 8.37               |
| AGUA                                                       |               |            | m3            |                  | 0.2084                            | 10.38 S/          | 2.16               |
|                                                            |               |            |               |                  |                                   | <b>S/</b>         | <b>10.54</b>       |

*Nota:* APU Material granular para afirmado. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

- Tercero: Se adjunta el precio unitario de material granular en condiciones naturales, sin la adición de la ceniza de ichu, para poder realizar un comparativo.

**Figura 36***Análisis del Precio unitario del material de cantera para afirmado*

| <b>MATERIAL GRANULAR DE CANTERA PARA AFIRMADO E=0.15 M</b> |               |                 |                  |                 |                                |                    |
|------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| Rendimiento                                                | <b>m3/DIA</b> | <b>340.0000</b> | EQ.              | <b>340.0000</b> | Costo unitario directo por: m3 | <b>S/. 30.03</b>   |
| <b>Descripción Recurso</b>                                 |               | <b>Unidad</b>   | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio S/.</b>              | <b>Parcial S/.</b> |
| <b>Mano de Obra</b>                                        |               |                 |                  |                 |                                |                    |
| CAPATAZ                                                    |               | hh              | 0.1000           | 0.0024          | 25.70                          | 0.06               |
| OFICIAL                                                    |               | hh              | 1.0000           | 0.0235          | 18.84                          | 0.44               |
| PEON                                                       |               | hh              | 6.0000           | 0.1412          | 17.01                          | 2.40               |
| OPERADOR DE EQUIPO PESADO                                  |               | hh              | 2.0000           | 0.0471          | 24.79                          | 1.17               |
| OPERADOR DE EQUIPO MEDIANO                                 |               | hh              | 1.0000           | 0.0235          | 24.57                          | 0.58               |
|                                                            |               |                 |                  |                 |                                | <b>4.65</b>        |
| <b>Materiales</b>                                          |               |                 |                  |                 |                                |                    |
| PETROLEO D-2                                               |               | gal             |                  | 0.2200          | 12.90                          | 2.84               |
|                                                            |               |                 |                  |                 |                                | <b>2.84</b>        |
| <b>Equipos</b>                                             |               |                 |                  |                 |                                |                    |
| HERRAMIENTAS MANUALES                                      |               | %mo             |                  | 2.7000          | 4.65                           | 0.13               |
| RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 7- 9 ton            |               | hm              | 1.0000           | 0.0235          | 170.00                         | 4.00               |
| MOTONIVELADORA DE 125 HP                                   |               | hm              | 1.0000           | 0.0235          | 170.00                         | 4.00               |
| CAMION VOLQUETE DE 15 m3                                   |               | hm              | 1.0000           | 0.0235          | 160.00                         | 3.76               |
|                                                            |               |                 |                  |                 |                                | <b>11.89</b>       |
| <b>Subpartidas</b>                                         |               |                 |                  |                 |                                |                    |
| EXTRACCION DE MATERIAL SELECCIONADO                        |               | m3              |                  | 1.3000          | 6.44                           | 8.37               |
| AGUA                                                       |               | m3              |                  | 0.2200          | 10.38                          | 2.28               |
|                                                            |               |                 |                  |                 |                                | <b>10.65</b>       |

*Nota:* APU Ceniza de ichu. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

Según lo calculado el costo unitario para la obtención de la ceniza de ichu es de S/ 25.55 soles por kilogramo, lo que incrementa considerablemente el costo del material para afirmado, puesto que, en comparación con el material sin adición de la ceniza de ichu, la diferencia es muy amplia, lo que hace inviable el uso de la ceniza como aditivo para la estabilización de suelos en el mantenimiento de vías de afirmado.

## 7.8. Impacto y Conservación Ambiental

Se debe tener en cuenta las consecuencias de la extracción de materias primas como la Paja de ichu en el medio ambiente, por lo que, en la presente investigación se hace mención al impacto que genera la extracción de la paja de ichu además de proponer alternativas para el manejo y conservación de la Stipa y tener presente su calendario fenológico.

a. Impacto Ambiental

La quema de pastizales de las tierras altas andinas, así como de otras especies como el carrizo, es común entre las poblaciones rurales. La razón es que la ceniza que se esparce al quemar el césped produce potasio (K), que ayuda a neutralizar y elevar el pH del suelo, permitiendo que las plantas absorban nutrientes y germinen más rápido, por lo que no sería un impacto considerable en el medio ambiente si la cantidad a extraer fuera de menor volumen.

Sin embargo, para la presente investigación se realizó el cálculo del volumen de la Paja de Ichu necesario para estabilizar 01 kilómetro de vía, del cual se obtuvo lo siguiente:

- De 1 m<sup>2</sup> de terreno se obtiene aproximadamente 0.907 kg de paja de ichu
- De 1 kg de paja de ichu se obtiene aproximadamente 0.086 kg de ceniza pre quemada de ichu
- Para estabilizar 1 m<sup>3</sup> de material de suelo se necesita de 58.43 kg de ceniza de ichu
- Para obtener 58.43 kg de ceniza de ichu, se necesita aproximadamente 679.42 kg de paja de ichu
- Para obtener 679.42 kg de paja, se necesita extraer la paja de ichu de un terreno de aproximadamente 748.80 m<sup>2</sup>
- Un 1km de vía de afirmado de 3m de ancho y 0.15m de espesor, equivale a 450 m<sup>3</sup> hipotéticamente.
- Para abastecer 1km de vía se necesitaría de 336 mil m<sup>2</sup>, lo que sería equivalente aproximadamente a 33 hectáreas de terreno y generaría un costo aproximado de 685 mil soles. Evidentemente el empleo de la ceniza de ichu para la estabilización de suelos en el mantenimiento de vías, no es factible y generaría un gran impacto ambiental por la deforestación del pasto natural.

b. Manejo de las Áreas de Pastos Naturales

Para realizar un correcto manejo de las áreas de pastos naturales se requiere de acciones previas de planificación. Para ello se debe determinar la soportabilidad y capacidad de carga.

- Primero: Se tiene que reconocer la zona y delimitar los sitios de pastizal.

- Segundo: Determinar el área de cada sitio de pastizales, delimitándolas por m<sup>2</sup> o por Ha.
- Tercero: Determinar el rendimiento de cada área de pastizal
- Cuarto: Determinar el consumo diario por animal, para hacer uso de las áreas libres que no afecten el consumo de los animales
- Quinto: Se calcular la soportabilidad, es decir el consumo por cierto número de animales de la zona.
- Sexto: Obtenida el área que se empleara para consumo animal, se puede hacer uso del área restante para ser empleada en construcción.

c. Calendario Fenológico

La fenología es una de las características más importantes del manejo y conservación de los pastizales. Determina las etapas de producción y reproducción de los pastizales y por tanto está directamente relacionado con el momento de uso para pastoreo o corte. También define el tiempo de recolección de semillas y los períodos de descanso necesarios para cada especie para que no se vea amenazada su presencia en el pastizal, para ello se debe tener presente su calendario fenológico, el mismo que se observa en la Figura 4 de la presente investigación.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó que, la ceniza de ichu genera un incremento de hasta un 30%, en la capacidad de soporte (CBR) del suelo natural, por lo que, se puede concluir a la ceniza de ichu como un agente estabilizante, mientras que la fibra de ichu, genero un decrecimiento en la capacidad de soporte (CBR), por lo cual, no se le puede considerar un estabilizante.
2. Se determino mediante los ensayos realizados a la muestra de suelo extraída del Tramo 5 (Yunta-Pataqueña), que es una Arena bien graduada con limo y grava (SW-SM) según la clasificación SUCS, además se obtuvo un peso unitario seco de 20.33 kN/m<sup>3</sup> y un porcentaje de contenido de humedad de 9.6%, alcanzando un %CBR del 74% al 100% de Máxima Densidad Seca a una Penetración de Carga de 0,1", por lo que, se concluye que si cumple con los parámetros requeridos por el Manual de carreteras y Especificaciones Técnicas, del MTC, para ser considerado un afirmado.
3. Se demostró que, considerando una adición del 5% de ceniza de ichu, se reduce el valor del peso unitario seco, hasta en un 10%, pero incrementa el porcentaje de contenido de humedad hasta en un 38%, mientras que, considerando una adición del 0.7% de fibra de ichu, se genera un decrecimiento del 4% en el valor de peso unitario seco y 3% en el porcentaje de contenido de humedad, por lo que se concluye, que a mayor adición de la ceniza de ichu, se reduce la masa (kg) por unidad de volumen (m<sup>3</sup>) del suelo.
4. Se comprobó que, a medida que se incrementa el porcentaje de la fibra de ichu al diseño, el porcentaje de capacidad de soporte (CBR) se reduce proporcionalmente, se demostró que al agregar el 0.7% de la fibra de ichu se obtuvo un %CBR del 56% al 100% de Máxima Densidad Seca a una Penetración de Carga de 0,1", por lo que, se concluye que la fibra de ichu no genera un aporte en el %CBR del suelo.
5. Se comprobó que, añadiendo porcentajes de 1, 2 y 3% de ceniza de ichu se logró incrementar considerablemente el porcentaje de capacidad de soporte (CBR) del suelo, obteniendo un %CBR de 104% al 100% de Máxima Densidad Seca a una Penetración de Carga de 0,1", pero a medida que se adicionaba mayor porcentaje de ceniza, el valor de CBR empieza a disminuir, por lo que se concluye que, a un 3% de ceniza de ichu se obtiene un mayor porcentaje de CBR, asimismo, se observó que, a mayor porcentaje de ceniza se adicione al suelo, se reduce de forma proporcional su porcentaje de expansión. Además, se podría concluir por la composición química de la ceniza de ichu, que admite una durabilidad aceptable al medio ambiente y puede ser empleada como agente estabilizador para mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

6. Se determino que, la fibra de ichu no incrementa la capacidad de soporte (CBR) del suelo en estudio, por lo cual, no fue necesario realizar el diseño con la adición de fibra y ceniza de ichu, asimismo, se concluyó mediante un análisis económico, que no es viable el uso de la ceniza de ichu como un agente estabilizador en el mantenimiento de vías, debido a su elevado costo por m<sup>3</sup>, además del impacto ambiental que generaría la extracción de la paja de ichu en la zona, para producir la demanda de ceniza, ya que, se necesitaría aproximadamente de 35 hectáreas de terreno de paja de ichu para cubrir 1 km de vía.



## RECOMENDACIONES

1. Según las investigaciones revisadas, a mayor temperatura de calcinación de la paja de ichu, se obtiene una mejor composición química de la ceniza, lo que lo convertiría en un mejor agente estabilizador y ello podría incrementar aún más la capacidad de soporte (CBR) del suelo, por lo que, se recomienda en una próxima investigación, calcinar la paja de ichu en depósitos u hornos industriales de temperatura controlada.
2. Se recomienda aplicar el diseño de pavimentos estabilizados con la ceniza de ichu en diferentes tipos de suelos que tengan una baja capacidad de soporte (CBR), para comprobar el rendimiento de la ceniza como agente estabilizador.
3. Debido a la reducción del peso unitario seco que se genera a medida que se incrementa el porcentaje de la ceniza de ichu, se recomienda en una próxima investigación, evaluar el porcentaje óptimo de ceniza junto a otro agente estabilizador de suelos y determinar su aporte al diseño.
4. Se recomienda evaluar la fibra de ichu en conjunto a un aditivo ya conocido, como por ejemplo las emulsiones asfálticas y evaluar su comportamiento, teniendo en cuenta que, la fibra redujo el porcentaje de expansión del suelo estudiado.
5. Se recomienda en una próxima investigación determinar la durabilidad de la ceniza de ichu en el tiempo, como agente estabilizador de suelos y su comportamiento cuando está expuesta a cambios bruscos de temperatura, como los que se presentan en las zonas altas del país.
6. Debido a la gran cantidad de ceniza que demanda estabilizar una vía, se recomienda aplicar el diseño de pavimentos estabilizados con la ceniza de ichu en la estabilización de cimentaciones, para una próxima investigación.

## REFERENCIAS

- Adrian, S. (2018). *Aplicación de micropavimento para la consevación de la carretera afirmada en el tramo Llata - Libertad, distrtio de LLata - Huánuco*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Alejandro, A. (2019). *Mejoramiento de subrasante en vías de tercer orden*. Pereira - Colombia: Universidad Libre Seccional Pereira.
- Aranda, C. (2018). *Resistencia a flexión en vigas de concreto al sustituir en un 5% el cemento por ceniza de ichu (Stipa Ichu)*. Huaraz, Perú: Universidad San Pedro.
- Araujo, C., & Vera, W. (2017). *Evaluación del comportamiento de la superficie de rodadura a nivel de afirmado estabilizado con Cloruro de Magnesio Hexahidratado (Ocoña - Piuca / Camana - Arequipa)*. Lima: Universidad San Martin de Porres.
- Atahuachi Layme, G. M., & Carcausto Quispeyayhua, Y. N. (2018). *Aislante Termoacustico a base de Stipa Ichu para atenuar el ruido y cambios drasticos de temperatura en viviendas de sectores en expansión urbana de la ciudad de Puno*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Atiquipa, O., & Rosalino, G. (2018). *Propuestas de parámetros de calidad del afirmado para carreteras no pavimentadas del Perú a fin de mejorar su servicialidad*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Bautista Mendoza, A. (2021). *Evaluación de la resistencia a compresión del concreto f'c 210 kg/cm2 adicionado con ceniza de cascarilla de arroz*. Chepén : Universidad Cesa Vallejo.
- Behak, L., & Peres Nuñez, W. (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Ingeniería de Construcción Vol. 23*, 34-41.
- Castro, A. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingenieria .
- Dania, E. (2019). *Determinación de espesores de pavimentos flexibles vial y aeropuertarios considerando en el análisis y restructuración de pesas de sobrecarga equivalente en ensayos de CBR para subrasante de suelos granulares en la ciudad de Arequipa*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.

- Fausto, M. (2018). *Fibra Sintética en vías a nivel de afirmado y su efecto en sus propiedades mecánicas, región Puno*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Huiza, M. (2019). *Mejoramiento de la Capacidad de soporte en vías de bajo volumen de tránsito mediante estabilización química. Carretera Puquio – Coracora, Ayacucho*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- <sup>3</sup> Instituto Nacional de Vías. (2007). *Método de Ensayo Normal para el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en Aplicaciones de Pavimentos a poca Profundidad, INV E-172-07*. Colombia.
- Jackeline, Q. (2018). *Mortero Asfáltico o Slurry Seal como tratamiento superficial para pavimentos de afirmado*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Lázaro, M., & Telles, L. (2018). *influencia del sistema Diamond Grid en el mejoramiento de la resistencia a la compresión en un pavimento en la ciudad de Trujillo*. Trujillo: Universidad Privada del Norte.
- Mario, D. I. (2018). *Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento Portland para el proyecto de conservación vial Puno Tacna tramo Tarata - Capazo - Mazocruz*. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2005). *Manual para el diseño de Caminos no Pavimentados de bajo volumen de tránsito*. Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción R.D.N° 22-2013-MTC/2014*. Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección suelos y pavimentos R.D.N° 10-2014 - MTC/2014*. Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Perú.
- <sup>3</sup> Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial - R.D.N°8 - 2014 - MTC/2014*. Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *Diagnóstico de la situación de las brechas de infraestructura o de acceso a servicios*. Perú.
- <sup>4</sup> Polinario, D. (2021). *Mejoramiento del suelo con clasificación SUCS GC-GM mediante la adición de ceniza volcánica en la ciudad de Arequipa*. Lima, Peru: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

- Roner, C. (2018). *Aplicación de Emulsión Asfáltica para estabilizar el afirmado de la carretera Bagua Grande - Buena Vista, Región Amazonas*. Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- Vicente, S. (2019). *Diseño de pavimento asfáltico del km 200+100 al km 205+100 de la vía nacional Velille - Espinar en el departamento de Cuzco*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Vidal Tarazona, P. (2019). *Resistencia de concreto con sustitución del cemento en 5%, 7.5% y 10% por la combinación de caniza de ichu y cascara de huevo*. Huaraz, Perú: Universidad San Pedro.
- Willmer, R. (2018). *Ensayo de Geelong modificado para la evaluación de erosión por lluvia a nivel de afirmado, tratado con cemento y cal y emulsión en la carretera departamental HV109*. Huancavelica: Universidad Continental.

# ANEXOS

## Anexo 1

Resultado de ensayos de laboratorio de la muestra de suelo

### 1. Análisis Granulométrico

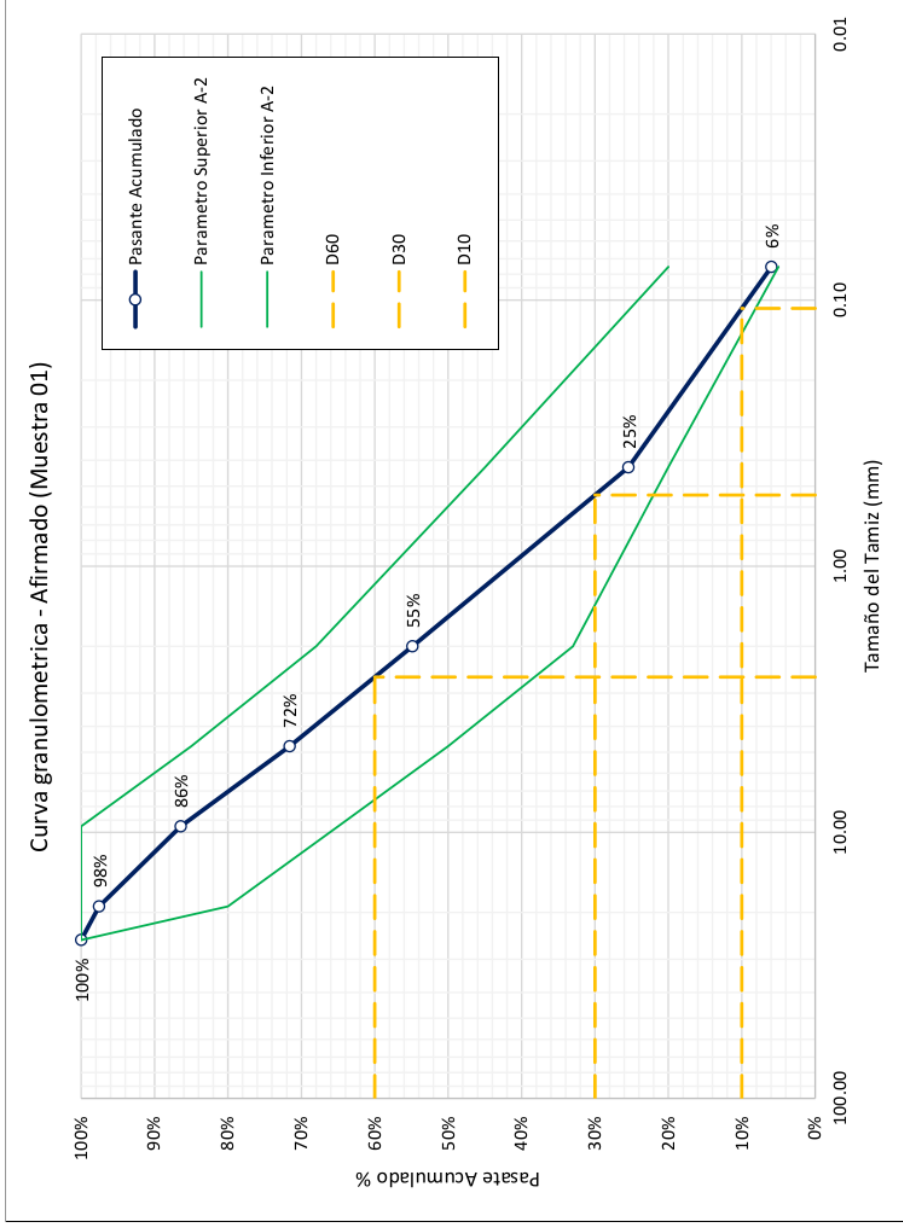
- Muestra 01

| Análisis granulométrico – afirmado (muestra 01) |                    |                   |                              |
|-------------------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|
| Masa total                                      | Retenido Tamiz N°4 | Pasante Tamiz N°4 | Masa usada Pasante Tamiz N°4 |
| g                                               | g                  | g                 | g                            |
| 18,327.00                                       | 5,208.42           | 13,118.59         | 501.80                       |

| Tamiz      | Diámetro | Masa Retenido | % Retenido | % Retenido Acumulado | % Pasante | % Gruesos y Finos |
|------------|----------|---------------|------------|----------------------|-----------|-------------------|
|            | mm       | g             | %          | %                    | %         | %                 |
| 1"         | 25.4     | 0             | 0.0%       | 0.0%                 | 100.0%    |                   |
| ¾"         | 19       | 449.1         | 2.5%       | 2.5%                 | 97.5%     |                   |
| 3/8"       | 9.5      | 2039.9        | 11.1%      | 13.6%                | 86.4%     | 28.0%             |
| N4         | 4.75     | 2719.4        | 14.8%      | 28.4%                | 71.6%     |                   |
| N10        | 2        | 3065.8        | 16.7%      | 45.1%                | 54.9%     |                   |
| N40        | 0.43     | 5390.3        | 29.4%      | 74.6%                | 25.4%     | 66.0%             |
| N200       | 0.08     | 3569.3        | 19.5%      | 94.0%                | 6.0%      |                   |
| Fondo      |          | 1093.2        | 6.0%       | 100.0%               | 0.0%      | 6.0%              |
| Masa total |          | 18327.0       | 100.0%     |                      |           |                   |

Parámetros de Calidad del Afirmado A-2 (EG-2013)

| Deciles | Diámetro Tamiz (mm) | Coeficiente de Curvatura | Coeficiente de Uniformidad |
|---------|---------------------|--------------------------|----------------------------|
| D10     | 0.11                |                          |                            |
| D30     | 0.54                | 1.04                     | 24.29                      |
| D60     | 2.61                |                          |                            |



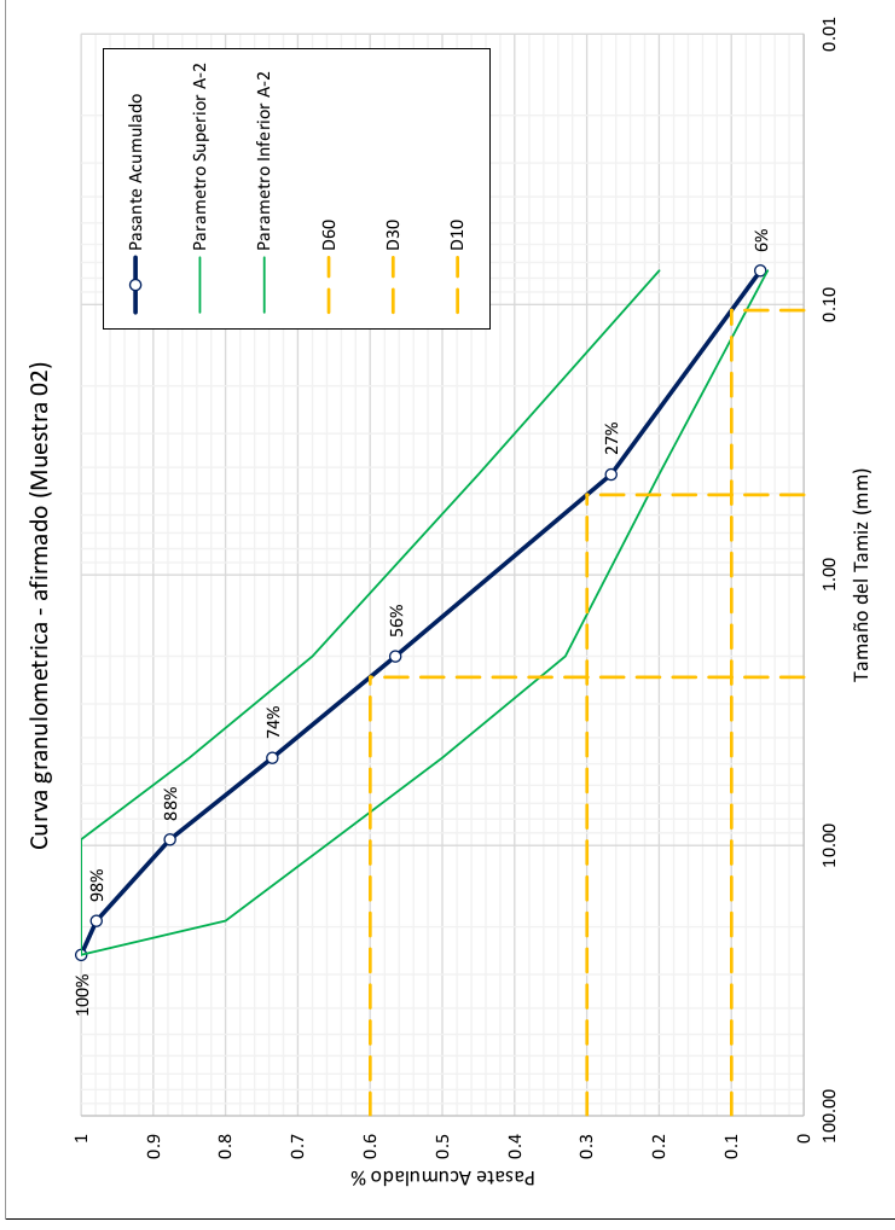
- Muestra 02

| Análisis granulométrico – afirmado (Muestra 02) |                    |                   |                              |
|-------------------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|
| Masa total                                      | Retenido Tamiz N°4 | Pasante Tamiz N°4 | Masa usada Pasante Tamiz N°4 |
| g                                               | g                  | g                 | g                            |
| 19,199.00                                       | 5080.4             | 14118.6           | 500.8                        |

| Tamiz      | Diámetro | Masa Retenido | % Retenido | % Retenido Acumulado | % Pasante | % Gruesos y Finos |
|------------|----------|---------------|------------|----------------------|-----------|-------------------|
|            | mm       | g             | %          | %                    | %         | %                 |
| 1"         | 25.4     | 0             | 0.0%       | 0.0%                 | 100.0%    |                   |
| ¾"         | 19       | 406.4         | 2.1%       | 2.1%                 | 97.9%     |                   |
| 3/8"       | 9.5      | 1954.5        | 10.2%      | 12.3%                | 87.7%     | 26.0%             |
| N4         | 4.75     | 2719.4        | 14.2%      | 26.5%                | 73.5%     |                   |
| N10        | 2        | 3272.3        | 17.0%      | 43.5%                | 56.5%     |                   |
| N40        | 0.43     | 5731.0        | 29.9%      | 73.4%                | 26.6%     | 68.0%             |
| N200       | 0.08     | 3967.5        | 20.7%      | 94.0%                | 6.0%      |                   |
| Fondo      |          | 1147.9        | 6.0%       | 100.0%               | 0.0%      | 6.0%              |
| Masa total |          | 19199.0       | 100.0%     |                      |           |                   |

Parámetros de Calidad del Afirmado A-2 (EG-2013)

| Deciles | Diámetro Tamiz (mm) | Coeficiente de Curvatura | Coeficiente de Uniformidad |
|---------|---------------------|--------------------------|----------------------------|
| D10     | 0.11                |                          |                            |
| D30     | 0.51                | 1.02                     | 22.73                      |
| D60     | 2.39                |                          |                            |





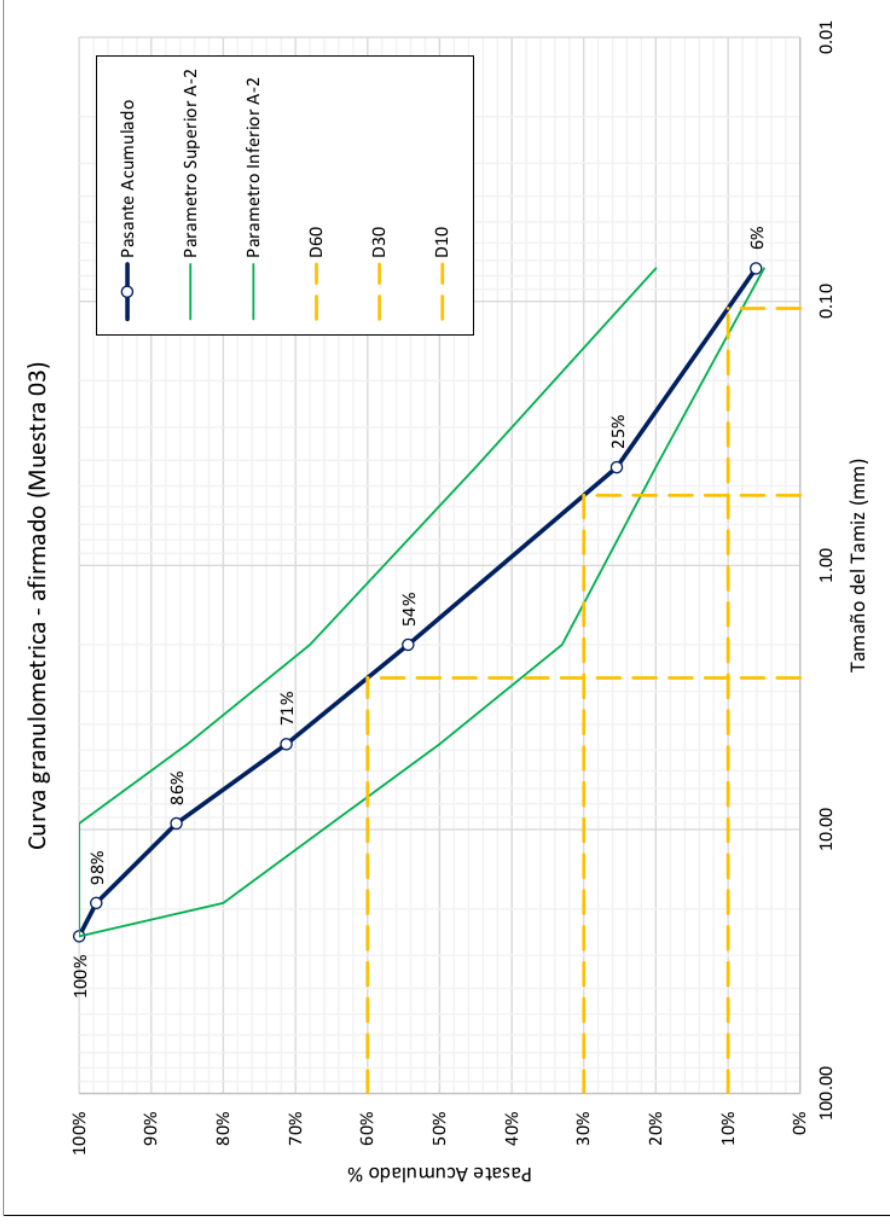
- Muestra 03

| Análisis granulométrico – afirmado (Muestra 03) |                                 |                   |                              |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Masa total                                      | <sup>2</sup> Retenido Tamiz N°4 | Pasante Tamiz N°4 | Masa usada Pasante Tamiz N°4 |
| g                                               | g                               | g                 | g                            |
| 17,840.9                                        | 5128.4                          | 12,712.5          | 500.2                        |

| Tamiz      | Diámetro<br>mm | Masa Retenido<br>g | % Retenido<br>% | % Retenido Acumulado<br>% | % Pasante<br>% | % Gruesos y Finos<br>% |
|------------|----------------|--------------------|-----------------|---------------------------|----------------|------------------------|
| 1"         | 25.4           | 0                  | 0.0%            | 0.0%                      | 100.0%         |                        |
| ¾"         | 19             | 422.4              | 2.4%            | 2.4%                      | 97.6%          | 29.0%                  |
| 3/8"       | 9.5            | 1986.5             | 11.1%           | 13.5%                     | 86.5%          |                        |
| N4         | 4.75           | 2719.4             | 15.2%           | 28.7%                     | 71.3%          |                        |
| N10        | 2              | 3010.9             | 16.9%           | 45.6%                     | 54.4%          |                        |
| N40        | 0.43           | 5166.4             | 29.0%           | 74.6%                     | 25.4%          | 65.0%                  |
| N200       | 0.08           | 3444.5             | 19.3%           | 93.9%                     | 6.1%           |                        |
| Fondo      |                | 1090.7             | 6.1%            | 100.0%                    | 0.0%           | 6.0%                   |
| Masa total |                | 17840.9            | 100.0%          |                           |                |                        |

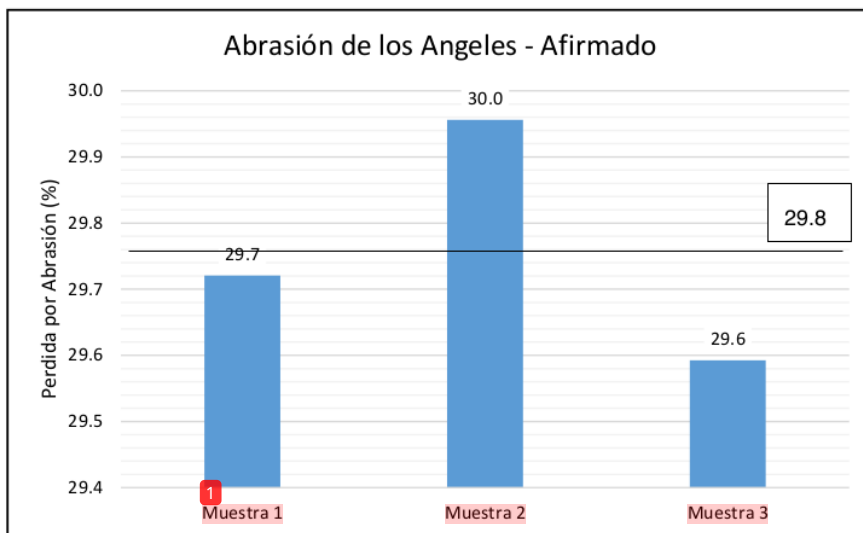
Parámetros de Calidad del Afirmado A-2 (EG-2013)

| Deciles | Diámetro Tamiz (mm) | Coeficiente de Curvatura | Coeficiente de Uniformidad |
|---------|---------------------|--------------------------|----------------------------|
| D10     | 0.11                |                          |                            |
| D30     | 0.54                | 1.04                     | 25.09                      |
| D60     | 2.67                |                          |                            |



## 2. Determinación del porcentaje <sup>2</sup> de Abrasión de los Ángeles

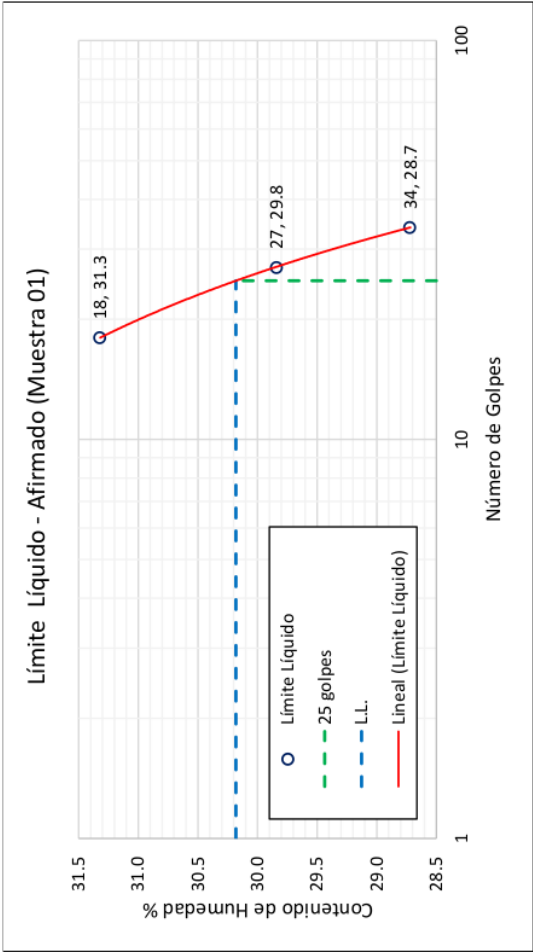
| Variables                                  | Und | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|--------------------------------------------|-----|-----------|-----------|-----------|
| Masa de la carga (esferas)                 | g   | 5000.00   | 5000.00   | 5000.00   |
| Masa material entre mallas 1 ½" - 1"       | g   | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
| Masa material entre mallas 1" - ¾"         | g   | 1,668.00  | 1,665.00  | 1,670.00  |
| Masa material entre mallas ¾" - ½"         | g   | 1,668.00  | 1,663.00  | 1,671.00  |
| Masa material entre mallas ½" - 3/8"       | g   | 1,674.00  | 1,676.00  | 1,667.00  |
| Masa seca de la muestra                    | g   | 5,010.00  | 5,004.00  | 5,008.00  |
| Masa material pasante tamiz N°12           | g   | 1,474.11  | 1,458.11  | 1,479.11  |
| Masa material retenido tamiz N°12          | g   | 3,521.00  | 3,505.00  | 3,526.00  |
| Masa de recipiente                         | g   | 352.00    | 413.00    | 387.00    |
| Masa seca retenida tamiz N°12 + recipiente | g   | 3,873.00  | 3,918.00  | 3,913.00  |
| Porcentaje de perdida durante el ensayo    | %   | 0.3       | 0.8       | 0.1       |
| Porcentaje del peso retenido tamiz N°12    | %   | 70.3      | 70.0      | 70.4      |
| Perdida por abrasión                       | %   | 29.7      | 30.0      | 29.6      |
| Promedio Porcentaje perdido                | %   |           | 29.8      |           |



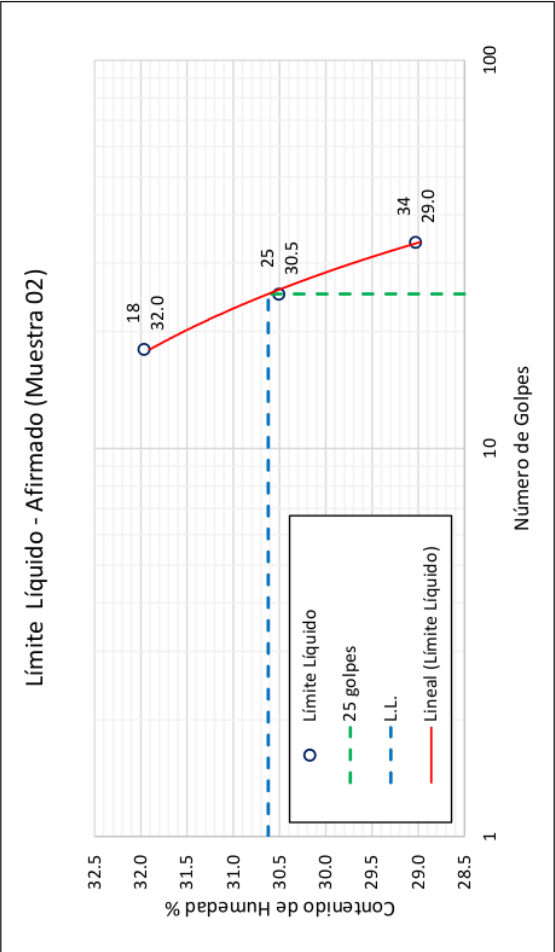
3. Determinación del índice de plasticidad

3.1. Límite Líquido

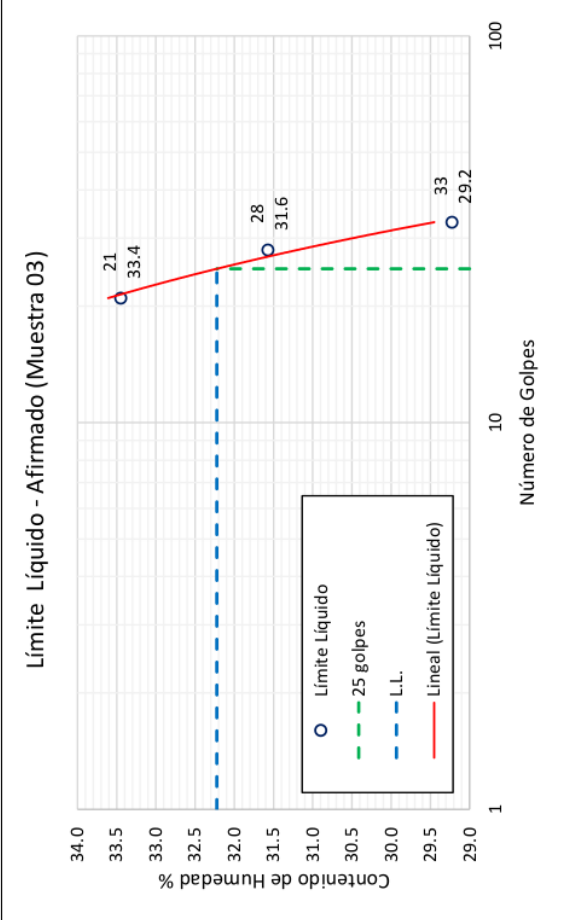
| Límite líquido – afirmado (Muestra 01) |        |                         |                         |                       |                       |
|----------------------------------------|--------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muestras                               | Golpes | Masa del recipiente (g) | Masa muestra húmeda (g) | Masa muestra seca (g) | Contenido humedad (%) |
| 1                                      | 34     | 21.15                   | 42.66                   | 37.86                 | 28.7                  |
| 2                                      | 27     | 21.40                   | 46.20                   | 40.50                 | 29.8                  |
| 3                                      | 18     | 21.04                   | 44.14                   | 38.63                 | 31.3                  |
| Límite Líquido                         |        |                         |                         |                       | 30.2                  |



| Límite líquido – afirmado (Muestra 02) |        |                         |                         |                       |                       |
|----------------------------------------|--------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muestras                               | Golpes | Masa del recipiente (g) | Masa muestra húmeda (g) | Masa muestra seca (g) | Contenido humedad (%) |
| 1                                      | 34     | 21.70                   | 42.19                   | 37.58                 | 29.0                  |
| 2                                      | 25     | 21.58                   | 44.81                   | 39.38                 | 30.5                  |
| 3                                      | 18     | 21.38                   | 45.82                   | 39.90                 | 32.0                  |
| Límite Líquido                         |        |                         |                         |                       | 30.6                  |



| Límite líquido – afirmado (Muestra 03) |        |                         |                         |                       |                       |
|----------------------------------------|--------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muestras                               | Golpes | Masa del recipiente (g) | Masa muestra húmeda (g) | Masa muestra seca (g) | Contenido humedad (%) |
| 1                                      | 33     | 21.41                   | 43.74                   | 38.69                 | 29.2                  |
| 2                                      | 28     | 21.65                   | 46.78                   | 40.75                 | 31.6                  |
| 3                                      | 21     | 21.72                   | 48.93                   | 42.11                 | 33.4                  |
| Límite Líquido 03                      |        |                         |                         |                       | 32.2                  |



| Promedio de Limite Liquido |              |              |              |          |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|----------|
|                            | Muestra N°01 | Muestra N°02 | Muestra N°03 | Promedio |
| Límite Líquido (%)         | 30           | 31           | 32           | 31       |

### 3.2. Límite Plástico

| Limite plástico – afirmado (Muestra 01) |                         |                         |                       |                       |
|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muestra                                 | Masa del recipiente (g) | Masa muestra húmeda (g) | Masa muestra seca (g) | Contenido humedad (%) |
| 1                                       | 21.79                   | 29.56                   | 28.09                 | 23.3                  |
| 2                                       | 21.76                   | 28.83                   | 27.44                 | 24.5                  |
| Límite Plástico                         |                         |                         |                       | 23.9                  |

| Limite plástico – afirmado (Muestra 02) |                         |                         |                       |                       |
|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muestra                                 | Masa del recipiente (g) | Masa muestra húmeda (g) | Masa muestra seca (g) | Contenido humedad (%) |
| 1                                       | 21.69                   | 28.53                   | 27.16                 | 25.0                  |
| 2                                       | 21.73                   | 28.68                   | 27.30                 | 24.8                  |
| Límite Plástico                         |                         |                         |                       | 24.9                  |

| Limite plástico – afirmado (muestra 03) |                         |                         |                       |                       |
|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muestra                                 | Masa del recipiente (g) | Masa muestra húmeda (g) | Masa muestra seca (g) | Contenido humedad (%) |
| 1                                       | 21.78                   | 29.20                   | 27.77                 | 23.9                  |
| 2                                       | 21.74                   | 29.05                   | 27.63                 | 24.1                  |
| Límite Plástico                         |                         |                         |                       | 24.0                  |

| Promedio de Limite Plástico |              |              |              |          |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|----------|
|                             | Muestra N°01 | Muestra N°02 | Muestra N°03 | Promedio |
| Límite Plástico (%)         | 24.0         | 25.0         | 24.0         | 24       |

### 3.3. Índice de Plasticidad

|                           | Limite Liquido | Limite Plástico | Índice de Plasticidad |
|---------------------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Índice de Plasticidad (%) | 31.0           | 24.0            | 7.0                   |

## 4. Clasificación del Suelo

### A. Curva granulométrica

| Tamiz | Diámetro | Muestra 1<br>Pasante | Muestra 2<br>Pasante | Muestra 3<br>Pasante | Parámetros de<br>Calidad del Afirmado<br>(EG-2013) |      |
|-------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------|------|
|       | mm       | %                    | %                    | %                    | Gradación A-2                                      |      |
| 1"    | 25.4     | 100%                 | 100%                 | 100%                 | 100%                                               | 100% |
| 3/4"  | 19       | 98%                  | 98%                  | 98%                  | 80%                                                | 100% |
| 3/8"  | 9.5      | 86%                  | 88%                  | 86%                  | 65%                                                | 100% |
| N4    | 4.75     | 72%                  | 74%                  | 71%                  | 50%                                                | 85%  |
| N10   | 2        | 55%                  | 56%                  | 54%                  | 33%                                                | 68%  |
| N40   | 0.43     | 25%                  | 27%                  | 25%                  | 20%                                                | 45%  |
| N200  | 0.08     | 6%                   | 6%                   | 6%                   | 5%                                                 | 20%  |

### B. Limite Liquido

|                    | Muestra N°01 | Muestra N°02 | Muestra N°03 | Promedio |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|----------|
| Límite Líquido (%) | 30           | 31           | 32           | 31       |

### C. Limite Plástico

|                     | Muestra N°01 | Muestra N°02 | Muestra N°03 | Promedio |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|----------|
| Límite Plástico (%) | 24.0         | 25.0         | 24.0         | 24       |

### D. Índice de Plasticidad

|                           | Limite Liquido | Limite Plástico | Índice de Plasticidad |
|---------------------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Índice de Plasticidad (%) | 31.0           | 24.0            | 7.0                   |

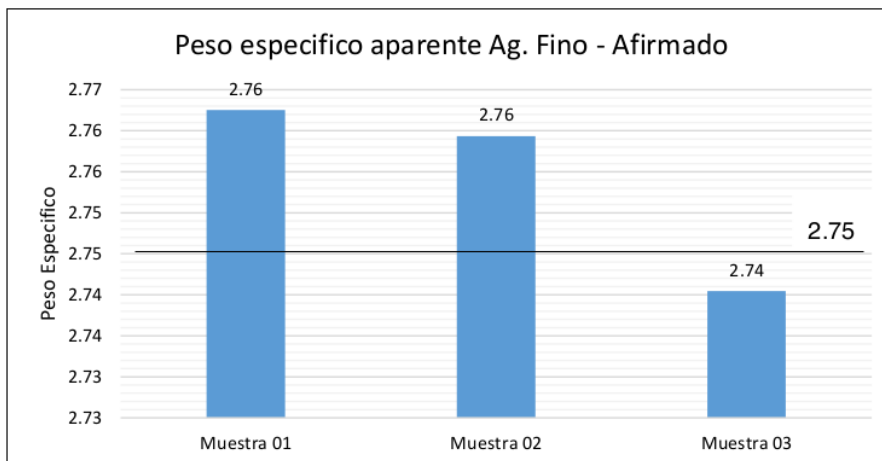


## E. Clasificación del Suelos

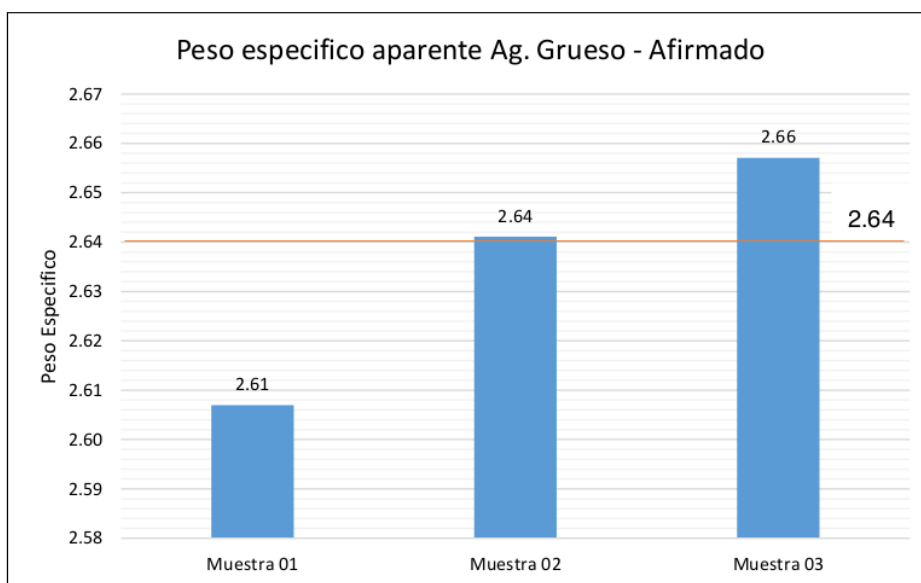
|                      |       |                                      |
|----------------------|-------|--------------------------------------|
| Clasificación SUCS   | SW-SM | Arena bien graduada con limo y grava |
| Clasificación AASHTO | A-2-4 | Arenas Limosas de buena calidad      |

## 5. Gravedad específica y absorción de agregados

| Gravedad específica de agregado fino – Afirmado     |     |            |            |            |
|-----------------------------------------------------|-----|------------|------------|------------|
| Variables                                           | Und | Muestra 01 | Muestra 02 | Muestra 03 |
| Masa de la muestra superficialmente seca            | g   | 500.10     | 500.00     | 500.10     |
| Masa del picnómetro + agua                          | g   | 657.61     | 655.82     | 657.60     |
| Masa del picnómetro + agua + muestra                | g   | 945.06     | 943.63     | 944.74     |
| Masa de la muestra sumergida                        | g   | 287.45     | 287.81     | 287.14     |
| Temperatura del agua                                | °C  | 20.2       | 20.1       | 19.9       |
| Masa de la muestra seca                             | g   | 450.54     | 451.40     | 452.12     |
| Coeficiente de temperatura (K)                      |     | 0.99996    | 0.99998    | 1.00002    |
| Peso específico de la masa (pem)                    |     | 2.12       | 2.13       | 2.12       |
| Promedio (pem)                                      |     |            | 2.12       |            |
| Peso esp. masa saturada con superficie seca (pesss) |     | 2.35       | 2.36       | 2.35       |
| Promedio (pesss)                                    |     |            | 2.35       |            |
| Peso específico aparente (pea)                      |     | 2.76       | 2.76       | 2.74       |
| Promedio (pea)                                      |     |            | 2.75       |            |
| Absorción (Ab)                                      | %   | 11.0       | 10.8       | 10.6       |
| Promedio (Ab)                                       | %   |            | 10.8       |            |



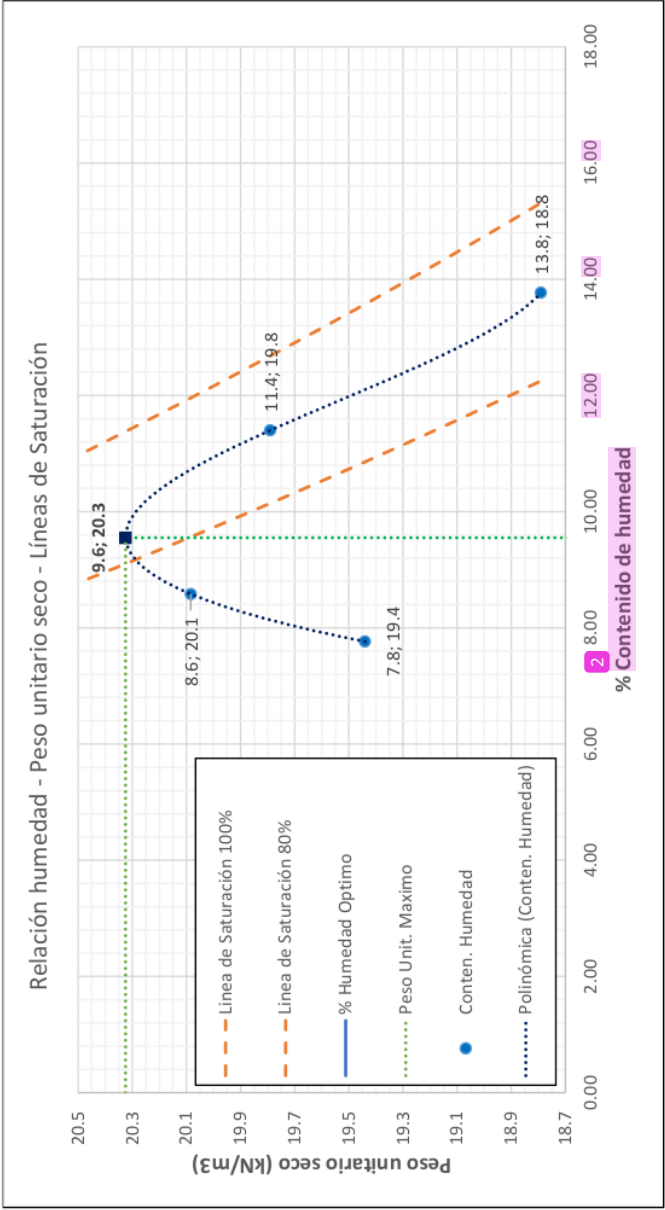
| Gravedad específica de agregado grueso – Afirmado   |     |            |            |            |
|-----------------------------------------------------|-----|------------|------------|------------|
| Variables                                           | Und | Muestra 01 | Muestra 02 | Muestra 03 |
| Masa de la muestra superficialmente Seca            | g   | 3010.00    | 3050.00    | 3028.00    |
| Masa canastilla sumergida                           | g   | 914.50     | 914.50     | 914.50     |
| Masa de la muestra + canastilla sumergida           | g   | 2672.50    | 2711.50    | 2702.50    |
| Masa de la muestra sumergida                        | g   | 1758.00    | 1797.00    | 1788.00    |
| Temperatura del agua                                | °C  | 20.3       | 20.0       | 19.8       |
| Masa de la muestra seca                             | g   | 2852.00    | 2892.00    | 2867.00    |
| Coeficiente de temperatura (K)                      |     | 0.99814    | 1.00000    | 0.99825    |
| Peso específico de la masa (pem)                    |     | 2.28       | 2.31       | 2.31       |
| Promedio (pem)                                      |     |            | 2.30       |            |
| Peso esp. masa saturada con superficie seca (pesss) |     | 2.40       | 2.43       | 2.44       |
| Promedio (pesss)                                    |     |            | 2.43       |            |
| Peso específico aparente (pea)                      |     | 2.61       | 2.64       | 2.66       |
| Promedio (pea)                                      |     |            | 2.64       |            |
| Absorción (Ab)                                      | %   | 5.54       | 5.46       | 5.62       |
| Promedio (Ab)                                       | %   |            | 5.54       |            |



6. Compactación de suelo empleando la energía modificada (molde 6")

| Proctor modificado CBR – afirmado (Muestra 01) |          |          |                 |              |                      |                      |
|------------------------------------------------|----------|----------|-----------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Molde usado                                    | Molde    |          | Muestra Húmeda  |              |                      | Muestra seca         |
|                                                | W molde  | V molde  | W molde + suelo | W recipiente | W recipiente + suelo | W recipiente + suelo |
|                                                | gf       | cm3      | gf              | gf           | gf                   | gf                   |
| A                                              | 6,505.00 | 2,120.00 | 11,033.00       | 109.92       | 332.00               | 316.00               |
| A                                              | 6,505.00 | 2,120.00 | 11,218.00       | 111.76       | 410.08               | 386.50               |
| A                                              | 6,505.00 | 2,120.00 | 11,270.00       | 110.92       | 409.00               | 378.50               |
| A                                              | 6,505.00 | 2,120.00 | 11,125.00       | 112.53       | 426.50               | 388.50               |

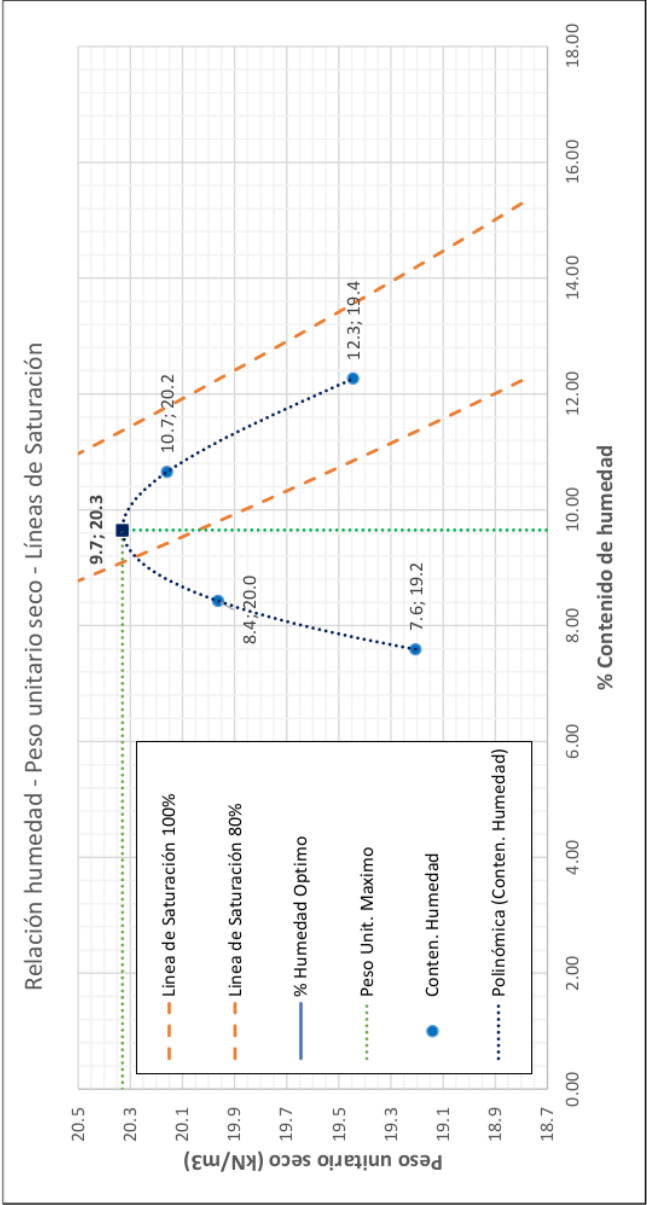
| Contenido de Humedad |        |              |                   | Cálculo del Peso Unitario Seco |             |           |           |
|----------------------|--------|--------------|-------------------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| Cantidad de agua     | W agua | W suelo seco | Contenido Humedad | W suelo                        | P.U. Húmedo | P.U. Seco | P.U. Seco |
| %                    | gf     | gf           | %                 | gf                             | gf/cm3      | gf/cm3    | kN/m3     |
| 5.00                 | 16.00  | 206.10       | 7.80              | 4,528.00                       | 2.14        | 1.98      | 19.42     |
| 7.00                 | 23.60  | 274.70       | 8.60              | 4,713.00                       | 2.22        | 2.05      | 20.10     |
| 9.00                 | 30.50  | 267.60       | 11.40             | 4,765.00                       | 2.25        | 2.02      | 19.81     |
| 11.00                | 38.00  | 276.00       | 13.80             | 4,620.00                       | 2.18        | 1.92      | 18.83     |



| Variable                  | Und.  | Valores |
|---------------------------|-------|---------|
| Contenido Optimo de Agua  | %     | 9.6     |
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3 | 20.30   |
| Gravedad especifica       |       | 2.72    |

| Proctor modificado CBR – afirmado (Muestra 02) |          |          |                 |              |                      |                      |
|------------------------------------------------|----------|----------|-----------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Molde usado                                    | Molde    |          | Muestra Húmeda  |              |                      | Muestra seca         |
|                                                | W molde  | V molde  | W molde + suelo | W recipiente | W recipiente + suelo | W recipiente + suelo |
|                                                | gf       | cm3      | gf              | gf           | gf                   | gf                   |
| A                                              | 6,504.00 | 2,120.00 | 10,971.00       | 112.72       | 334.80               | 319.13               |
| A                                              | 6,504.00 | 2,120.00 | 11,183.00       | 108.56       | 406.88               | 383.70               |
| A                                              | 6,504.00 | 2,120.00 | 11,326.00       | 113.02       | 411.10               | 382.40               |
| A                                              | 6,504.00 | 2,120.00 | 11,223.00       | 107.33       | 421.30               | 387.00               |

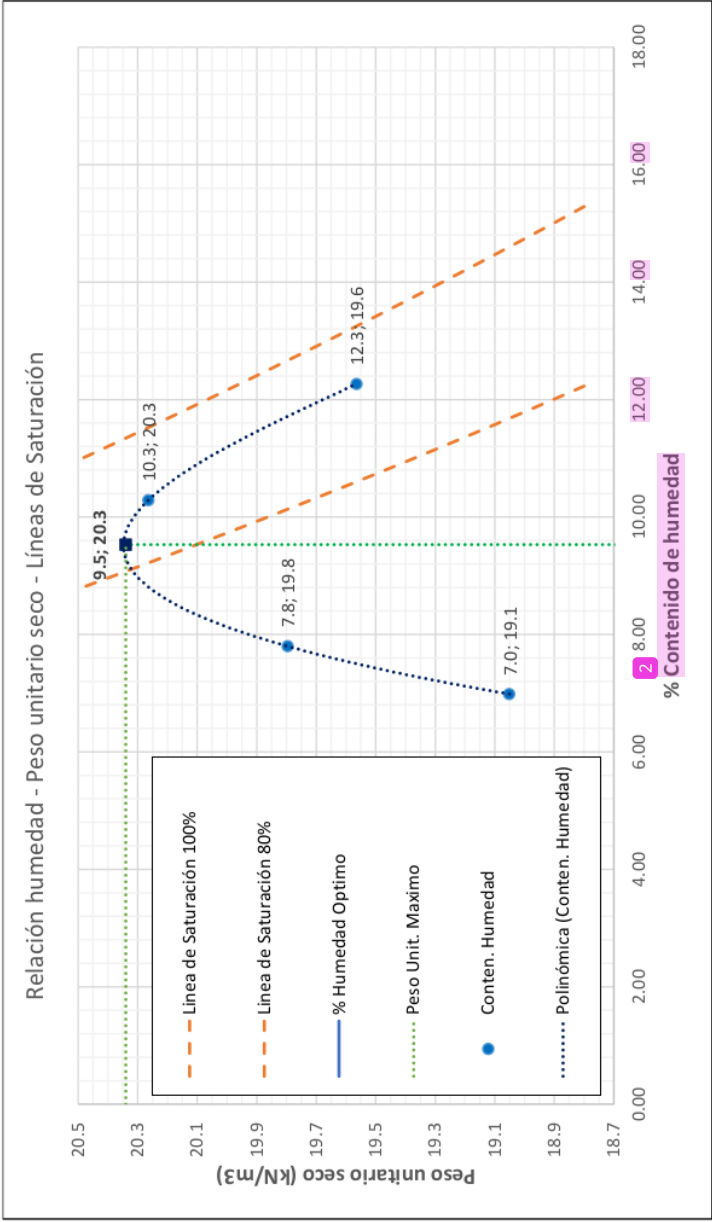
| Contenido de Humedad |        |              |                      | Cálculo del Peso Unitario Seco |             |           |           |
|----------------------|--------|--------------|----------------------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| Cantidad de agua     | W agua | W suelo seco | Contenido de Humedad | W suelo                        | P.U. Húmedo | P.U. Seco | P.U. Seco |
| %                    | gf     | gf           | %                    | gf                             | gf/cm3      | gf/cm3    | kN/m3     |
| 5.00                 | 15.67  | 206.41       | 7.59                 | 4,467.00                       | 2.11        | 1.96      | 19.21     |
| 7.00                 | 23.18  | 275.14       | 8.42                 | 4,679.00                       | 2.21        | 2.04      | 19.96     |
| 9.00                 | 28.70  | 269.38       | 10.65                | 4,822.00                       | 2.27        | 2.06      | 20.16     |
| 11.00                | 34.30  | 279.67       | 12.26                | 4,719.00                       | 2.23        | 1.98      | 19.45     |



| Variable                  | Und.  | Valores |
|---------------------------|-------|---------|
| Contenido Optimo de Agua  | %     | 9.7     |
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3 | 20.36   |
| Gravedad específica       |       | 2.72    |

| Proctor modificado CBR – Afirmado (Muestra 03) |          |          |                 |              |                      |                      |
|------------------------------------------------|----------|----------|-----------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Molde usado                                    | Molde    |          | Muestra Húmeda  |              | Muestra seca         |                      |
|                                                | W molde  | V molde  | W molde + suelo | W recipiente | W recipiente + suelo | W recipiente + suelo |
|                                                | gf       | cm3      | gf              | gf           | gf                   | gf                   |
| A                                              | 6,505.00 | 2,120.00 | 10,911.00       | 111.42       | 333.50               | 319.00               |
| A                                              | 6,505.00 | 2,120.00 | 11,118.00       | 106.96       | 405.28               | 383.70               |
| A                                              | 6,505.00 | 2,120.00 | 11,336.00       | 111.72       | 409.80               | 382.00               |
| A                                              | 6,505.00 | 2,120.00 | 11,253.00       | 106.33       | 420.30               | 386.00               |

| Contenido de Humedad |        |              |                      | Cálculo del Peso Unitario Seco |             |           |           |
|----------------------|--------|--------------|----------------------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| Cantidad de agua     | W agua | W suelo seco | Contenido de Humedad | W suelo                        | P.U. Húmedo | P.U. Seco | P.U. Seco |
| %                    | gf     | gf           | %                    | gf                             | gf/cm3      | gf/cm3    | kN/m3     |
| 5.00                 | 14.50  | 207.58       | 6.99                 | 4,406.00                       | 2.08        | 1.94      | 19.05     |
| 7.00                 | 21.58  | 276.74       | 7.80                 | 4,613.00                       | 2.18        | 2.02      | 19.80     |
| 9.00                 | 27.80  | 270.28       | 10.29                | 4,831.00                       | 2.28        | 2.07      | 20.26     |
| 11.00                | 34.30  | 279.67       | 12.26                | 4,748.00                       | 2.24        | 1.99      | 19.56     |



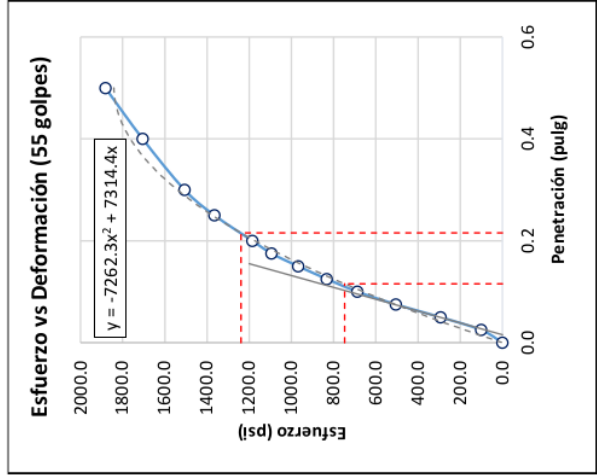
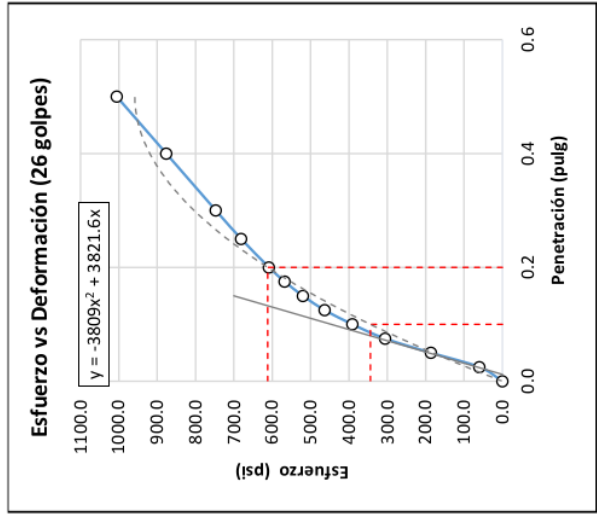
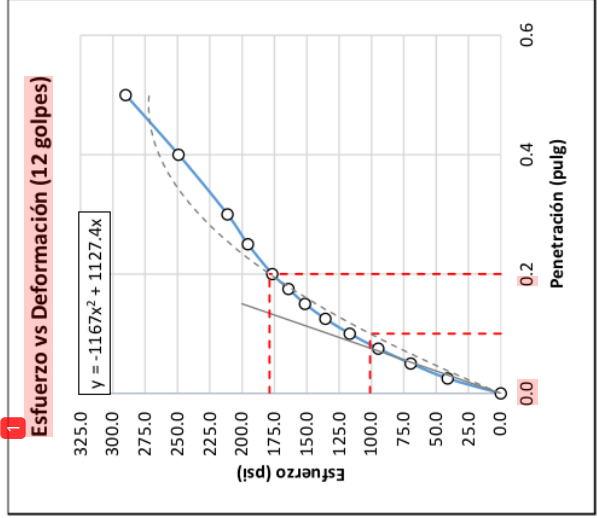
| Variable                  | Und.  | Valores |
|---------------------------|-------|---------|
| Contenido Optimo de Agua  | %     | 9.5     |
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3 | 20.30   |
| Gravedad especifica       |       | 2.72    |



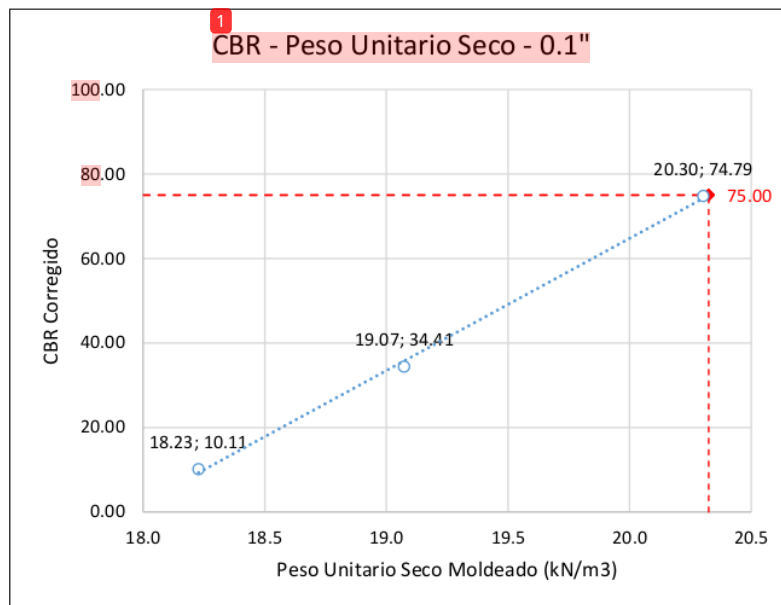
7. Ensayo de CBR (California Bearing Ratio) – Afirmado

| 1 CBR - Afirmado (Muestra 01) |                                    |        |           |           |           |
|-------------------------------|------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Variable                      |                                    | Und.   | 12 golpes | 26 golpes | 55 golpes |
| DATOS                         | Área del pistón de penetración     | pulg.2 |           | 3.00      |           |
|                               | Diámetro del molde de CBR          | mm     | 152.3     | 152.4     | 152.4     |
|                               | Altura del molde de CBR            | mm     | 177.8     | 177.7     | 177.7     |
|                               | Peso del molde de CBR              | gf     | 7,912     | 9,046     | 9,087     |
|                               | Altura del disco espaciador        | mm     |           | 61.4      |           |
|                               | Peso de la muestra + molde CBR     | gf     | 12,157    | 13,551    | 13,880    |
|                               | Masa del recipiente                | g      | 70.00     | 72.00     | 70.00     |
|                               | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 292.00    | 389.90    | 356.30    |
|                               | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 273.00    | 363.30    | 332.10    |
|                               | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                               | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.81      | 0.79      | 0.85      |
|                               | Peso de la muestra + molde CBR     | g      | 12,412.0  | 13,740.5  | 13,943.8  |
|                               | Masa del recipiente                | g      | 50.25     | 55.28     | 55.80     |
|                               | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 329.84    | 380.88    | 398.42    |
|                               | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 293.54    | 339.81    | 363.74    |
| RESULTADOS                    | Volumen del molde de CBR           |        |           |           |           |
|                               | Antes de sumergirlo                | cm3    | 2,121.56  | 2,123.85  | 2,123.94  |
|                               | Después de sumergirlo              | cm3    | 2,106.76  | 2,109.38  | 2,108.52  |
|                               | Masa muestra húmeda                | g      | 222.00    | 317.90    | 286.30    |
|                               | Masa muestra seca                  | g      | 203.00    | 291.30    | 262.10    |
|                               | Contenido de humedad               | %      | 9.4       | 9.1       | 9.2       |
|                               | Dato teórico del COA               | %      |           | 9.6       |           |
|                               | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.00      | 2.12      | 2.26      |
|                               | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.83      | 1.94      | 2.07      |
|                               | Masa muestra húmeda                | g      | 279.59    | 325.60    | 342.62    |
|                               | Masa muestra seca                  | g      | 243.29    | 284.53    | 307.94    |
|                               | Contenido de humedad               | %      | 14.9      | 14.4      | 11.3      |
|                               | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.14      | 2.23      | 2.30      |
|                               | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.86      | 1.94      | 2.07      |
|                               | Peso unitario seco de la muestra   | kN/m3  | 18.2      | 19.1      | 20.30     |
| 2 % Expansión                 | Altura inicial de la muestra       | mm     | 116.42    | 116.38    | 116.37    |
|                               | Expansión                          | %      | 0.64      | 0.62      | 0.67      |
|                               | Altura final de la muestra         | mm     | 117.16    | 117.11    | 117.14    |

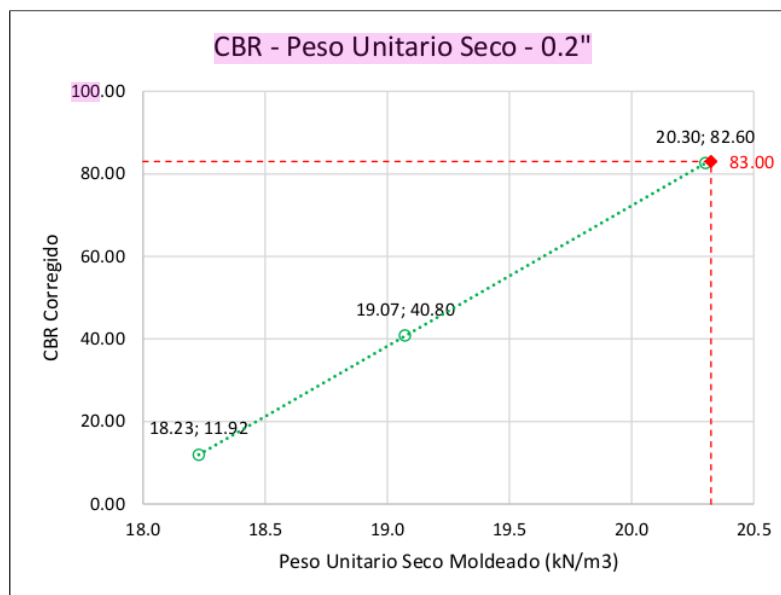
| Penetración |       | 12 G. | 26 G. | 55 G. | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| mm          | pulg  | Dial  | Dial  | Dial  | kgf   | kgf    | kgf    | lbf   | lbf    | psi    |
| 0.00        | 0.000 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| 0.64        | 0.025 | 10.0  | 16.0  | 29.0  | 55.0  | 80.4   | 135.2  | 123.3 | 180.1  | 303.0  |
| 1.27        | 0.050 | 19.0  | 56.0  | 90.0  | 93.0  | 249.2  | 392.7  | 208.4 | 558.3  | 879.8  |
| 1.91        | 0.075 | 27.0  | 94.0  | 157.0 | 126.8 | 409.5  | 675.4  | 284.1 | 917.6  | 1513.3 |
| 2.54        | 0.100 | 34.0  | 121.0 | 215.0 | 156.3 | 523.5  | 920.2  | 350.3 | 1172.9 | 2061.8 |
| 3.18        | 0.125 | 40.0  | 144.0 | 261.0 | 181.7 | 620.6  | 1114.3 | 407.0 | 1390.4 | 2496.7 |
| 3.81        | 0.150 | 45.0  | 162.0 | 304.0 | 202.8 | 696.5  | 1295.8 | 454.3 | 1560.6 | 2903.3 |
| 4.45        | 0.175 | 49.0  | 177.0 | 344.0 | 219.6 | 759.8  | 1464.6 | 492.1 | 1702.5 | 3281.6 |
| 5.08        | 0.200 | 53.0  | 190.0 | 373.0 | 236.5 | 814.7  | 1587.0 | 529.9 | 1825.4 | 3555.8 |
| 6.35        | 0.250 | 59.0  | 213.0 | 430.0 | 261.8 | 911.7  | 1827.5 | 586.7 | 2042.9 | 4094.8 |
| 7.62        | 0.300 | 64.0  | 234.0 | 475.0 | 282.9 | 1000.4 | 2017.4 | 633.9 | 2241.4 | 4520.3 |
| 10.16       | 0.400 | 76.0  | 275.0 | 538.0 | 333.6 | 1173.4 | 2283.3 | 747.4 | 2629.1 | 5116.0 |
| 12.70       | 0.500 | 89.0  | 316.0 | 594.0 | 388.4 | 1346.4 | 2519.6 | 870.3 | 3016.8 | 5645.5 |



| Variable           | Und.   | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.  |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peso Unitario Seco | kN/m3  |        | 20.33  |        |
| Máximo             | gf/cm3 | 1.86   | 1.94   | 2.07   |
| Peso Unitario Seco | kN/m3  | 18.23  | 19.07  | 20.30  |
| Esfuerzo 0.1"      | psi    | 101.07 | 344.07 | 747.93 |
| Esfuerzo 0.2"      | psi    | 178.80 | 611.96 | 611.96 |
| CBR 0.1"           | %      | 10.11  | 34.41  | 74.79  |
| CBR 0.2"           | %      | 11.92  | 40.80  | 82.60  |



**2**  
% CBR 0.1" para el 100% del M.P.U.S. 75.00 %

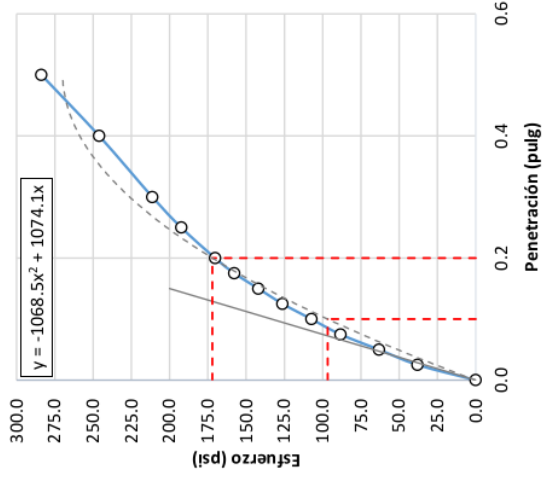


**1**  
% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S. 83.00 %

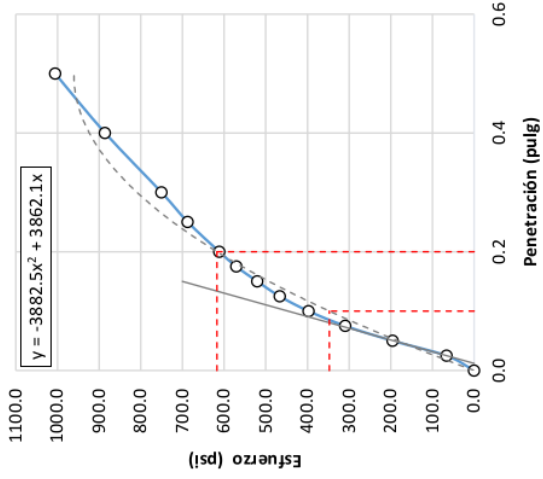
| CBR – Afirmado (Muestra 02)     |                                    |        |           |           |           |
|---------------------------------|------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
|                                 | Variable                           | Und.   | 12 golpes | 26 golpes | 55 golpes |
|                                 |                                    |        |           |           |           |
| DATOS                           | Área del pistón de penetración     | pulg.2 |           | 3.00      |           |
|                                 | Diámetro del molde de CBR          | mm     | 152.3     | 152.4     | 152.4     |
|                                 | Altura del molde de CBR            | mm     | 177.8     | 177.7     | 177.7     |
|                                 | Peso del molde de CBR              | gf     | 7,913     | 9,048     | 9,087     |
|                                 | Altura del disco espaciador        | mm     |           | 61.4      |           |
|                                 | Peso de la muestra + molde         | gf     | 12,206    | 13,591    | 13,898    |
|                                 | 1 CBR                              |        |           |           |           |
|                                 | Masa del recipiente                | g      | 72.00     | 70.00     | 69.00     |
|                                 | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 290.50    | 390.10    | 356.40    |
|                                 | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 271.50    | 363.50    | 332.20    |
|                                 | 1 Lectura de dial de deformación   | mm     | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                                 | 1 Lectura de dial de deformación   | mm     | 0.71      | 0.90      | 0.88      |
| Ensayo de penetración (4to día) | Peso de la muestra + molde         | g      | 12,461.0  | 13,780.5  | 13,962.3  |
|                                 | 1 CBR                              |        |           |           |           |
|                                 | Masa del recipiente                | g      | 50.05     | 55.58     | 60.10     |
|                                 | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 327.04    | 378.53    | 395.75    |
|                                 | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 290.74    | 337.46    | 361.07    |
| Volumen del molde de CBR        | Antes de sumergirlo                | cm3    | 2,121.56  | 2,123.85  | 2,123.94  |
|                                 | Después de sumergirlo              | cm3    | 2,108.58  | 2,107.37  | 2,107.97  |
| Resultados en base al 1er día   | Masa muestra húmeda                | g      | 218.50    | 320.10    | 287.40    |
|                                 | Masa muestra seca                  | g      | 199.50    | 293.50    | 263.20    |
|                                 | Contenido de humedad               | %      | 9.5       | 9.1       | 9.2       |
|                                 | 1 Dato teórico del COA             | %      |           | 9.6       |           |
|                                 | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.02      | 2.14      | 2.27      |
|                                 | 1                                  |        |           |           |           |
| Resultados en base al 4to día   | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.85      | 1.96      | 2.07      |
|                                 | Masa muestra húmeda                | g      | 276.99    | 322.95    | 335.65    |
|                                 | Masa muestra seca                  | g      | 240.69    | 281.88    | 300.97    |
|                                 | 1 Contenido de humedad             | %      | 15.1      | 14.6      | 11.5      |
|                                 | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.16      | 2.25      | 2.31      |
|                                 | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.87      | 1.96      | 2.07      |
| % Expansión                     | Peso unitario seco de la muestra   | kN/m3  | 18.4      | 19.2      | 20.34     |
|                                 | 2                                  |        |           |           |           |
|                                 | Altura inicial de la muestra       | mm     | 116.42    | 116.38    | 116.37    |
|                                 | Expansión                          | %      | 0.56      | 0.71      | 0.69      |
|                                 | Altura final de la muestra         | mm     | 117.07    | 117.21    | 117.17    |



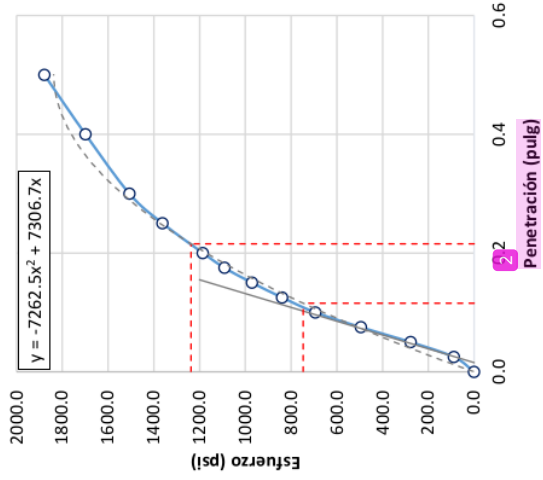
2 **Esfuerzo vs Deformación (12 golpes)**



**Esfuerzo vs Deformación (26 golpes)**



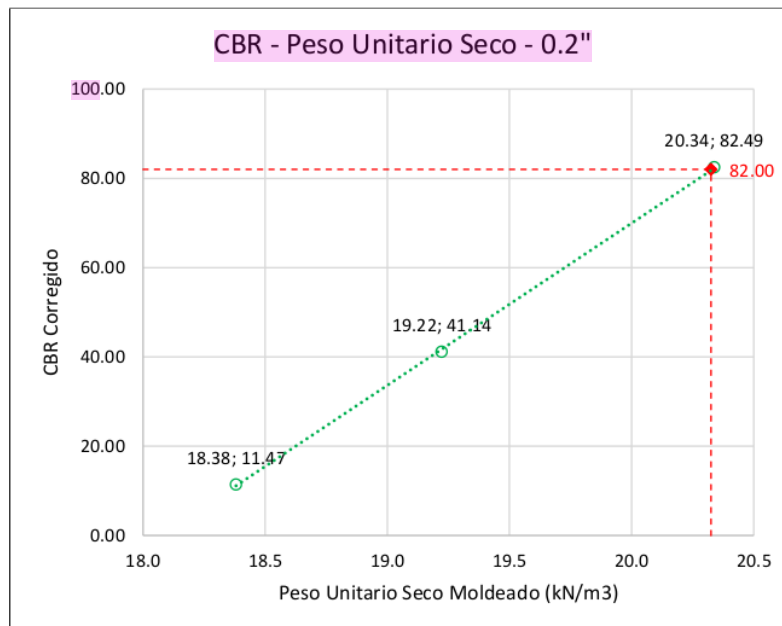
**Esfuerzo vs Deformación (55 golpes)**



| Variable           | Und.   | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.   |
|--------------------|--------|--------|--------|---------|
| Peso Unitario Seco |        |        |        |         |
| Máximo             | kN/m3  | 1.87   | 20.33  |         |
| Peso Unitario Seco | gf/cm3 | 1.87   | 1.96   | 2.07    |
| Peso Unitario Seco | kN/m3  | 18.38  | 19.22  | 20.34   |
| Esfuerzo 0.1"      | psi    | 96.73  | 347.39 | 747.04  |
| Esfuerzo 0.2"      | psi    | 172.08 | 617.12 | 1237.32 |
| CBR 0.1"           | %      | 9.67   | 34.74  | 74.70   |
| CBR 0.2"           | %      | 11.47  | 41.14  | 82.49   |



**2**  
% CBR 0.1" para el 100% del M.P.U.S. 73.00 %



**1**  
% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S. 82.00 %

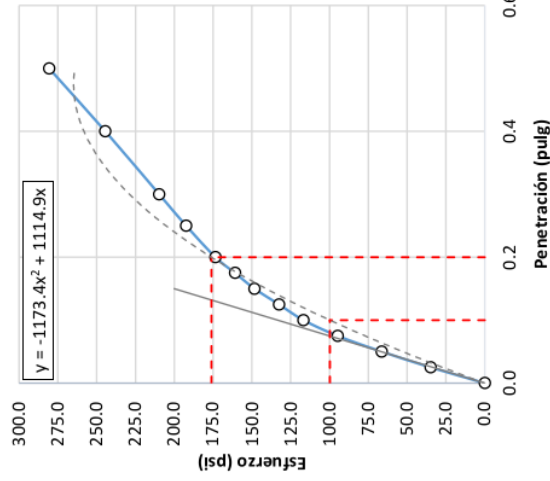


| CBR – Afirmado (Muestra 03)   |                                       |                                   |           |           |           |          |
|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Variable                      |                                       | Und.                              | 12 golpes | 26 golpes | 55 golpes |          |
| DATOS                         | Área del pistón de penetración        | pulg.2                            |           | 3.00      |           |          |
|                               | Diámetro del molde de CBR             | mm                                | 152.3     | 152.4     | 152.4     |          |
|                               | Altura del molde de CBR               | mm                                | 177.8     | 177.7     | 177.7     |          |
|                               | 2 Preparación de la muestra (1er día) | Peso del molde de CBR             | gf        | 7,913     | 9,047     | 9,088    |
|                               | Altura del disco espaciador           | mm                                |           | 61.4      |           |          |
|                               | Peso de la muestra + molde CBR        | gf                                | 12,170    | 13,567    | 13,884    |          |
|                               | Masa del recipiente                   | g                                 | 69.90     | 69.90     | 72.00     |          |
|                               | Masa muestra húmeda + recipiente      | g                                 | 288.50    | 387.10    | 354.40    |          |
|                               | Masa de muestra seca + recipiente     | g                                 | 269.50    | 360.50    | 330.20    |          |
|                               | Lectura de dial de deformación        | mm                                | 0.00      | 0.00      | 0.00      |          |
|                               | Ensayo de penetración (4to día)       | Lectura de dial de deformación    | mm        | 0.76      | 0.81      | 0.97     |
|                               |                                       | Peso de la muestra + molde CBR    | g         | 12,425.0  | 13,756.5  | 13,947.5 |
|                               |                                       | Masa del recipiente               | g         | 52.05     | 51.58     | 51.60    |
|                               |                                       | Masa muestra húmeda + recipiente  | g         | 323.64    | 373.93    | 393.45   |
|                               |                                       | Masa de muestra seca + recipiente | g         | 287.34    | 332.86    | 358.77   |
| Volumen del molde de CBR      | Antes de sumergirlo                   | cm3                               | 2,121.56  | 2,123.85  | 2,123.94  |          |
|                               | Después de sumergirlo                 | cm3                               | 2,107.67  | 2,109.01  | 2,106.33  |          |
|                               | Masa muestra húmeda                   | g                                 | 218.60    | 317.20    | 282.40    |          |
| Resultados en base al 1er día | Masa muestra seca                     | g                                 | 199.60    | 290.60    | 258.20    |          |
|                               | Contenido de humedad                  | %                                 | 9.5       | 9.2       | 9.4       |          |
|                               | Dato teórico del COA                  | %                                 |           | 9.6       |           |          |
|                               | Peso unitario húmedo de la muestra    | gf/cm3                            | 2.01      | 2.13      | 2.26      |          |
|                               | Peso unitario seco de la muestra      | gf/cm3                            | 1.83      | 1.95      | 2.06      |          |
| Resultados en base al 4to día | Masa muestra húmeda                   | g                                 | 271.59    | 322.35    | 341.85    |          |
|                               | Masa muestra seca                     | g                                 | 235.29    | 281.28    | 307.17    |          |
|                               | Contenido de humedad                  | %                                 | 15.4      | 14.6      | 11.3      |          |
|                               | Peso unitario húmedo de la muestra    | gf/cm3                            | 2.14      | 2.23      | 2.31      |          |
|                               | Peso unitario seco de la muestra      | gf/cm3                            | 1.85      | 1.95      | 2.07      |          |
|                               | Peso unitario seco de la muestra      | kN/m3                             | 18.2      | 19.1      | 20.3      |          |
|                               | % Expansión                           | Altura inicial de la muestra      | mm        | 116.42    | 116.38    | 116.37   |
| Expansión                     | %                                     | 0.60                              | 0.64      | 0.76      |           |          |
| Altura final de la muestra    | mm                                    | 117.12                            | 117.13    | 117.25    |           |          |

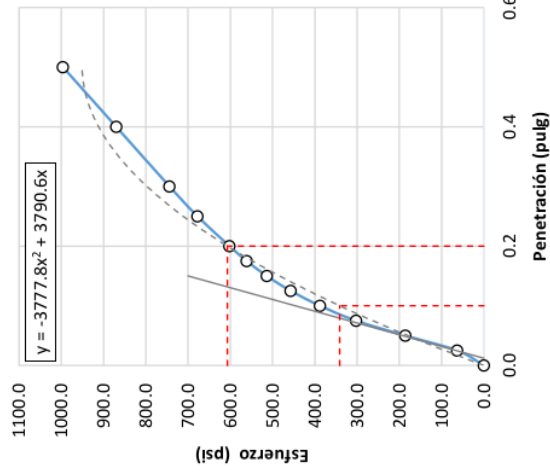
| Penetración |       | 12 G. | 26 G. | 55 G. | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  | 12 G. | 26 G. | 55 G.  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|
| mm          | pulg  | Dial  | Dial  | kgf   | kgf   | lbf    | lbf    | kgf   | kgf    | lbf    | lbf   | psi   | psi    |
| 0.00        | 0.000 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0    |
| 0.64        | 0.025 | 8.0   | 17.0  | 27.0  | 46.6  | 84.6   | 126.8  | 104.4 | 189.5  | 284.1  | 34.8  | 63.2  | 94.7   |
| 1.27        | 0.050 | 18.0  | 56.0  | 88.0  | 88.8  | 249.2  | 384.2  | 199.0 | 558.3  | 860.9  | 66.3  | 186.1 | 287.0  |
| 1.91        | 0.075 | 27.0  | 93.0  | 156.0 | 126.8 | 405.3  | 671.2  | 284.1 | 908.2  | 1503.9 | 94.7  | 302.7 | 501.3  |
| 2.54        | 0.100 | 34.0  | 120.0 | 214.0 | 156.3 | 519.3  | 916.0  | 350.3 | 1163.5 | 2052.3 | 116.8 | 387.8 | 684.1  |
| 3.18        | 0.125 | 39.0  | 142.0 | 260.0 | 177.4 | 612.1  | 1110.1 | 397.6 | 1371.5 | 2487.3 | 132.5 | 457.2 | 829.1  |
| 3.81        | 0.150 | 44.0  | 160.0 | 304.0 | 198.5 | 688.1  | 1295.8 | 444.8 | 1541.7 | 2903.3 | 148.3 | 513.9 | 967.8  |
| 4.45        | 0.175 | 48.0  | 175.0 | 343.0 | 215.4 | 751.4  | 1460.4 | 482.7 | 1683.5 | 3272.1 | 160.9 | 561.2 | 1090.7 |
| 5.08        | 0.200 | 52.0  | 188.0 | 370.0 | 232.3 | 806.2  | 1574.3 | 520.5 | 1806.5 | 3527.4 | 173.5 | 602.2 | 1175.8 |
| 6.35        | 0.025 | 58.0  | 212.0 | 428.0 | 257.6 | 907.5  | 1819.1 | 577.2 | 2033.4 | 4075.9 | 192.4 | 677.8 | 1358.6 |
| 7.62        | 0.300 | 63.5  | 233.0 | 472.0 | 280.8 | 996.2  | 2004.8 | 629.2 | 2232.0 | 4491.9 | 209.7 | 744.0 | 1497.3 |
| 10.16       | 0.400 | 74.5  | 273.0 | 535.0 | 327.2 | 1165.0 | 2270.7 | 733.2 | 2610.2 | 5087.6 | 244.4 | 870.1 | 1695.9 |
| 12.70       | 0.500 | 86.0  | 313.0 | 592.0 | 375.8 | 1333.8 | 2511.2 | 842.0 | 2988.4 | 5626.6 | 280.7 | 996.1 | 1875.5 |

2

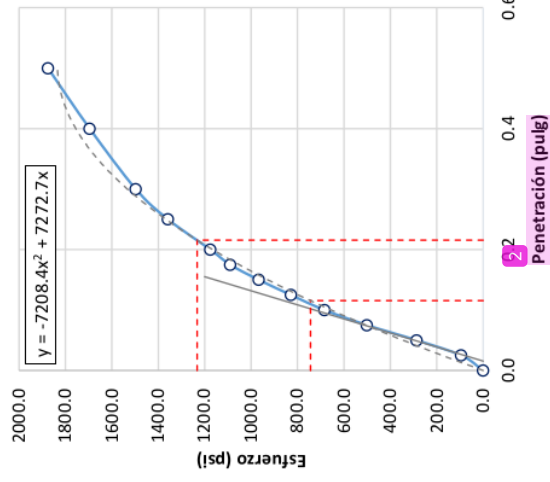
**Esfuerzo vs Deformación (12 golpes)**



**Esfuerzo vs Deformación (26 golpes)**



**Esfuerzo vs Deformación (55 golpes)**



Variable

Und.

12 G.

26 G.

55 G.

Peso Unitario Seco Máximo

kN/m3

20.33

Peso Unitario Seco

gf/cm3

1.85

2.07

Peso Unitario Seco

kN/m3

18.19

20.33

Esfuerzo 0.1"

psi

99.76

743.83

Esfuerzo 0.2"

psi

176.04

1232.51

CBR 0.1"

%

9.98

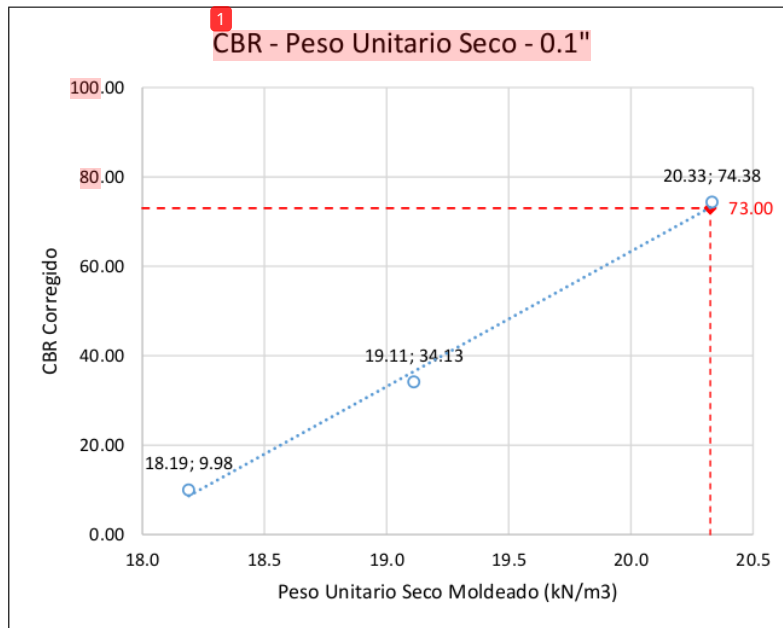
74.38

CBR 0.2"

%

11.74

82.17



**2**  
% CBR 0.1" para el 100% del M.P.U.S. 73.00 %



% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S. 81.00 %

8. Comparación de los resultados con los requisitos de calidad del Afirmado

| Requisitos de calidad del Afirmado |           |           |     |                      |            |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----|----------------------|------------|
| Ensayo                             | Norma     | Parámetro |     | Resultado de ensayos | Aceptación |
| Ensayo de granulometría            | MTC E-108 | TAMIZ     |     | A-2                  | SI         |
|                                    |           |           |     | % PASA               |            |
|                                    |           | 2"        |     | 100%                 |            |
|                                    |           | 1 1/2"    |     | 100%                 |            |
|                                    |           | 1"        |     | 100%                 |            |
|                                    |           | 3/4"      |     | 80-100%              |            |
|                                    |           | 3/8"      |     | 65-100%              |            |
|                                    |           | Nº4       |     | 50-85%               |            |
|                                    |           | Nº10      |     | 33-68%               |            |
|                                    |           | Nº40      |     | 20-45%               |            |
|                                    |           | Nº200     |     | 5-20%                |            |
| Desgaste de los ángeles            | MTC E-207 | max.      | 50% | 30%                  | SI         |
| Límite líquido                     | MTC E-110 | max.      | 35% | 31.0%                | SI         |
| Índice de plasticidad              | MTC E-111 | 4-9 %     |     | 7%                   | SI         |
| CBR a 0.1"                         | MTC E-132 | min.      | 40% | 74%                  | SI         |

Según los resultados obtenidos de los ensayos, el material se encuentra dentro de los parámetros de calidad para ser calificado como afirmado.

1

## **Anexo 2**

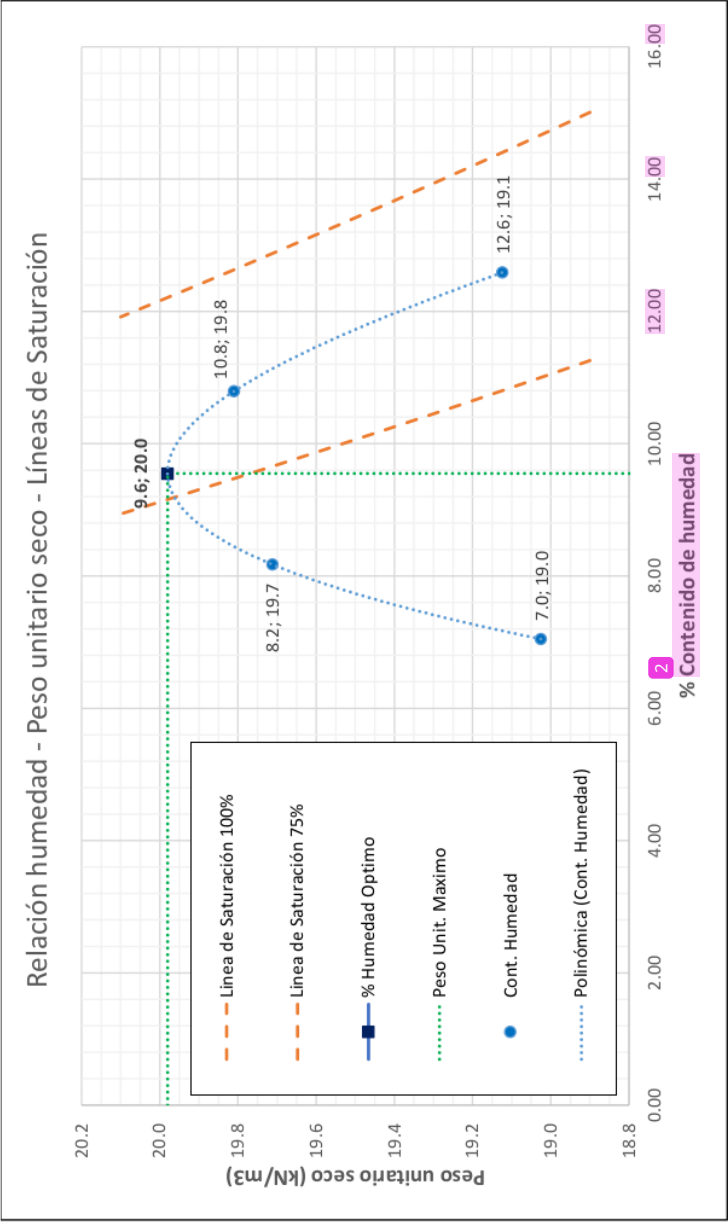
*Resultados de ensayos de laboratorio de la dosificación de afirmado + fibra de ichu*

1. Análisis Granulométrico  
Anexo 1.
2. Determinación del porcentaje de Abrasión de los Ángeles  
Anexo 1.
3. Determinación del índice de plasticidad  
Anexo 1.
4. Clasificación del Suelo  
Anexo 1.
5. Gravedad específica y absorción de agregados  
Anexo 1.

6. Compactación de suelo + 0.3% de Fibra de ichu empleando la energía modificada (molde 6")

| Proctor modificado CBR – Suelo + 0.3% Fibra de ichu |                |          |                 |              |                      |                      |
|-----------------------------------------------------|----------------|----------|-----------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Molde usado                                         | Muestra Húmeda |          |                 |              |                      | Muestra seca         |
|                                                     | W molde        | V molde  | W molde + suelo | W recipiente | W recipiente + suelo | W recipiente + suelo |
|                                                     | gf             | gf       | gf              | gf           | gf                   | gf                   |
| A                                                   | 6,507.50       | 2,120.00 | 10,920.00       | 70.13        | 439.24               | 414.93               |
| A                                                   | 6,507.50       | 2,120.00 | 11,118.00       | 51.57        | 398.27               | 372.10               |
| A                                                   | 6,507.50       | 2,120.00 | 11,250.00       | 52.05        | 362.04               | 331.86               |
| A                                                   | 6,507.50       | 2,120.00 | 11,180.50       | 51.58        | 467.47               | 420.93               |

| Proctor modificado CBR – Suelo + 0.3% Fibra de ichu |        |              |                      |                                |             |           |           |
|-----------------------------------------------------|--------|--------------|----------------------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| Contenido de Humedad                                |        |              |                      | Cálculo del Peso Unitario Seco |             |           |           |
| 1<br>Cantidad de agua                               | W agua | W suelo seco | Contenido de Humedad | W suelo                        | P.U. Húmedo | P.U. Seco | P.U. Seco |
| %                                                   | gf     | gf           | %                    | gf                             | gf/cm3      | gf/cm3    | kN/m3     |
| 4.00                                                | 24.30  | 344.80       | 7.05                 | 4,412.50                       | 2.08        | 1.94      | 19.03     |
| 6.00                                                | 26.20  | 320.50       | 8.17                 | 4,610.50                       | 2.17        | 2.01      | 19.71     |
| 8.00                                                | 30.20  | 279.80       | 10.79                | 4,742.50                       | 2.24        | 2.02      | 19.81     |
| 10.00                                               | 46.50  | 369.40       | 12.59                | 4,673.00                       | 2.20        | 1.95      | 19.12     |



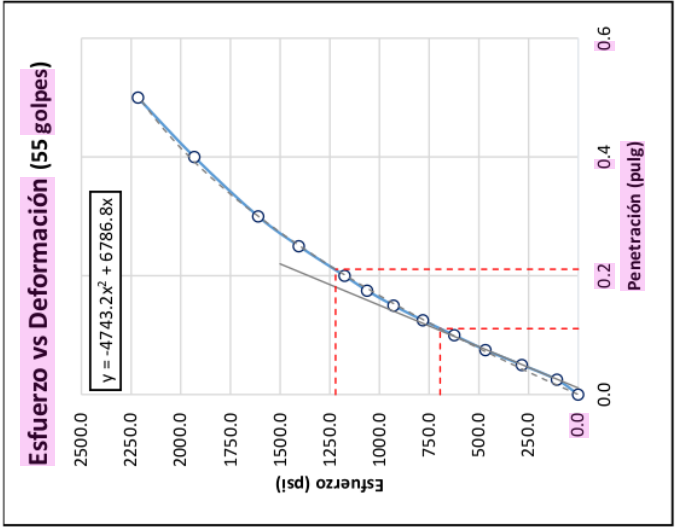
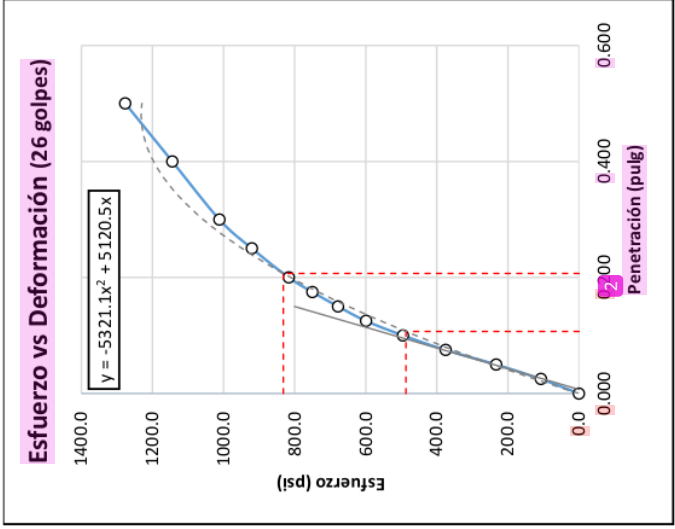
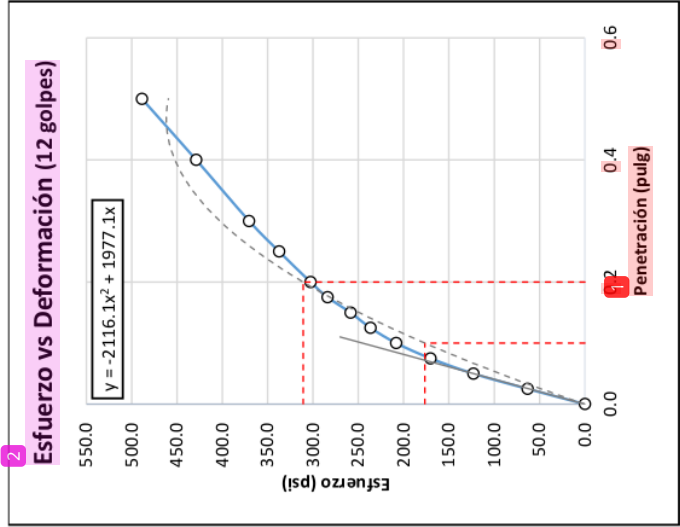
| Variable                  | Und.  | Valores |
|---------------------------|-------|---------|
| Contenido Optimo de Agua  | %     | 9.6     |
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3 | 19.98   |
| Gravedad especifica       |       | 2.72    |



7. Ensayo de CBR – Suelo natural + 0.3% Fibra de ichu

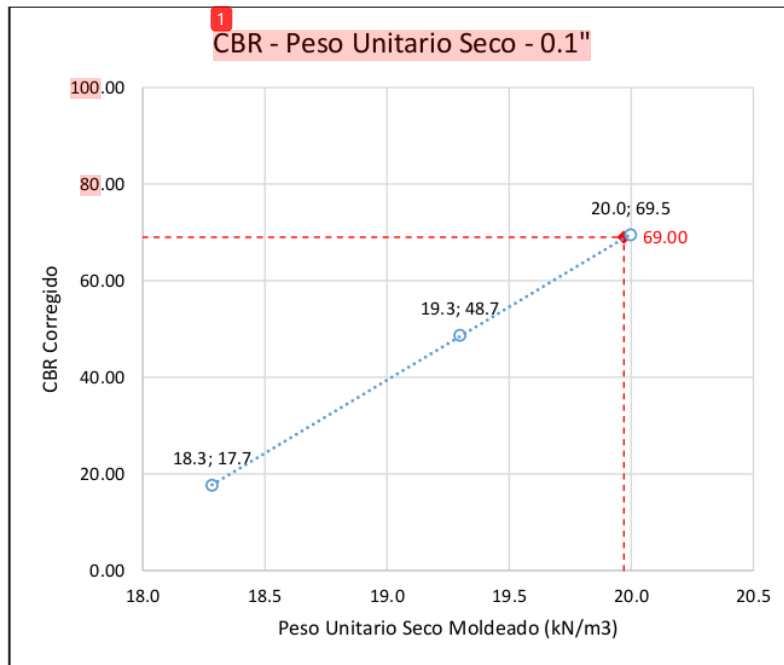
| CBR - Suelo + 0.3% Fibra de ichu |                                  |        |           |           |           |
|----------------------------------|----------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
|                                  | Variable                         | Und.   | 12 golpes | 26 golpes | 55 golpes |
|                                  |                                  |        |           |           |           |
| DATOS                            | Área del pistón de penetración   | pulg.2 |           | 3.00      |           |
|                                  | Diámetro del molde de CBR        | mm     | 152.6     | 152.3     | 152.3     |
|                                  | Altura del molde de CBR          | mm     | 177.7     | 177.6     | 177.8     |
|                                  | Peso del molde de CBR            | gf     | 8,356     | 7,842     | 7,081     |
|                                  | Altura del disco espaciador      | mm     |           | 61.4      |           |
|                                  | Peso de la muestra + molde CBR   | gf     | 12,640    | 12,427    | 11,840    |
|                                  | Masa del recipiente              | g      | 51.56     | 51.59     | 52.05     |
|                                  | Masa muestra húmeda +            | g      | 397.60    | 371.60    | 339.10    |
|                                  | Masa de muestra seca +           | g      | 366.87    | 342.97    | 312.74    |
|                                  | Lectura de dial de deformación   | mm     | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                                  | Lectura de dial de deformación   | mm     | 0.71      | 0.53      | 0.46      |
|                                  | Peso de la muestra + molde CBR   | g      | 12,864.5  | 12,544.0  | 11,900.0  |
|                                  | Masa del recipiente              | g      | 51.59     | 51.59     | 52.07     |
|                                  | Masa muestra húmeda +            | g      | 403.15    | 449.64    | 436.12    |
|                                  | Masa de muestra seca +           | g      | 359.00    | 403.06    | 395.56    |
| RESULTADOS                       | Volumen del molde de CBR         | cm3    | 2,127.76  | 2,119.46  | 2,122.25  |
|                                  | Después de sumergirlo            | cm3    | 2,114.75  | 2,109.74  | 2,113.92  |
|                                  | Masa muestra húmeda              | g      | 346.04    | 320.01    | 287.05    |
|                                  | Masa muestra seca                | g      | 315.31    | 291.38    | 260.69    |
|                                  | Contenido de humedad             | %      | 9.7       | 9.8       | 10.1      |
|                                  | Dato teórico del COA             | %      |           | 9.6       |           |
|                                  | Peso unitario húmedo de la       | gf/cm3 | 2.01      | 2.16      | 2.24      |
|                                  | Peso unitario seco de la muestra | gf/cm3 | 1.83      | 1.97      | 2.04      |
|                                  | Masa muestra húmeda              | g      | 351.56    | 398.05    | 384.05    |
|                                  | Masa muestra seca                | g      | 307.41    | 351.47    | 343.49    |
|                                  | Contenido de humedad             | %      | 14.4      | 13.3      | 11.8      |
|                                  | Peso unitario húmedo de la       | gf/cm3 | 2.13      | 2.23      | 2.28      |
|                                  | Peso unitario seco de la muestra | gf/cm3 | 1.86      | 1.97      | 2.04      |
|                                  | Peso unitario seco de la muestra | kN/m3  | 18.28     | 19.30     | 20.00     |
| % Expansión                      | Altura inicial de la muestra     | mm     | 116.32    | 116.27    | 116.47    |
|                                  | Expansión                        | %      | 0.56      | 0.42      | 0.36      |
|                                  | Altura final de la muestra       | mm     | 116.97    | 116.75    | 116.89    |

| Penetración |       | 12 G. | 26 G. | 55 G. | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.  | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| mm          | pulg  | Dial  | Dial  | Dial  | kgf   | kgf    | kgf    | lbf    | lbf    | lbf    | psi   | psi    | psi    |
| 0.00        | 0.000 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| 0.64        | 0.025 | 17.0  | 31.0  | 31.0  | 84.6  | 143.7  | 143.7  | 189.5  | 321.9  | 321.9  | 63.2  | 107.3  | 107.3  |
| 1.27        | 0.050 | 36.0  | 71.0  | 87.0  | 164.8 | 312.5  | 380.0  | 369.2  | 700.1  | 851.4  | 123.1 | 233.4  | 283.8  |
| 1.91        | 0.075 | 51.0  | 116.0 | 145.0 | 228.1 | 502.4  | 624.8  | 511.0  | 1125.6 | 1399.9 | 170.3 | 375.2  | 466.6  |
| 2.54        | 0.100 | 63.0  | 154.0 | 195.0 | 278.7 | 662.8  | 835.8  | 624.5  | 1485.0 | 1872.7 | 208.2 | 495.0  | 624.2  |
| 3.18        | 0.125 | 72.0  | 187.0 | 245.0 | 316.7 | 802.0  | 1046.8 | 709.6  | 1797.0 | 2345.4 | 236.5 | 599.0  | 781.8  |
| 3.81        | 0.150 | 79.0  | 212.0 | 292.0 | 346.2 | 907.5  | 1245.1 | 775.8  | 2033.4 | 2789.9 | 258.6 | 677.8  | 930.0  |
| 4.45        | 0.175 | 87.0  | 235.0 | 334.0 | 380.0 | 1004.6 | 1422.4 | 851.4  | 2250.9 | 3187.0 | 283.8 | 750.3  | 1062.3 |
| 5.08        | 0.200 | 93.0  | 256.0 | 370.0 | 405.3 | 1093.2 | 1574.3 | 908.2  | 2449.5 | 3527.4 | 302.7 | 816.5  | 1175.8 |
| 6.35        | 0.250 | 104.0 | 289.0 | 443.0 | 451.7 | 1232.5 | 1882.4 | 1012.2 | 2761.5 | 4217.7 | 337.4 | 920.5  | 1405.9 |
| 7.62        | 0.300 | 114.5 | 318.0 | 508.0 | 496.1 | 1354.9 | 2156.7 | 1111.5 | 3035.7 | 4832.3 | 370.5 | 1011.9 | 1610.8 |
| 10.16       | 0.400 | 133.0 | 360.0 | 610.0 | 574.1 | 1532.1 | 2587.2 | 1286.4 | 3432.9 | 5796.8 | 428.8 | 1144.3 | 1932.3 |
| 12.70       | 0.500 | 152.0 | 402.0 | 700.0 | 654.3 | 1709.4 | 2967.0 | 1466.1 | 3830.0 | 6647.8 | 488.7 | 1276.7 | 2215.9 |

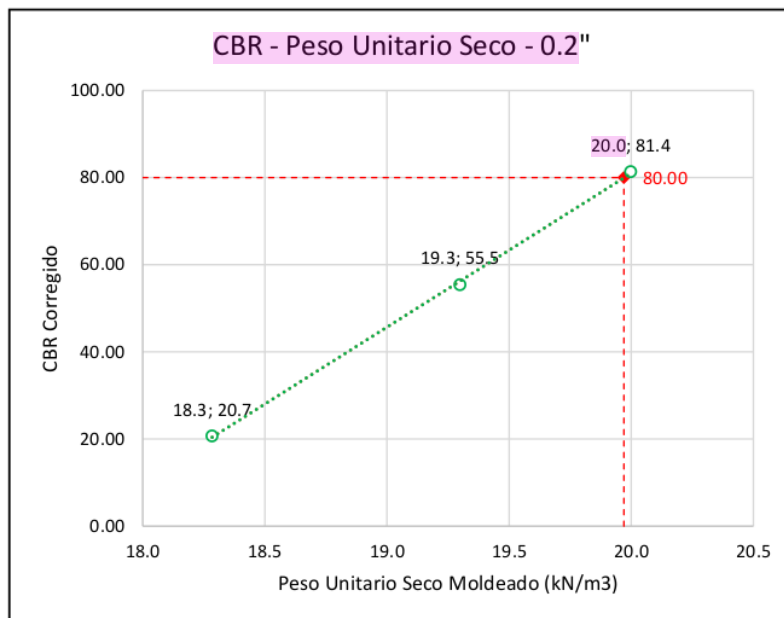


**2**

| Variable                  | Und.               | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.   |
|---------------------------|--------------------|--------|--------|---------|
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m <sup>3</sup>  | 19.98  |        |         |
| Peso Unitario Seco        | gf/cm <sup>3</sup> | 1.86   | 1.97   | 2.04    |
| Peso Unitario Seco        | kN/m <sup>3</sup>  | 18.28  | 19.30  | 20.00   |
| Esfuerzo 0.1"             | psi                | 176.55 | 486.97 | 694.89  |
| Esfuerzo 0.2"             | psi                | 310.78 | 831.94 | 1220.84 |
| CBR 0.1"                  | %                  | 17.65  | 48.70  | 69.49   |
| CBR 0.2"                  | %                  | 20.72  | 55.46  | 81.39   |



**2**  
% CBR 0.1" para el 100% del M.P.U.S. 69.00 %

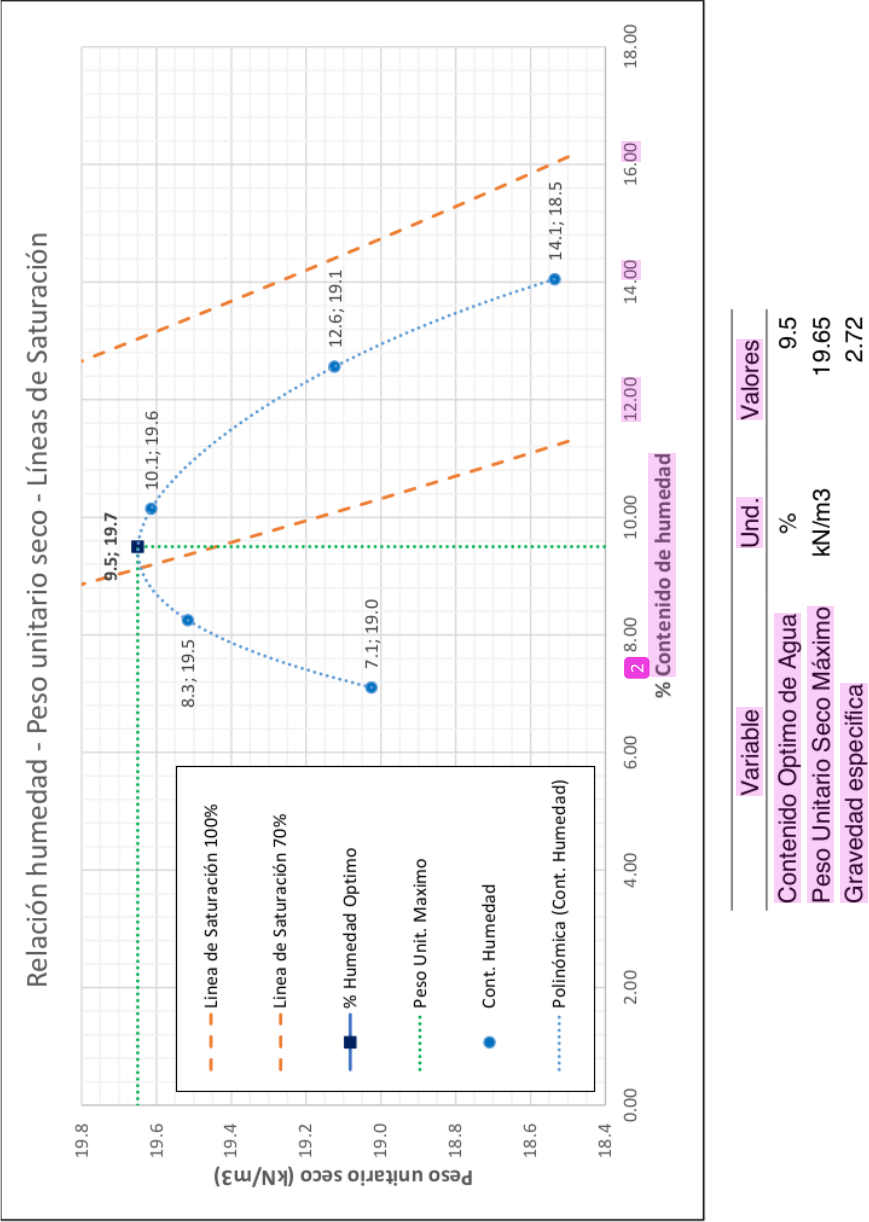


% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S. 80.00 %

8. Compactación de suelo + 0.5% de Fibra de ichu empleando la energía modificada (molde 6")

| Proctor modificado CBR – Suelo + 0.5% Fibra de ichu |               |               |                       |                    |                            |                            |
|-----------------------------------------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| Molde usado                                         | W molde<br>gf | V molde<br>gf | W molde + suelo<br>gf | Muestra Húmeda     |                            | Muestra seca               |
|                                                     |               |               |                       | W recipiente<br>gf | W recipiente + suelo<br>gf | W recipiente + suelo<br>gf |
| A                                                   | 6,504.50      | 2,120.00      | 10,905.50             | 86.60              | 406.10                     | 384.90                     |
| A                                                   | 6,504.50      | 2,120.00      | 11,067.50             | 63.05              | 434.32                     | 406.00                     |
| A                                                   | 6,504.50      | 2,120.00      | 11,176.50             | 86.63              | 462.34                     | 427.74                     |
| A                                                   | 6,504.50      | 2,120.00      | 11,168.00             | 83.99              | 482.72                     | 438.25                     |
| A                                                   | 6,505.50      | 2,120.00      | 11,083.50             | 145.99             | 519.40                     | 473.39                     |

| Proctor modificado CBR – Suelo + 0.5% Fibra de ichu |                      |            |            |                                |        |        |       |
|-----------------------------------------------------|----------------------|------------|------------|--------------------------------|--------|--------|-------|
| 1<br>Cantidad<br>de agua                            | Contenido de Humedad |            |            | Cálculo del Peso Unitario Seco |        |        |       |
|                                                     | W agua               | W          | Contenido  | W suelo                        | P.U.   | P.U.   | P.U.  |
|                                                     |                      | suelo seco | de Humedad |                                | Húmedo | Seco   | Seco  |
| %                                                   | gf                   | gf         | %          | gf                             | gf/cm3 | gf/cm3 | kN/m3 |
| 3.00                                                | 21.20                | 298.30     | 7.11       | 4,401.00                       | 2.08   | 1.94   | 19.03 |
| 5.00                                                | 28.30                | 343.00     | 8.25       | 4,563.00                       | 2.15   | 1.99   | 19.52 |
| 7.00                                                | 34.60                | 341.10     | 10.14      | 4,672.00                       | 2.20   | 2.00   | 19.61 |
| 9.00                                                | 44.50                | 354.30     | 12.56      | 4,663.50                       | 2.20   | 1.95   | 19.12 |
| 11.00                                               | 46.00                | 327.40     | 14.05      | 4,578.00                       | 2.16   | 1.89   | 18.54 |



9. Ensayo de CBR – Suelo natural + 0.5% Fibra de ichu

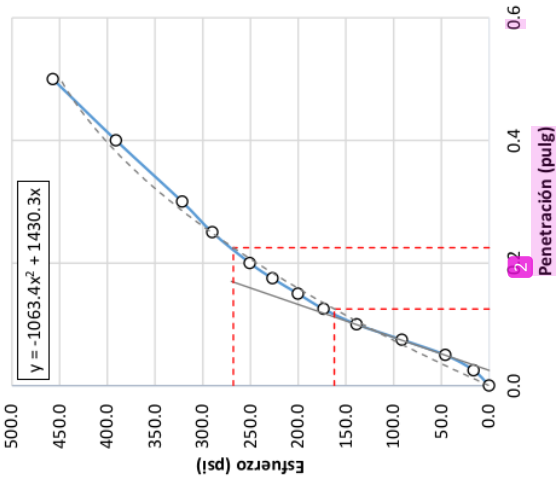
| CBR - Suelo + 0.5% Fibra de ichu |                                    |        |           |           |          |
|----------------------------------|------------------------------------|--------|-----------|-----------|----------|
|                                  | Variable                           | Und.   | 12 golpes |           |          |
|                                  |                                    |        | 26 golpes | 55 golpes |          |
| DATOS                            | Área del pistón de penetración     | pulg.2 |           | 3.00      |          |
|                                  | Diámetro del molde de CBR          | mm     | 152.3     | 152.4     | 152.4    |
|                                  | Altura del molde de CBR            | mm     | 177.8     | 177.7     | 177.7    |
|                                  | Peso del molde de CBR              | gf     | 7,913     | 9,047     | 9,088    |
|                                  | Altura del disco espaciador        | mm     |           | 61.4      |          |
|                                  | Peso de la muestra + molde CBR     | gf     | 12,147    | 13,561    | 13,766   |
|                                  | Masa del recipiente                | g      | 63.00     | 86.60     | 145.90   |
|                                  | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 417.00    | 480.00    | 528.00   |
|                                  | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 385.20    | 444.80    | 494.20   |
|                                  | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.00      | 0.00      | 0.00     |
|                                  | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.46      | 0.66      | 0.51     |
|                                  | Peso de la muestra + molde CBR     | g      | 12,361.5  | 13,708.5  | 13,855.5 |
|                                  | Masa del recipiente                | g      | 63.00     | 86.50     | 145.90   |
|                                  | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 363.50    | 380.80    | 424.00   |
|                                  | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 322.10    | 345.60    | 393.20   |
| RESULTADOS                       | Volumen del molde de CBR           |        |           |           |          |
|                                  | Antes de sumergirlo                | cm3    | 2,121.56  | 2,123.85  | 2,123.94 |
|                                  | Después de sumergirlo              | cm3    | 2,113.23  | 2,111.80  | 2,114.67 |
|                                  | Masa muestra húmeda                | g      | 354.00    | 393.40    | 382.10   |
|                                  | Masa muestra seca                  | g      | 322.20    | 358.20    | 348.30   |
|                                  | Contenido de humedad               | %      | 9.9       | 9.8       | 9.7      |
|                                  | Dato teórico del COA               | %      |           | 9.5       |          |
|                                  | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.00      | 2.13      | 2.20     |
|                                  | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.82      | 1.94      | 2.01     |
|                                  | Masa muestra húmeda                | g      | 300.50    | 294.30    | 278.10   |
|                                  | Masa muestra seca                  | g      | 259.10    | 259.10    | 247.30   |
|                                  | Contenido de humedad               | %      | 16.0      | 13.6      | 12.5     |
|                                  | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.11      | 2.21      | 2.25     |
|                                  | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.82      | 1.94      | 2.01     |
|                                  | Peso unitario seco de la muestra   | kN/m3  | 17.80     | 19.06     | 19.66    |
|                                  | Altura inicial de la muestra       | mm     | 116.42    | 116.38    | 116.37   |
|                                  | Expansión                          | %      | 0.36      | 0.52      | 0.40     |
|                                  | Altura final de la muestra         | mm     | 116.84    | 116.99    | 116.84   |

| Penetración | 12 G. | 26 G. | 55 G. | 12 G. | kgf   | 55 G.  | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.  | 12 G.  | 26 G. | 55 G.  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| mm          | pulg  | Dial  | Dial  | kgf   | kgf   | kgf    | lbf    | lbf    | lbf    | psi    | psi   | psi    |
| 0.00        | 0.000 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    |
| 0.64        | 0.025 | 2.1   | 5.5   | 23.5  | 21.7  | 36.1   | 112.0  | 48.6   | 80.8   | 251.0  | 16.2  | 26.9   |
| 1.27        | 0.050 | 11.5  | 29.0  | 65.0  | 61.4  | 135.2  | 287.2  | 137.5  | 303.0  | 643.4  | 45.8  | 101.0  |
| 1.91        | 0.075 | 26.0  | 68.0  | 115.0 | 122.6 | 299.8  | 498.2  | 274.6  | 671.8  | 1116.2 | 91.5  | 223.9  |
| 2.54        | 0.100 | 41.0  | 105.0 | 161.0 | 185.9 | 456.0  | 692.3  | 416.5  | 1021.6 | 1551.2 | 138.8 | 340.5  |
| 3.18        | 0.125 | 52.0  | 139.0 | 210.0 | 232.3 | 599.5  | 899.1  | 520.5  | 1343.1 | 2014.5 | 173.5 | 447.7  |
| 3.81        | 0.150 | 60.5  | 170.0 | 244.0 | 268.2 | 730.3  | 1042.6 | 600.9  | 1636.3 | 2336.0 | 200.3 | 545.4  |
| 4.45        | 0.175 | 69.0  | 199.0 | 280.0 | 304.0 | 852.7  | 1194.5 | 681.2  | 1910.5 | 2676.4 | 227.1 | 636.8  |
| 5.08        | 0.200 | 76.5  | 224.0 | 314.0 | 335.7 | 958.2  | 1338.0 | 752.1  | 2146.9 | 2997.9 | 250.7 | 715.6  |
| 6.35        | 0.250 | 89.0  | 269.0 | 377.0 | 388.4 | 1148.1 | 1603.9 | 870.3  | 2572.4 | 3593.6 | 290.1 | 857.5  |
| 7.62        | 0.300 | 99.0  | 308.0 | 433.0 | 430.6 | 1312.7 | 1840.2 | 964.9  | 2941.2 | 4123.1 | 321.6 | 980.4  |
| 10.16       | 0.400 | 121.0 | 369.0 | 525.0 | 523.5 | 1570.1 | 2228.5 | 1172.9 | 3518.0 | 4993.1 | 391.0 | 1172.7 |
| 12.70       | 0.500 | 142.0 | 420.0 | 599.0 | 612.1 | 1785.3 | 2540.7 | 1371.5 | 4000.2 | 5692.8 | 457.2 | 1333.4 |



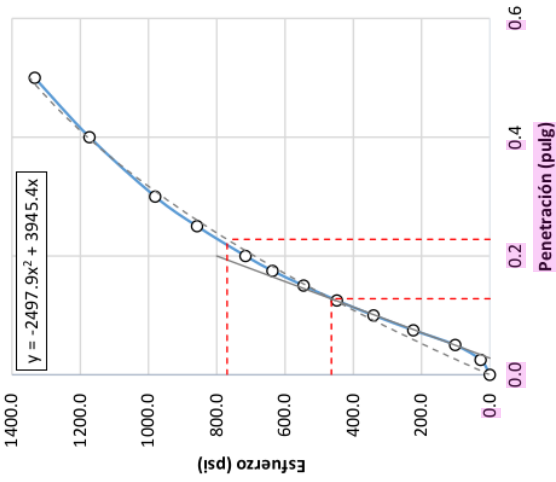
2

Esfuerzo vs Deformación (12 golpes)



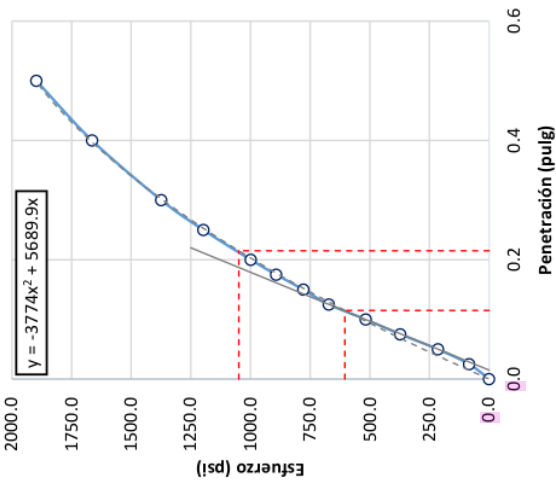
2

Esfuerzo vs Deformación (26 golpes)



2

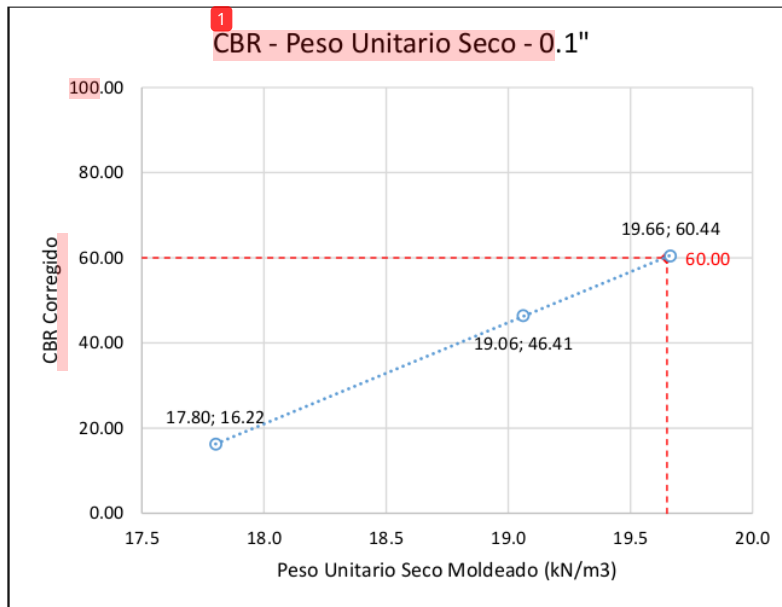
Esfuerzo vs Deformación (55 golpes)



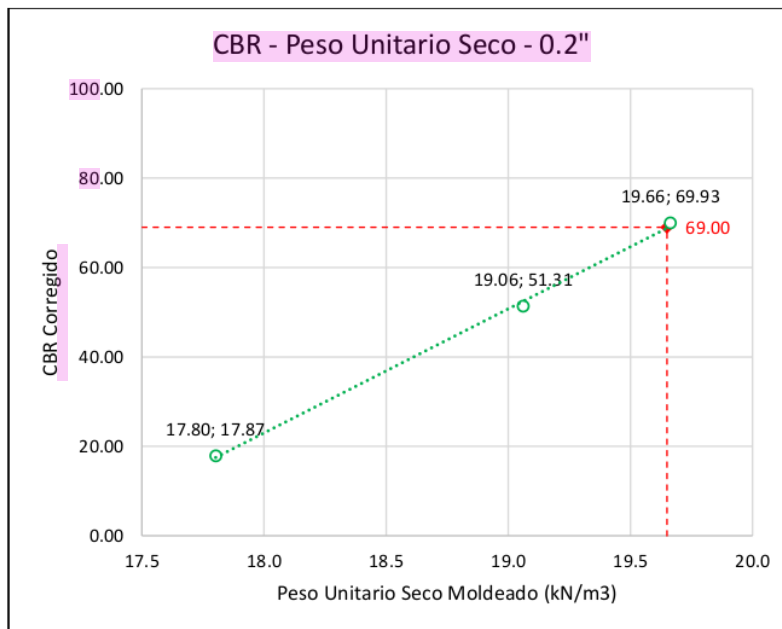
2

Variable

| Variable                  | Und.   | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.   |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------|
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3  | 19.65  |        |         |
| Peso Unitario Seco        | gf/cm3 | 1.82   | 1.94   | 2.01    |
| Peso Unitario Seco        | kN/m3  | 17.80  | 19.06  | 19.66   |
| Esfuerzo 0.1"             | psi    | 162.17 | 464.09 | 604.43  |
| Esfuerzo 0.2"             | psi    | 267.98 | 769.70 | 1048.88 |
| CBR 0.1"                  | %      | 16.22  | 46.41  | 60.44   |
| CBR 0.2"                  | %      | 17.87  | 51.31  | 69.93   |



**2**  
% CBR 0.1" para el 100% del M.P.U.S. 60.00 %

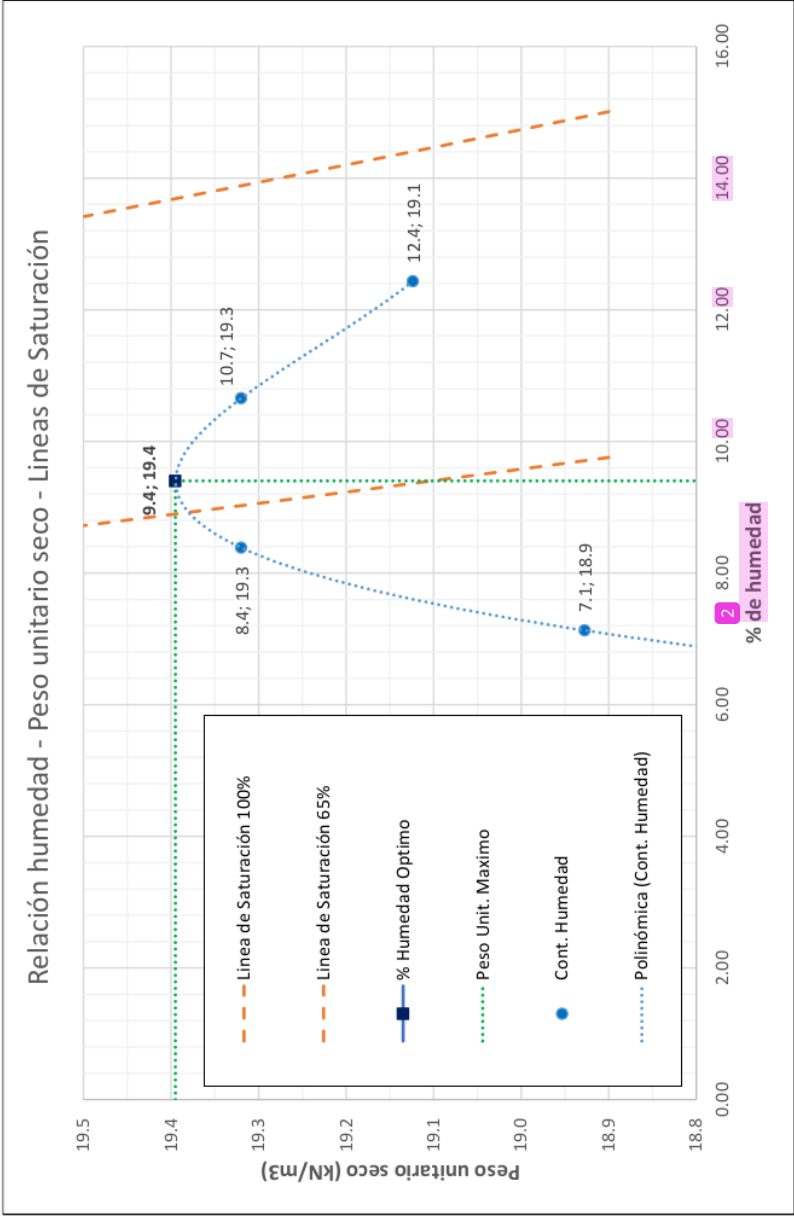


% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S. 69.00 %

10. Compactación de suelo + 0.7% de Fibra de ichu empleando la energía modificada (molde 6")

| Proctor modificado CBR – Suelo + 0.7% Fibra de ichu |            |            |                    |                 |                         |                         |
|-----------------------------------------------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Molde usado                                         | W molde gf | V molde gf | W molde + suelo gf | Muestra Húmeda  |                         | Muestra seca            |
|                                                     |            |            |                    | W recipiente gf | W recipiente + suelo gf | W recipiente + suelo gf |
| A                                                   | 6,504.50   | 2,120.00   | 10,897.00          | 52.05           | 424.67                  | 399.92                  |
| A                                                   | 6,504.50   | 2,120.00   | 11,023.00          | 51.58           | 417.30                  | 389.05                  |
| A                                                   | 6,504.50   | 2,120.00   | 11,128.50          | 70.13           | 412.79                  | 379.80                  |
| A                                                   | 6,504.50   | 2,120.00   | 11,139.50          | 51.57           | 476.60                  | 429.59                  |

| Proctor modificado CBR – Suelo + 0.7% Fibra de ichu |                      |                 |                        |                                             |                    |                  |                 |
|-----------------------------------------------------|----------------------|-----------------|------------------------|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| Cantidad de agua %                                  | Contenido de Humedad |                 |                        | Cálculo del Peso Unitario Seco <sup>1</sup> |                    |                  |                 |
|                                                     | W agua gf            | W suelo seco gf | Contenido de Humedad % | W suelo gf                                  | P.U. Húmedo gf/cm3 | P.U. Seco gf/cm3 | P.U. Seco kN/m3 |
| 4.00                                                | 24.80                | 347.90          | 7.13                   | 4,392.50                                    | 2.07               | 1.93             | 18.93           |
| 6.00                                                | 28.30                | 337.50          | 8.39                   | 4,518.50                                    | 2.13               | 1.97             | 19.32           |
| 8.00                                                | 33.00                | 309.70          | 10.66                  | 4,624.00                                    | 2.18               | 1.97             | 19.32           |
| 10.00                                               | 47.00                | 378.00          | 12.43                  | 4,635.00                                    | 2.19               | 1.95             | 19.12           |



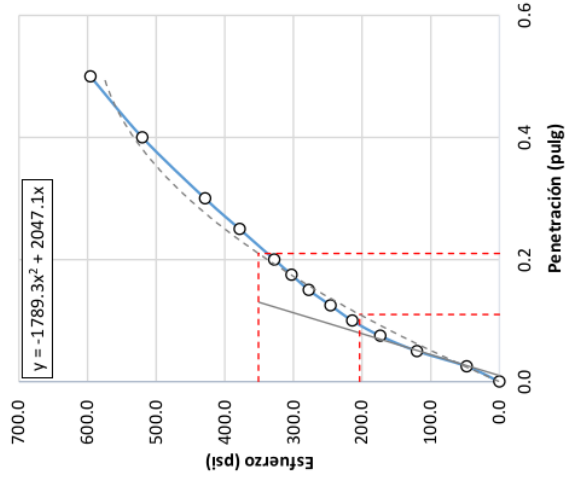
| Variable                  | Und.  | Valores |
|---------------------------|-------|---------|
| Contenido Optimo de Agua  | %     | 9.4     |
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3 | 19.40   |
| Gravedad especifica       |       | 2.72    |

11. Ensayo de CBR – Suelo natural + 0.7% Fibra de ichu

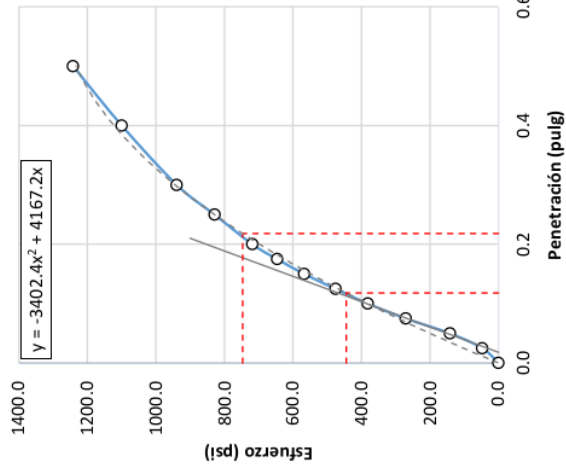
| CBR - Suelo natural + 0.7% Fibra de ichu |                                    |        |           |           |           |
|------------------------------------------|------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Variable                                 |                                    | Und.   | 12 golpes | 26 golpes | 55 golpes |
| DATOS                                    | Área del pistón de penetración     | pulg.2 |           | 3.00      |           |
|                                          | Diámetro del molde de CBR          | mm     | 152.3     | 152.4     | 152.4     |
|                                          | Altura del molde de CBR            | mm     | 177.8     | 177.7     | 177.7     |
|                                          | Peso del molde de CBR              | gf     | 7,913     | 9,047     | 9,088     |
|                                          | Altura del disco espaciador        | mm     |           | 61.4      |           |
|                                          | Peso de la muestra + molde CBR     | gf     | 12,122    | 13,537    | 13,721    |
|                                          | Masa del recipiente                | g      | 51.58     | 52.10     | 51.59     |
|                                          | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 391.88    | 404.08    | 392.32    |
|                                          | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 361.80    | 373.60    | 361.60    |
|                                          | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                                          | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.74      | 1.14      | 0.81      |
|                                          | Peso de la muestra + molde CBR     | g      | 12,343.0  | 13,704.5  | 13,850.5  |
|                                          | Masa del recipiente                | g      | 70.06     | 52.06     | 51.55     |
|                                          | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 367.93    | 308.62    | 385.67    |
|                                          | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 328.56    | 275.86    | 344.03    |
| RESULTADOS                               | Volumen del molde de CBR           | cm3    | 2,121.56  | 2,123.85  | 2,123.94  |
|                                          | Después de sumergirlo              | cm3    | 2,108.14  | 2,102.99  | 2,109.11  |
|                                          | Masa muestra húmeda                | g      | 340.30    | 351.98    | 340.73    |
|                                          | Masa muestra seca                  | g      | 310.22    | 321.50    | 310.01    |
|                                          | Contenido de humedad               | %      | 9.7       | 9.5       | 9.9       |
|                                          | Dato teórico del COA               | %      |           | 9.4       |           |
|                                          | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 1.98      | 2.11      | 2.18      |
|                                          | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.81      | 1.93      | 1.98      |
|                                          | Masa muestra húmeda                | g      | 297.87    | 256.56    | 334.12    |
|                                          | Masa muestra seca                  | g      | 258.50    | 223.80    | 292.48    |
|                                          | Contenido de humedad               | %      | 15.2      | 14.6      | 14.2      |
|                                          | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.10      | 2.21      | 2.26      |
|                                          | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.82      | 1.93      | 1.98      |
|                                          | Peso unitario seco de la muestra   | kN/m3  | 17.89     | 18.95     | 19.39     |
|                                          | Altura inicial de la muestra       | mm     | 116.42    | 116.38    | 116.37    |
| Expansión                                | Expansión                          | %      | 0.58      | 0.90      | 0.64      |
|                                          | Altura final de la muestra         | mm     | 117.09    | 117.43    | 117.11    |

| Penetración |       | 12 G. | 26 G. | 55 G. | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.  | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| mm          | pulg  | Dial  | Dial  | Dial  | kgf   | kgf    | kgf    | lbf    | lbf    | lbf    | psi   | psi    | psi    |
| 0.00        | 0.000 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| 0.64        | 0.025 | 12.0  | 12.0  | 22.0  | 63.5  | 63.5   | 105.7  | 142.2  | 142.2  | 236.8  | 47.4  | 47.4   | 78.9   |
| 1.27        | 0.050 | 35.0  | 42.0  | 64.0  | 160.5 | 190.1  | 282.9  | 359.7  | 425.9  | 633.9  | 119.9 | 142.0  | 211.3  |
| 1.91        | 0.075 | 52.0  | 83.0  | 109.0 | 232.3 | 363.1  | 472.8  | 520.5  | 813.6  | 1059.5 | 173.5 | 271.2  | 353.2  |
| 2.54        | 0.100 | 65.0  | 118.0 | 150.0 | 287.2 | 510.8  | 645.9  | 643.4  | 1144.6 | 1447.1 | 214.5 | 381.5  | 482.4  |
| 3.18        | 0.125 | 75.0  | 148.0 | 189.0 | 329.4 | 637.4  | 810.5  | 738.0  | 1428.2 | 1815.9 | 246.0 | 476.1  | 605.3  |
| 3.81        | 0.150 | 85.0  | 177.0 | 229.0 | 371.6 | 759.8  | 979.3  | 832.5  | 1702.5 | 2194.2 | 277.5 | 567.5  | 731.4  |
| 4.45        | 0.175 | 93.0  | 202.0 | 265.0 | 405.3 | 865.3  | 1131.2 | 908.2  | 1938.8 | 2534.6 | 302.7 | 646.3  | 844.9  |
| 5.08        | 0.200 | 101.0 | 225.0 | 300.0 | 439.1 | 962.4  | 1278.9 | 983.8  | 2156.3 | 2865.5 | 327.9 | 718.8  | 955.2  |
| 6.35        | 0.250 | 117.0 | 260.0 | 363.0 | 506.6 | 1110.1 | 1544.8 | 1135.1 | 2487.3 | 3461.2 | 378.4 | 829.1  | 1153.7 |
| 7.62        | 0.300 | 133.0 | 295.0 | 412.0 | 574.1 | 1257.8 | 1751.6 | 1286.4 | 2818.2 | 3924.6 | 428.8 | 939.4  | 1308.2 |
| 10.16       | 0.400 | 162.0 | 346.0 | 511.0 | 696.5 | 1473.0 | 2169.4 | 1560.6 | 3300.5 | 4860.7 | 520.2 | 1100.2 | 1620.2 |
| 12.70       | 0.500 | 186.0 | 391.0 | 580.0 | 797.8 | 1662.9 | 2460.6 | 1787.6 | 3726.0 | 5513.1 | 595.9 | 1242.0 | 1837.7 |

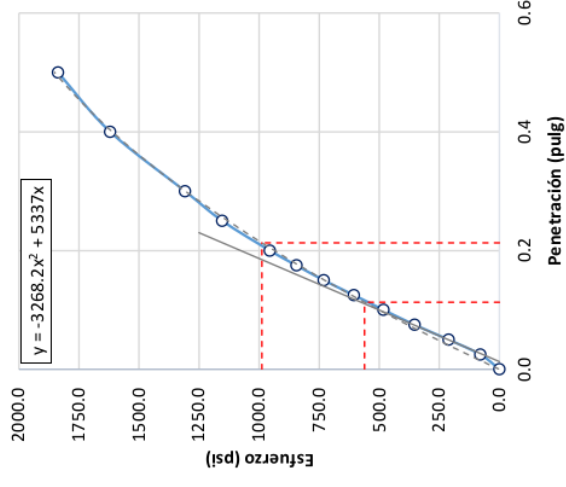
2 **Esfuerzo vs Deformación (12 golpes)**



**Esfuerzo vs Deformación (26 golpes)**

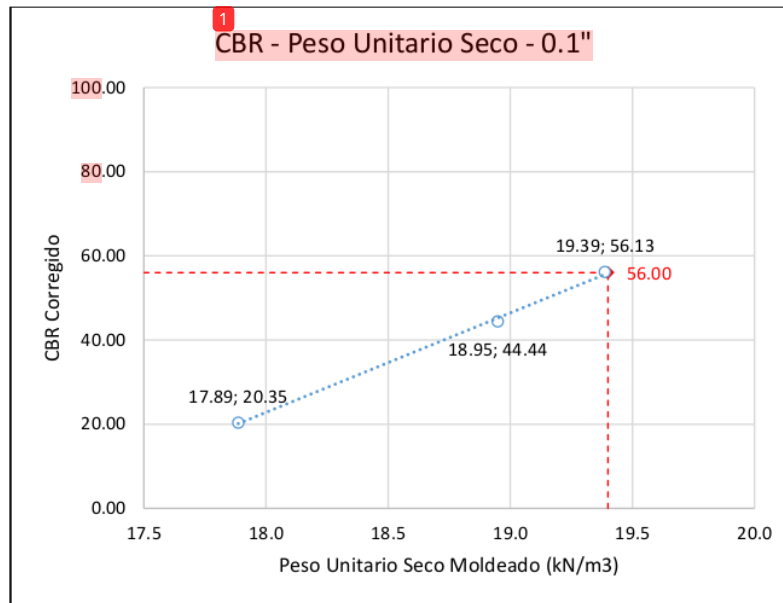


**Esfuerzo vs Deformación (55 golpes)**

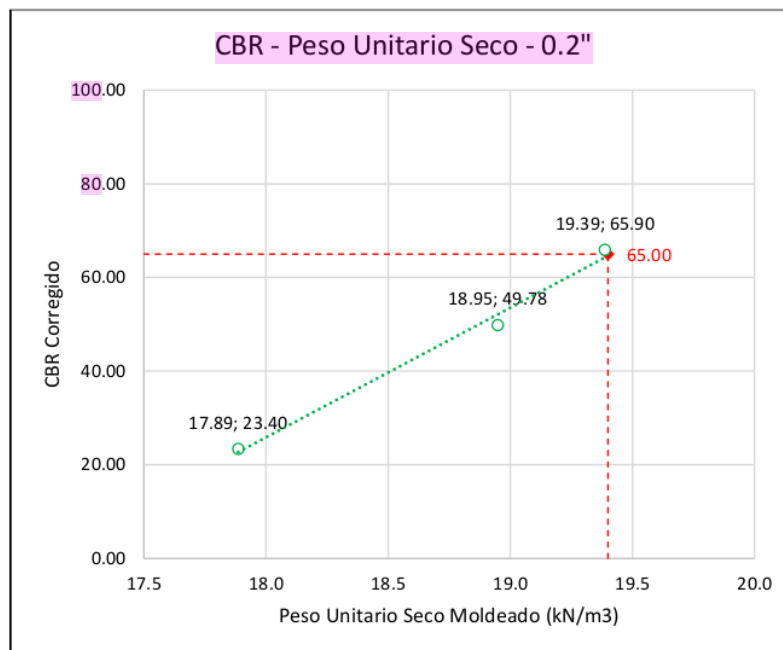


2

| Variable                  | Und.   | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.  |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3  | 19.40  |        |        |
| Peso Unitario Seco        | gf/cm3 | 1.82   | 1.93   | 1.98   |
| Peso Unitario Seco        | kN/m3  | 17.89  | 18.95  | 19.39  |
| Esfuerzo 0.1"             | psi    | 203.53 | 444.35 | 561.35 |
| Esfuerzo 0.2"             | psi    | 350.98 | 746.75 | 988.51 |
| CBR 0.1"                  | %      | 20.35  | 44.44  | 56.13  |
| CBR 0.2"                  | %      | 23.40  | 49.78  | 65.90  |



**2**  
% CBR 0.1" para el 100% del M.P.U.S. 56.00 %



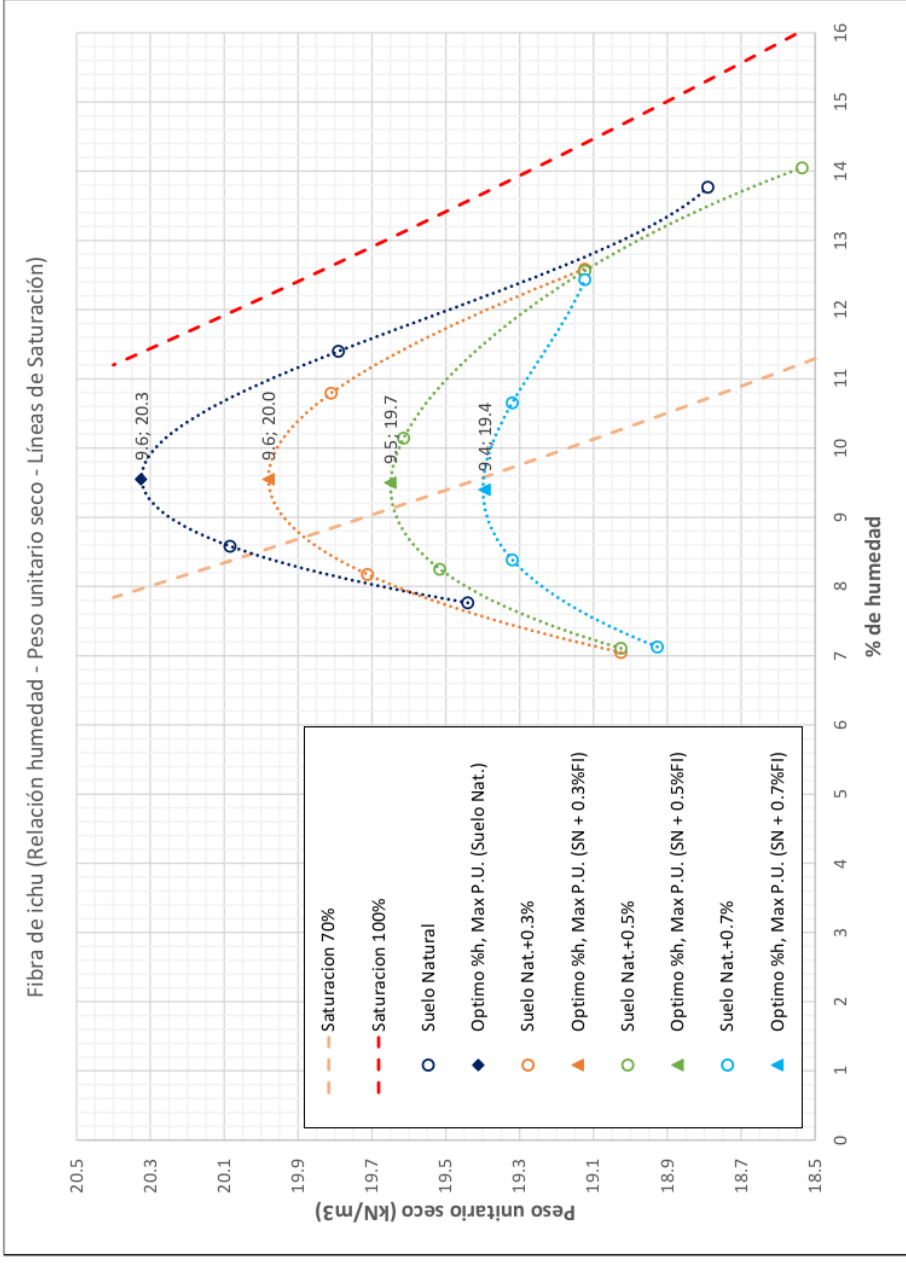
% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S. 65.00 %



## 12. COMPARACION DE RESULTADOS

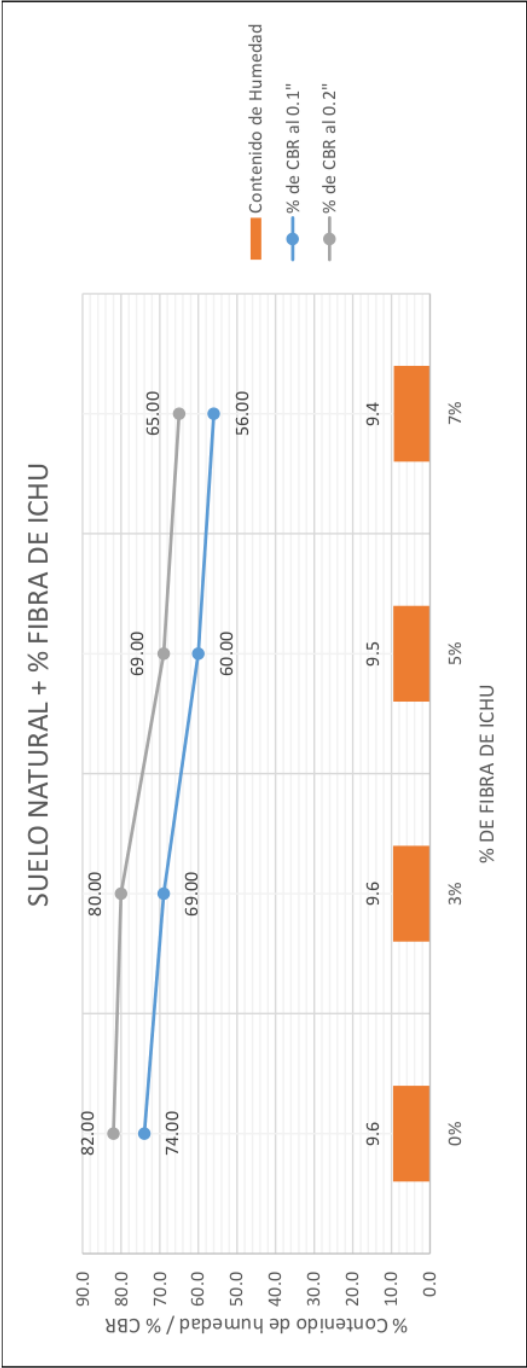
### 12.1. PROCTOR MODIFICADO

| Suelo Natural                                      |      | Suelo Natural +<br>0.3% Fibra de<br>Ichu |      | Suelo Natural +<br>0.5% Fibra de Ichu |      | Suelo Natural +<br>0.7% Fibra de<br>Ichu |      |
|----------------------------------------------------|------|------------------------------------------|------|---------------------------------------|------|------------------------------------------|------|
| %w                                                 | Yd   | %w                                       | Yd   | %w                                    | Yd   | %w                                       | Yd   |
| 7.8                                                | 19.4 | 7.0                                      | 19.0 | 7.1                                   | 19.0 | 7.1                                      | 18.9 |
| 8.6                                                | 20.1 | 8.2                                      | 19.7 | 8.3                                   | 19.5 | 8.4                                      | 19.3 |
| 11.4                                               | 19.8 | 10.8                                     | 19.8 | 10.1                                  | 19.6 | 10.7                                     | 19.3 |
| 13.8                                               | 18.8 | 12.6                                     | 19.1 | 12.6                                  | 19.1 | 12.4                                     | 19.1 |
| 0.0                                                | 0.0  | 0.0                                      | 0.0  | 14.1                                  | 18.5 | 0.0                                      | 0.0  |
| Optimo Contenido de humedad y Máximo Peso Unitario |      |                                          |      |                                       |      |                                          |      |
| 9.6                                                | 20.3 | 9.6                                      | 20.0 | 9.5                                   | 19.7 | 9.4                                      | 19.4 |



12.2. CBR

| Ítems                        | und   | Suelo natural |       |       | Suelo natural + 0.3 %<br>Fibra ichu |       |       | Suelo natural + 0.5 %<br>fibra ichu |       |       | Suelo natural + 0.7 %<br>Fibra ichu |       |       |
|------------------------------|-------|---------------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|
|                              |       | 12            | 26    | 55    | 12                                  | 26    | 55    | 12                                  | 26    | 55    | 12                                  | 26    | 55    |
| Contenido de Humedad Optimo  |       |               | 9.6   |       |                                     | 9.6   |       |                                     | 9.5   |       |                                     | 9.4   |       |
| Peso Unitario Seco Máx. 100% | kN/m3 |               | 20.3  |       |                                     | 20.0  |       |                                     | 19.7  |       |                                     | 19.4  |       |
| Expansión                    | %     | 0.6           | 0.7   | 0.8   | 0.2                                 | 0.2   | 0.1   | 0.1                                 | 0.2   | 0.2   | 0.2                                 | 0.4   | 0.3   |
| Compactación                 | %     | 90.0          | 94.0  | 100.0 | 92.0                                | 97.0  | 100.0 | 91.0                                | 97.0  | 100.0 | 92.0                                | 98.0  | 100.0 |
| % CBR corregido a 0.1"       | %     |               | 74.00 |       |                                     | 69.00 |       |                                     | 60.00 |       |                                     | 56.00 |       |
| % CBR corregido a 0.2"       | %     |               | 82.00 |       |                                     | 80.00 |       |                                     | 69.00 |       |                                     | 65.00 |       |



Se puede concluir que los resultados obtenidos de los ensayos de mezcla de suelo natural + % de fibra de ichu, no incrementa la capacidad de resistencia del afirmado, a medida que se incrementa la dosificación de % de fibra, el % de CBR disminuye.

**1**

### **Anexo 3**

*Resultados de ensayos de laboratorio de la dosificación de afirmado + ceniza de ichu (pasante el tamiz n°60)*

1. Análisis Granulométrico

Anexo 1.

2. Determinación del porcentaje de Abrasión de los Ángeles

Anexo 1.

3. Determinación del índice de plasticidad

Anexo 1.

4. Clasificación del Suelo

Anexo 1.

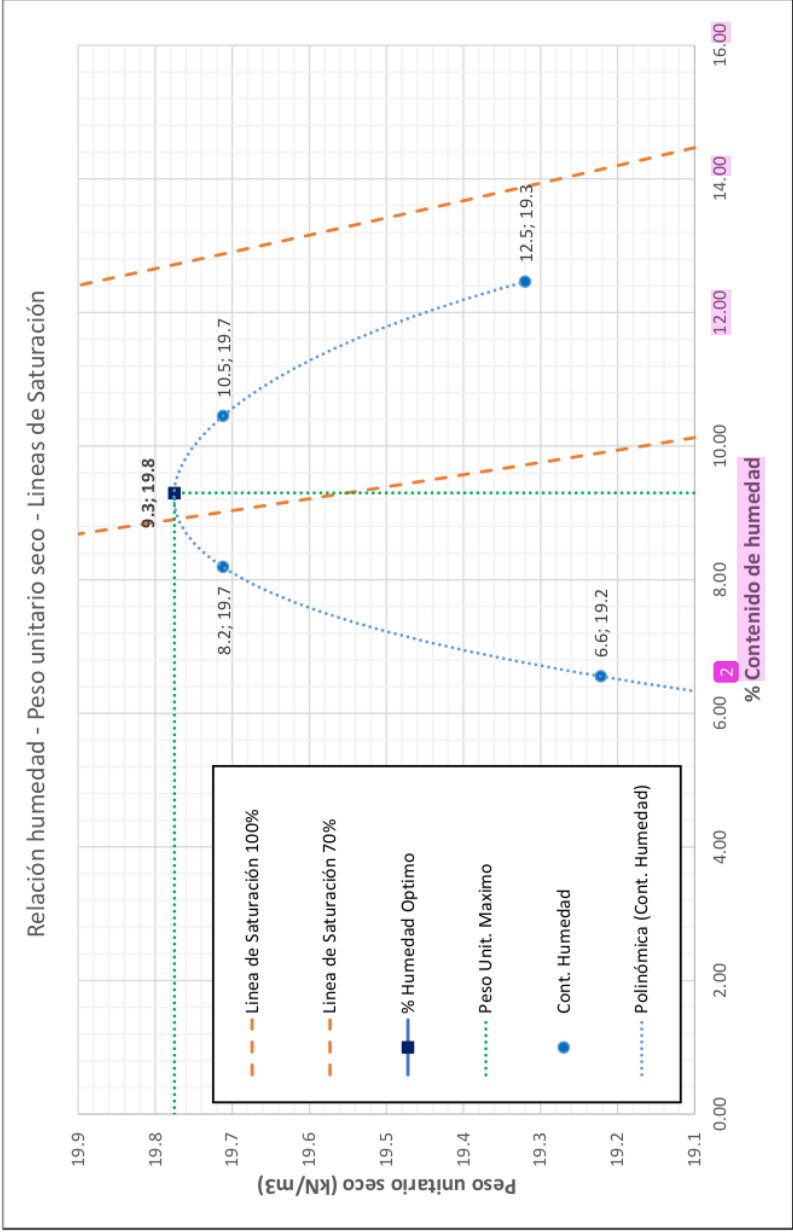
5. Gravedad específica y absorción de agregados

Anexo 1.

6. Compactación de suelo + 1.0% de Ceniza de ichu empleando la <sup>1</sup>energía modificada (molde 6")

| Proctor modificado CBR – Suelo + 1.0% Ceniza de ichu |                |          |                 |              |                      |                      |
|------------------------------------------------------|----------------|----------|-----------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Molde usado                                          | Muestra Húmeda |          |                 |              | Muestra seca         |                      |
|                                                      | W molde        | V molde  | W molde + suelo | W recipiente | W recipiente + suelo | W recipiente + suelo |
|                                                      | gf             | gf       | gf              | gf           | gf                   | gf                   |
| A                                                    | 6,504.00       | 2,120.00 | 10,932.50       | 72.00        | 405.30               | 384.80               |
| A                                                    | 6,504.00       | 2,120.00 | 11,109.50       | 70.00        | 449.10               | 420.40               |
| A                                                    | 6,504.00       | 2,120.00 | 11,218.00       | 72.00        | 332.00               | 307.40               |
| A                                                    | 6,504.00       | 2,120.00 | 11,216.50       | 70.00        | 440.00               | 399.00               |

| Proctor modificado CBR – Suelo + 1.0% Ceniza de ichu |        |         |                      |                                |             |           |           |
|------------------------------------------------------|--------|---------|----------------------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| Contenido de Humedad                                 |        |         |                      | Cálculo del Peso Unitario Seco |             |           |           |
| Cantidad de agua                                     | W agua | W suelo | Contenido de Humedad | W suelo                        | P.U. Húmedo | P.U. Seco | P.U. Seco |
|                                                      | gf     | gf      | %                    | gf                             | gf/cm3      | gf/cm3    | kN/m3     |
|                                                      | %      |         |                      |                                |             |           |           |
| 4.00                                                 | 20.50  | 312.80  | 6.55                 | 4,428.50                       | 2.09        | 1.96      | 19.22     |
| 6.00                                                 | 28.70  | 350.40  | 8.19                 | 4,605.50                       | 2.17        | 2.01      | 19.71     |
| 8.00                                                 | 24.60  | 235.40  | 10.45                | 4,714.00                       | 2.22        | 2.01      | 19.71     |
| 10.00                                                | 41.00  | 329.00  | 12.46                | 4,712.50                       | 2.22        | 1.97      | 19.32     |



7. Ensayo de CBR – Suelo natural + 1.0% Ceniza de ichu

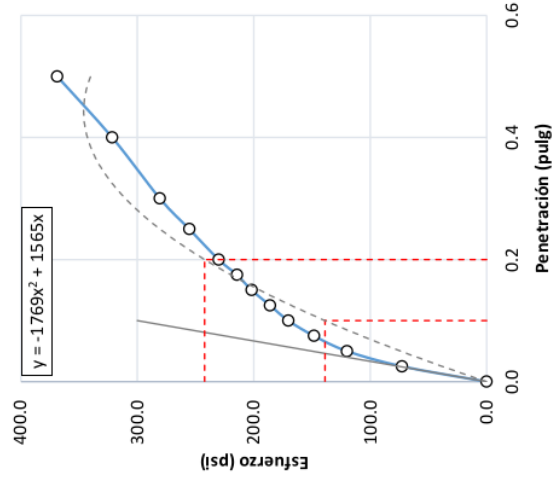
| CBR - Suelo natural + 1.0% Ceniza de ichu |                                    |                    |           |           |          |
|-------------------------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------|-----------|----------|
|                                           | Variable                           | Und.               | 12 golpes |           |          |
|                                           |                                    |                    | 26 golpes | 55 golpes |          |
| DATOS                                     | Área del pistón de penetración     | pulg.2             | 3.00      |           |          |
|                                           | Diámetro del molde de CBR          | mm                 | 152.3     | 152.3     | 152.6    |
|                                           | Altura del molde de CBR            | mm                 | 177.8     | 177.6     | 177.7    |
|                                           | Peso del molde de CBR              | gf                 | 7,074     | 7,835     | 8,349    |
|                                           | Altura del disco espaciador        | mm                 | 61.4      |           |          |
|                                           | Peso de la muestra + molde CBR     | gf                 | 11,282    | 12,279    | 13,011   |
|                                           | Masa del recipiente                | g                  | 70.00     | 72.00     | 52.00    |
|                                           | Masa muestra húmeda + recipiente   | g                  | 377.10    | 401.30    | 304.90   |
|                                           | Masa de muestra seca + recipiente  | g                  | 350.90    | 373.00    | 284.30   |
|                                           | Lectura de dial de deformación     | mm                 | 0.00      | 0.00      | 0.00     |
|                                           | Lectura de dial de deformación     | mm                 | 0.48      | 0.53      | 0.66     |
|                                           | Peso de la muestra + molde CBR     | g                  | 11,550.5  | 12,479.5  | 13,151.5 |
| RESULTADOS                                | Masa del recipiente                | g                  | 70.00     | 72.00     | 70.00    |
|                                           | Masa muestra húmeda + recipiente   | g                  | 377.90    | 390.40    | 382.20   |
|                                           | Masa de muestra seca + recipiente  | g                  | 334.70    | 351.40    | 347.20   |
|                                           | Volumen del molde de CBR           | cm3                | 2,122.25  | 2,119.46  | 2,127.76 |
|                                           | Después de sumergirlo              | cm3                | 2,113.46  | 2,109.74  | 2,115.68 |
|                                           | Masa muestra húmeda                | g                  | 307.10    | 329.30    | 252.90   |
|                                           | Masa muestra seca                  | g                  | 280.90    | 301.00    | 232.30   |
|                                           | Contenido de humedad               | %                  | 9.3       | 9.4       | 8.9      |
|                                           | Dato teórico del COA               | %                  | 9.3       |           |          |
|                                           | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm <sup>3</sup> | 1.98      | 2.10      | 2.19     |
|                                           | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm <sup>3</sup> | 1.81      | 1.92      | 2.01     |
|                                           | Masa muestra húmeda                | g                  | 307.90    | 318.40    | 312.20   |
|                                           | Masa muestra seca                  | g                  | 264.70    | 279.40    | 277.20   |
| RESULTADOS                                | Contenido de humedad               | %                  | 16.3      | 14.0      | 12.6     |
|                                           | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm <sup>3</sup> | 2.12      | 2.20      | 2.27     |
|                                           | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm <sup>3</sup> | 1.82      | 1.93      | 2.02     |
|                                           | Peso unitario seco de la muestra   | kN/m <sup>3</sup>  | 17.86     | 18.95     | 19.77    |
|                                           | Altura inicial de la muestra       | mm                 | 116.47    | 116.27    | 116.32   |
|                                           | Expansión                          | %                  | 0.38      | 0.42      | 0.52     |
|                                           | Altura final de la muestra         | mm                 | 116.92    | 116.75    | 116.93   |
|                                           |                                    |                    |           |           |          |
|                                           |                                    |                    |           |           |          |
|                                           |                                    |                    |           |           |          |
|                                           |                                    |                    |           |           |          |
|                                           |                                    |                    |           |           |          |
|                                           |                                    |                    |           |           |          |

| Penetración |       | 12 G. | 26 G. | 55 G. | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.  | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| mm          | pulg  | Dial  | Dial  | Dial  | kgf   | kgf    | kgf    | lbf    | lbf    | lbf    | psi   | psi    | psi    |
| 0.00        | 0.000 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| 0.64        | 0.025 | 20.0  | 33.0  | 61.0  | 97.2  | 152.1  | 270.3  | 217.9  | 340.8  | 605.6  | 72.6  | 113.6  | 201.9  |
| 1.27        | 0.050 | 35.0  | 93.0  | 177.0 | 160.5 | 405.3  | 759.8  | 359.7  | 908.2  | 1702.5 | 119.9 | 302.7  | 567.5  |
| 1.91        | 0.075 | 44.0  | 142.0 | 280.0 | 198.5 | 612.1  | 1194.5 | 444.8  | 1371.5 | 2676.4 | 148.3 | 457.2  | 892.1  |
| 2.54        | 0.100 | 51.0  | 177.0 | 352.0 | 228.1 | 759.8  | 1498.4 | 511.0  | 1702.5 | 3357.2 | 170.3 | 567.5  | 1119.1 |
| 3.18        | 0.125 | 56.0  | 201.0 | 408.0 | 249.2 | 861.1  | 1734.7 | 558.3  | 1929.4 | 3886.7 | 186.1 | 643.1  | 1295.6 |
| 3.81        | 0.150 | 61.0  | 221.0 | 451.0 | 270.3 | 945.5  | 1916.2 | 605.6  | 2118.5 | 4293.3 | 201.9 | 706.2  | 1431.1 |
| 4.45        | 0.175 | 65.0  | 237.0 | 484.0 | 287.2 | 1013.0 | 2055.4 | 643.4  | 2269.8 | 4605.4 | 214.5 | 756.6  | 1535.1 |
| 5.08        | 0.200 | 70.0  | 250.0 | 511.0 | 308.3 | 1067.9 | 2169.4 | 690.7  | 2392.7 | 4860.7 | 230.2 | 797.6  | 1620.2 |
| 6.35        | 0.250 | 78.0  | 276.0 | 555.0 | 342.0 | 1177.6 | 2355.1 | 766.3  | 2638.6 | 5276.7 | 255.4 | 879.5  | 1758.9 |
| 7.62        | 0.300 | 86.0  | 300.0 | 590.0 | 375.8 | 1278.9 | 2502.8 | 842.0  | 2865.5 | 5607.7 | 280.7 | 955.2  | 1869.2 |
| 10.16       | 0.400 | 99.0  | 342.0 | 652.0 | 430.6 | 1456.2 | 2764.4 | 964.9  | 3262.7 | 6194.0 | 321.6 | 1087.6 | 2064.7 |
| 12.70       | 0.500 | 114.0 | 380.0 | 702.0 | 493.9 | 1616.5 | 2975.4 | 1106.7 | 3622.0 | 6666.7 | 368.9 | 1207.3 | 2222.2 |

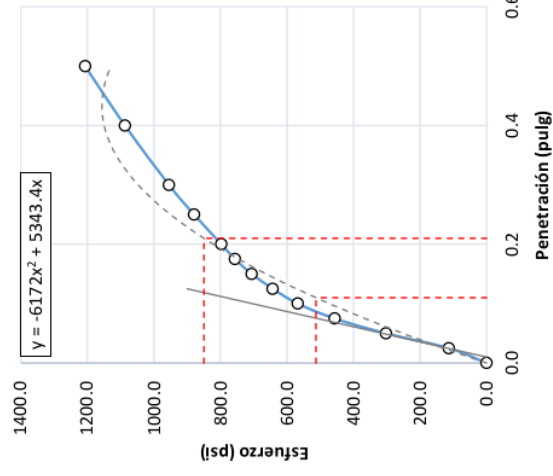


2

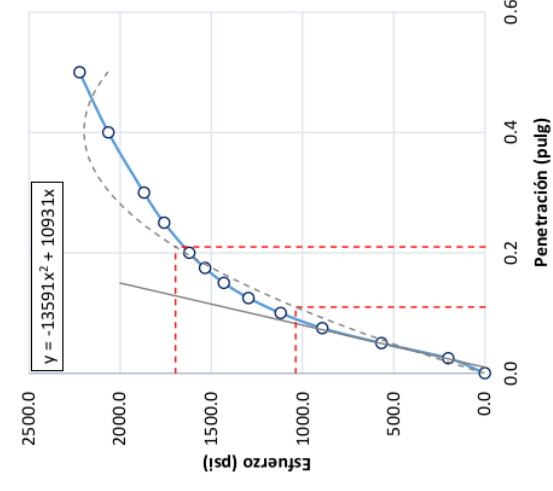
**Esfuerzo vs Deformación (12 golpes)**



**Esfuerzo vs Deformación (26 golpes)**



**Esfuerzo vs Deformación (55 golpes)**



2

Variable

55 G.

26 G.

12 G.

Und.

Peso Unitario Seco Máximo

19.78

2.02

Peso Unitario Seco

1.93

19.77

Peso Unitario Seco

18.95

1037.96

Esfuerzo 0.1"

138.81

1696.15

Esfuerzo 0.2"

242.24

103.80

CBR 0.1"

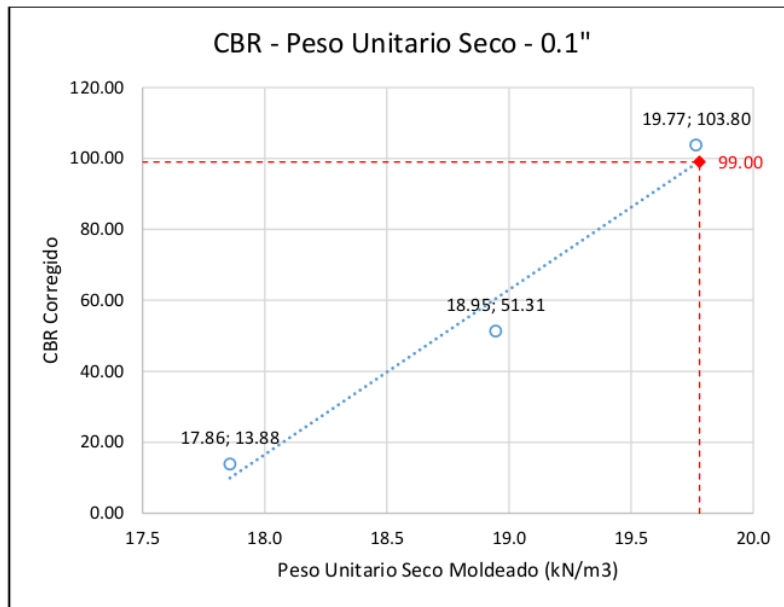
13.88

113.08

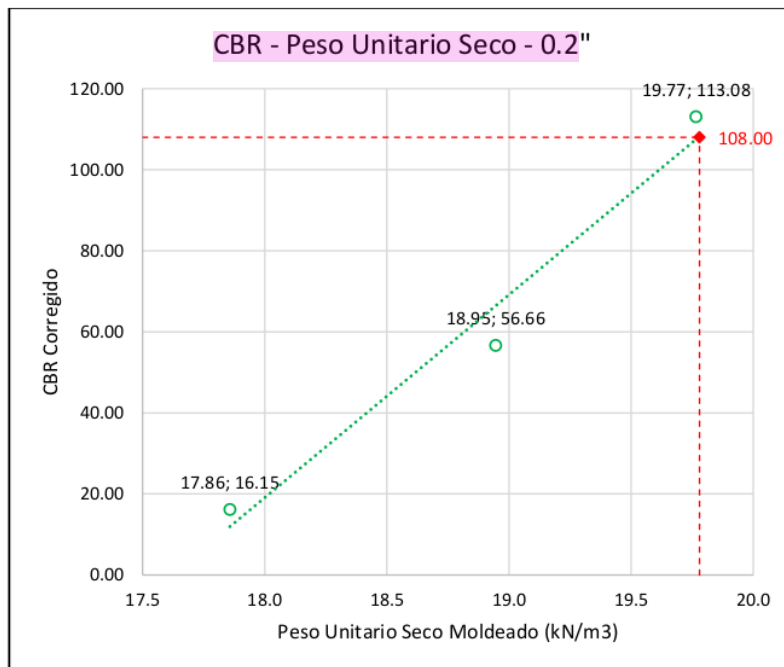
CBR 0.2"

16.15

56.66



% CBR 0.1" <sup>2</sup> para el 100% del M.P.U.S. 99.00 %



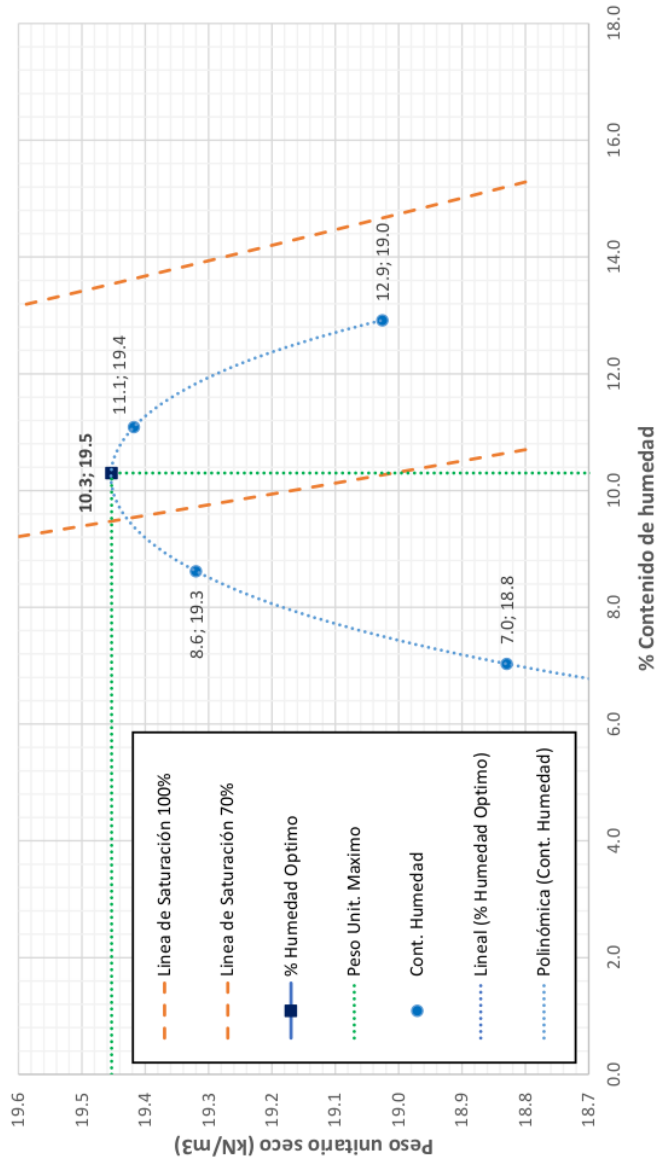
% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S. 108.00 %

8. Compactación de suelo + 2.0% de Ceniza de ichu empleando la energía modificada (molde 6")

| Proctor modificado CBR – Suelo + 2.0% Ceniza de ichu |          |          |                |              |                |                |
|------------------------------------------------------|----------|----------|----------------|--------------|----------------|----------------|
| Molde usado                                          | W molde  | V molde  | Muestra Húmeda |              | Muestra seca   |                |
|                                                      |          |          | W molde +      | W recipiente | W recipiente + | W recipiente + |
|                                                      | gf       | gf       | suelo          | gf           | + suelo        | suelo          |
| A                                                    | 6,504.00 | 2,120.00 | 10,872.50      | 72.00        | 406.80         | 384.80         |
| A                                                    | 6,504.00 | 2,120.00 | 11,049.50      | 70.00        | 450.60         | 420.40         |
| A                                                    | 6,504.00 | 2,120.00 | 11,158.00      | 72.00        | 333.50         | 307.40         |
| A                                                    | 6,504.00 | 2,120.00 | 11,156.50      | 70.00        | 441.50         | 399.00         |

| Proctor modificado CBR – Suelo + 2.0% Ceniza de ichu |        |              |                      |                                |             |           |           |
|------------------------------------------------------|--------|--------------|----------------------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| Contenido de Humedad                                 |        |              |                      | Cálculo del Peso Unitario Seco |             |           |           |
| Cantidad de agua                                     | W agua | W suelo seco | Contenido de Humedad | W suelo                        | P.U. Húmedo | P.U. Seco | P.U. Seco |
| %                                                    | gf     | gf           | %                    | gf                             | gf/cm3      | gf/cm3    | kN/m3     |
| 4.00                                                 | 22.00  | 312.80       | 7.03                 | 4,368.50                       | 2.06        | 1.92      | 18.83     |
| 6.00                                                 | 30.20  | 350.40       | 8.62                 | 4,545.50                       | 2.14        | 1.97      | 19.32     |
| 8.00                                                 | 26.10  | 235.40       | 11.09                | 4,654.00                       | 2.20        | 1.98      | 19.42     |
| 10.00                                                | 42.50  | 329.00       | 12.92                | 4,652.50                       | 2.19        | 1.94      | 19.03     |

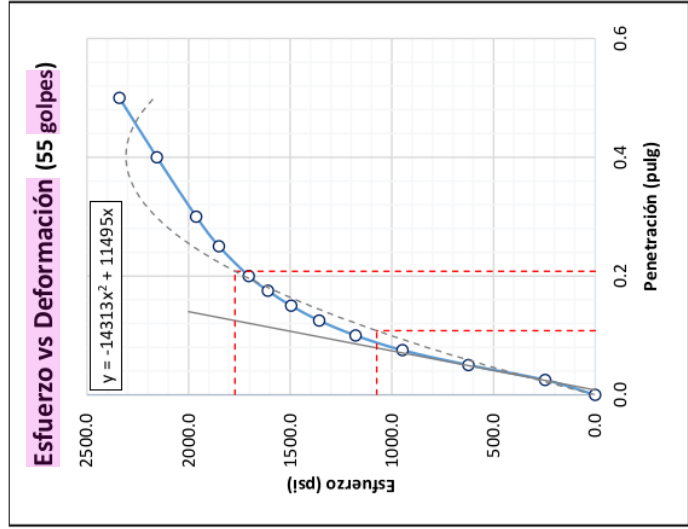
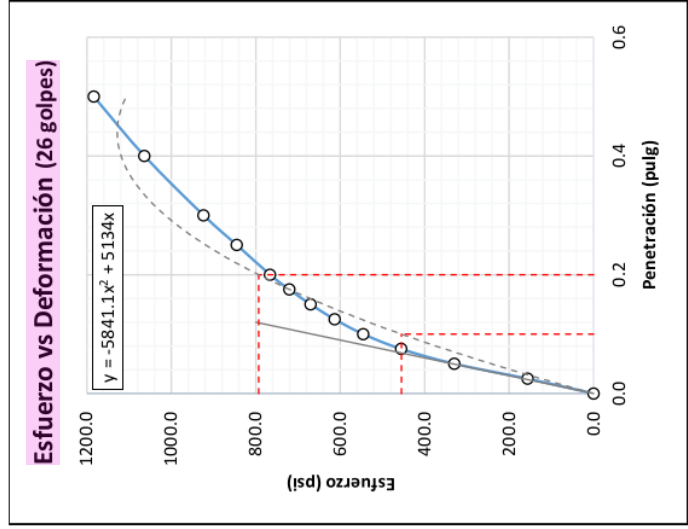
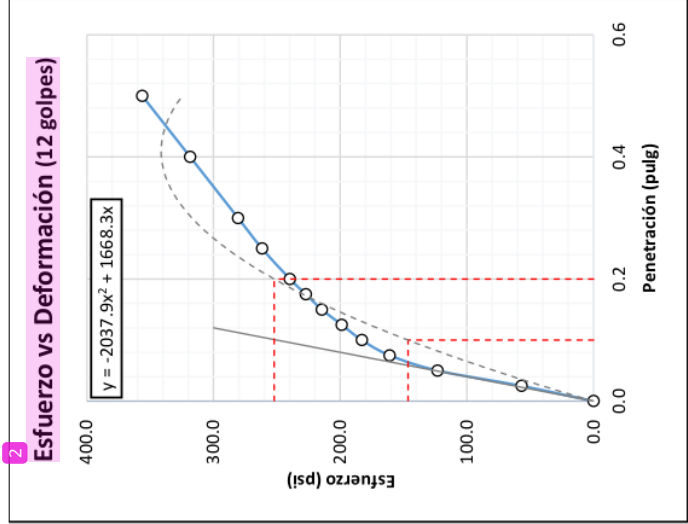
Relacion humedad - Peso unitario seco - Lineas de Saturación



9. Ensayo de CBR – Suelo natural + 2.0% Ceniza de ichu

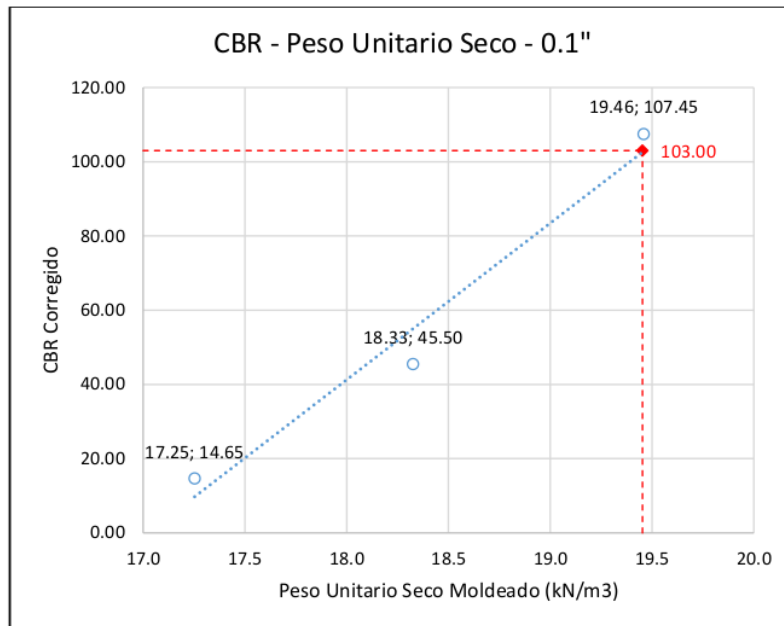
| CBR - Suelo natural + 2.0% Ceniza de ichu |                                     |                            |                                    |        |           |           |           |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
|                                           |                                     | 1                          | Variable                           | Und.   | 12 golpes | 26 golpes | 55 golpes |
| DATOS                                     | Preparación de la muestra (1er día) |                            | Área del pistón de penetración     | pulg.2 |           | 3.00      |           |
|                                           |                                     |                            | Diámetro del molde de CBR          | mm     | 152.3     | 152.3     | 152.6     |
|                                           |                                     |                            | Altura del molde de CBR            | mm     | 177.8     | 177.6     | 177.7     |
|                                           |                                     |                            | Peso del molde de CBR              | gf     | 7,917     | 9,050     | 9,092     |
|                                           |                                     |                            | Altura del disco espaciador        | mm     |           | 61.4      |           |
|                                           |                                     |                            | Peso de la muestra + molde CBR     | gf     | 11,995    | 13,394    | 13,685    |
|                                           |                                     |                            | Masa del recipiente                | g      | 52.70     | 71.90     | 69.90     |
|                                           |                                     |                            | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 368.50    | 312.80    | 341.30    |
|                                           |                                     |                            | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 339.40    | 290.60    | 316.00    |
|                                           | Ensayo de penetración (4to día)     |                            | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                                           |                                     |                            | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.53      | 0.76      | 0.81      |
|                                           |                                     |                            | Peso de la muestra + molde CBR     | g      | 12,336.5  | 13,623.0  | 13,829.0  |
|                                           |                                     |                            | Masa del recipiente                | g      | 70.00     | 54.00     | 51.90     |
|                                           |                                     |                            | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 363.40    | 294.70    | 345.60    |
|                                           |                                     |                            | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 316.70    | 261.10    | 311.80    |
| RESULTADOS                                | Volumen del molde de CBR            |                            | Antes de sumergirlo                | cm3    | 2,122.25  | 2,119.46  | 2,127.76  |
|                                           |                                     |                            | Después de sumergirlo              | cm3    | 2,112.53  | 2,105.57  | 2,112.89  |
|                                           | Resultados en base al 1er día       |                            | Masa muestra húmeda                | g      | 315.80    | 240.90    | 271.40    |
|                                           |                                     |                            | Masa muestra seca                  | g      | 286.70    | 218.70    | 246.10    |
|                                           |                                     |                            | Contenido de humedad               | %      | 10.1      | 10.2      | 10.3      |
|                                           |                                     |                            | Dato teórico del COA               | %      |           | 10.3      |           |
|                                           |                                     |                            | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 1.92      | 2.05      | 2.16      |
|                                           |                                     |                            | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.74      | 1.86      | 1.96      |
|                                           | Resultados en base al 4to día       |                            | Masa muestra húmeda                | g      | 293.40    | 240.70    | 293.70    |
|                                           |                                     |                            | Masa muestra seca                  | g      | 246.70    | 207.10    | 259.90    |
|                                           |                                     |                            | Contenido de humedad               | %      | 18.9      | 16.2      | 13.0      |
|                                           |                                     |                            | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.09      | 2.17      | 2.24      |
|                                           |                                     |                            | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.76      | 1.87      | 1.98      |
|                                           |                                     |                            | Peso unitario seco de la muestra   | kN/m3  | 17.25     | 18.33     | 19.46     |
|                                           | 2 %<br>Expansión                    |                            | Altura inicial de la muestra       | mm     | 116.47    | 116.27    | 116.32    |
|                                           |                                     | Expansión                  | %                                  | 0.42   | 0.60      | 0.64      |           |
|                                           |                                     | Altura final de la muestra | mm                                 | 116.96 | 116.96    | 117.07    |           |



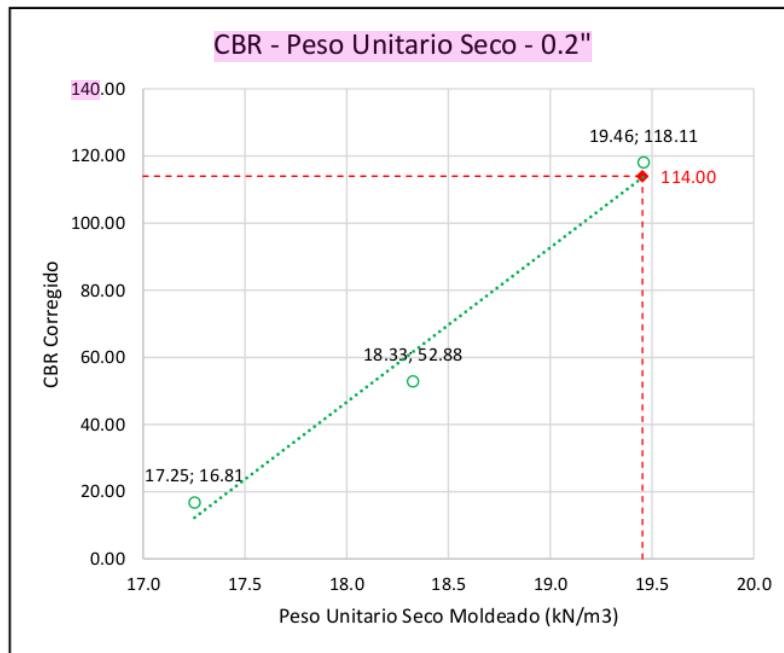


**2**

| Variable                  | Und.               | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.   |
|---------------------------|--------------------|--------|--------|---------|
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m <sup>3</sup>  | 19.45  |        |         |
| Peso Unitario Seco        | gf/cm <sup>3</sup> | 1.76   | 1.87   | 1.98    |
| Peso Unitario Seco        | kN/m <sup>3</sup>  | 17.25  | 18.33  | 19.46   |
| Esfuerzo 0.1"             | psi                | 146.45 | 454.99 | 1074.51 |
| Esfuerzo 0.2"             | psi                | 252.14 | 793.16 | 1771.72 |
| CBR 0.1"                  | %                  | 14.65  | 45.50  | 107.45  |
| CBR 0.2"                  | %                  | 16.81  | 52.88  | 118.11  |



% CBR 0.1" <sup>2</sup> para el 100% del M.P.U.S. 103.00 %



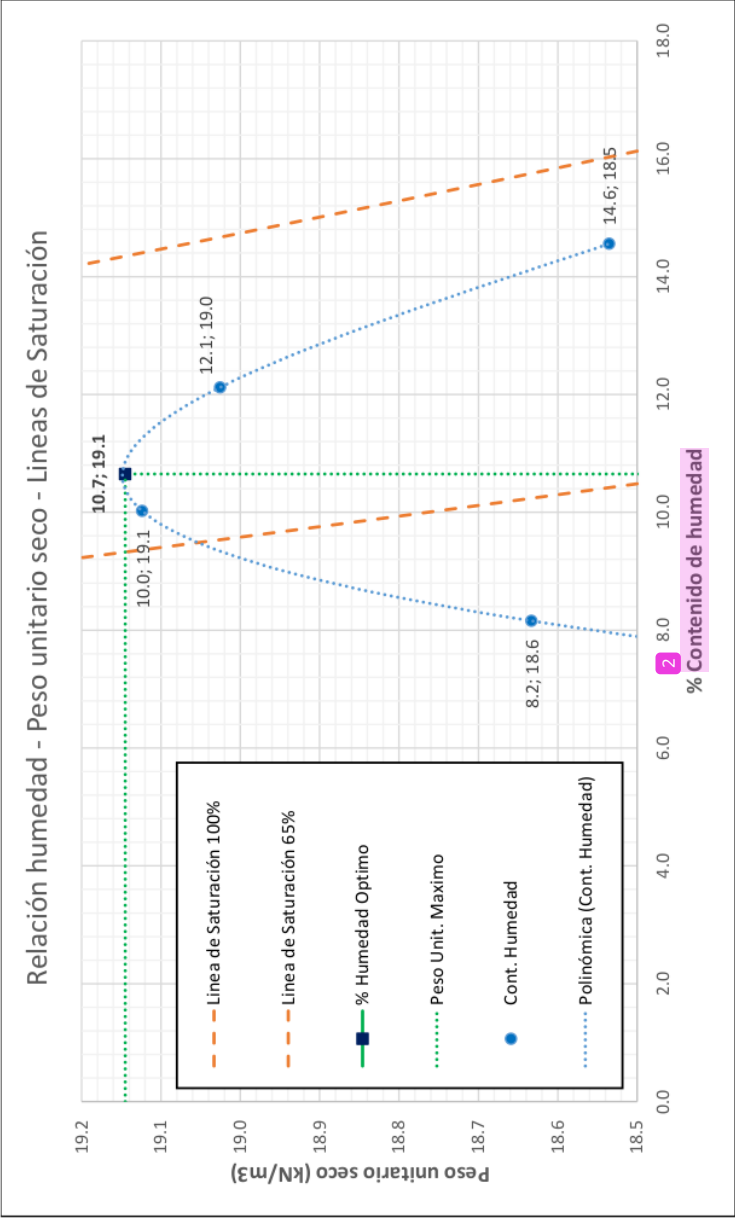
% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S. 114.00 %



10. Compactación de suelo + 3.0% de Ceniza de ichu empleando la energía modificada (molde 6")

| Proctor modificado CBR – Suelo + 3.0% Ceniza de ichu |          |          |                |            |              |              |
|------------------------------------------------------|----------|----------|----------------|------------|--------------|--------------|
| Molde usado                                          | W molde  | V molde  | Muestra Húmeda |            |              | Muestra seca |
|                                                      |          |          | W molde +      | W          | W recipiente | W recipiente |
|                                                      | gf       | gf       | suelo          | recipiente | + suelo      | + suelo      |
|                                                      |          |          | gf             | gf         | gf           | gf           |
| A                                                    | 6,504.00 | 2,120.00 | 10,876.50      | 146.00     | 542.30       | 512.45       |
| A                                                    | 6,504.00 | 2,120.00 | 11,039.00      | 149.20     | 518.00       | 484.40       |
| A                                                    | 6,504.00 | 2,120.00 | 11,099.50      | 70.00      | 394.70       | 359.63       |
| A                                                    | 6,504.00 | 2,120.00 | 11,103.00      | 72.00      | 393.10       | 352.30       |

| Proctor modificado CBR – Suelo + 3.0% Ceniza de ichu |        |         |              |                                |             |           |           |
|------------------------------------------------------|--------|---------|--------------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| Contenido de Humedad                                 |        |         |              | Cálculo del Peso Unitario Seco |             |           |           |
| Cantidad de agua                                     | W agua | W suelo | Contenido de | W suelo                        | P.U. Húmedo | P.U. Seco | P.U. Seco |
|                                                      |        | seco    | Humedad      |                                |             |           |           |
|                                                      | %      | gf      | %            | gf                             | gf/cm3      | gf/cm3    | kN/m3     |
| 4.00                                                 | 29.90  | 366.50  | 8.16         | 4,372.50                       | 2.06        | 1.90      | 18.63     |
| 6.00                                                 | 33.60  | 335.20  | 10.02        | 4,535.00                       | 2.14        | 1.95      | 19.12     |
| 8.00                                                 | 35.10  | 289.60  | 12.12        | 4,595.50                       | 2.17        | 1.94      | 19.03     |
| 10.00                                                | 40.80  | 280.30  | 14.56        | 4,599.00                       | 2.17        | 1.89      | 18.54     |

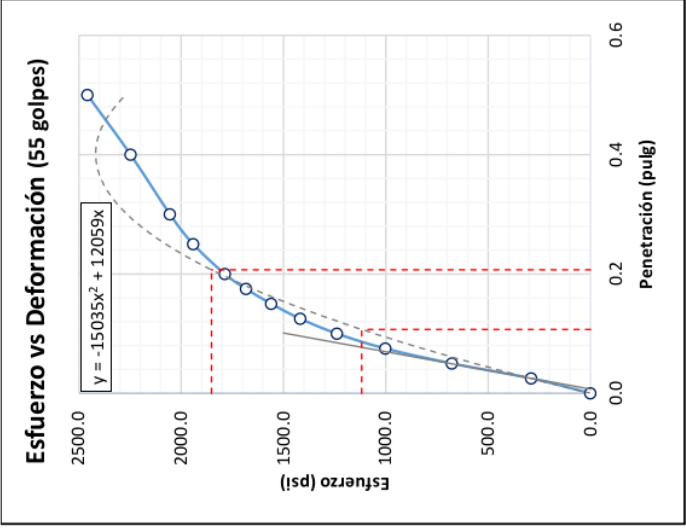
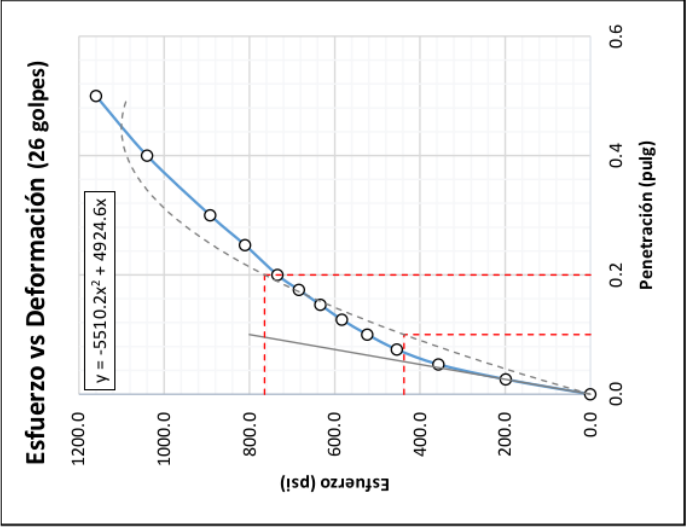
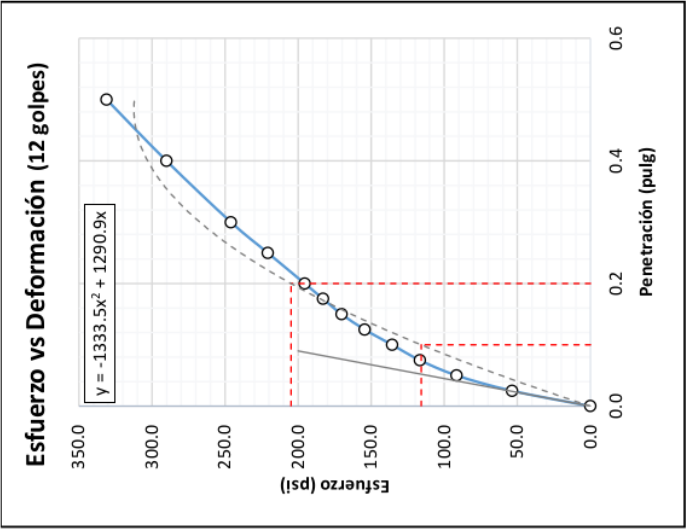


| Variable                  | Und.  | Valores |
|---------------------------|-------|---------|
| Contenido Optimo de Agua  | %     | 10.7    |
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3 | 19.15   |
| Gravedad específica       |       | 2.72    |

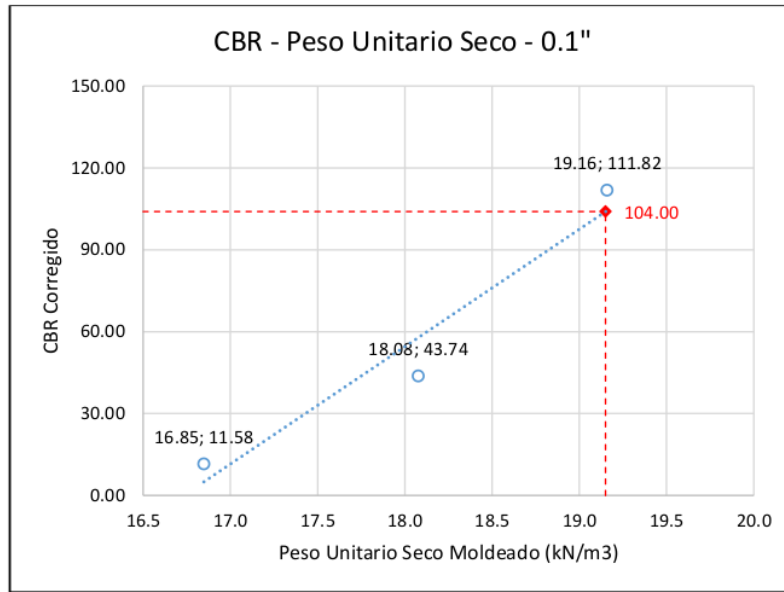
# 11. Ensayo de CBR – Suelo natural + 3.0% Ceniza de ichu

| 1 CBR - Suelo natural + 3.0% Ceniza de ichu |                                    |        |           |           |           |
|---------------------------------------------|------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
|                                             | Variable                           | Und.   | 12 golpes | 26 golpes | 55 golpes |
|                                             | Área del pistón de penetración     | pulg.2 |           | 3.00      |           |
| DATOS                                       | Diámetro del molde de CBR          | mm     | 152.3     | 152.4     | 152.4     |
|                                             | Altura del molde de CBR            | mm     | 177.8     | 177.7     | 177.7     |
|                                             | Peso del molde de CBR              | gf     | 7,920     | 9,050     | 9,100     |
|                                             | Altura del disco espaciador        | mm     |           | 61.4      |           |
|                                             | Peso de la muestra + molde CBR     | gf     | 11,942    | 13,353    | 13,625    |
|                                             | Masa del recipiente                | g      | 72.00     | 70.00     | 148.20    |
|                                             | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 389.10    | 367.50    | 431.40    |
|                                             | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 359.80    | 338.70    | 404.90    |
|                                             | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                                             | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.48      | 0.48      | 0.43      |
|                                             | Peso de la muestra + molde CBR     | g      | 12,267.5  | 13,594.5  | 13,791.5  |
|                                             | Masa del recipiente                | g      | 70.00     | 72.00     | 52.00     |
|                                             | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 380.10    | 371.00    | 337.20    |
|                                             | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 328.90    | 328.50    | 303.30    |
|                                             | Volumen del molde de CBR           | cm3    | 2,121.56  | 2,123.85  | 2,123.94  |
| RESULTADOS                                  | Después de sumergirlo              | cm3    | 2,112.77  | 2,115.04  | 2,116.06  |
|                                             | Masa muestra húmeda                | g      | 317.10    | 297.50    | 283.20    |
|                                             | Masa muestra seca                  | g      | 287.80    | 268.70    | 256.70    |
|                                             | Contenido de humedad               | %      | 10.2      | 10.7      | 10.3      |
|                                             | Dato teórico del COA               | %      |           | 10.7      |           |
|                                             | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 1.90      | 2.03      | 2.13      |
|                                             | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.72      | 1.83      | 1.93      |
|                                             | Masa muestra húmeda                | g      | 310.10    | 299.00    | 285.20    |
|                                             | Masa muestra seca                  | g      | 258.90    | 256.50    | 251.30    |
|                                             | Contenido de humedad               | %      | 19.8      | 16.6      | 13.5      |
|                                             | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.06      | 2.15      | 2.22      |
|                                             | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.72      | 1.84      | 1.95      |
|                                             | Peso unitario seco de la muestra   | kN/m3  | 16.8      | 18.1      | 19.16     |
|                                             | Altura inicial de la muestra       | mm     | 116.42    | 116.38    | 116.37    |
|                                             | % Expansión                        | %      | 0.38      | 0.38      | 0.34      |
|                                             | Altura final de la muestra         | mm     | 116.86    | 116.82    | 116.77    |

| Penetración |       | 12 G. | 26 G. | 55 G. | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| mm          | pulg  | Dial  | Dial  | Dial  | kgf   | kgf    | kgf    | lbf   | lbf    | lbf    | psi   | psi    | psi    |
| 0.00        | 0.000 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| 0.64        | 0.025 | 14.0  | 60.0  | 89.0  | 71.9  | 266.1  | 388.4  | 161.2 | 596.1  | 870.3  | 53.7  | 198.7  | 290.1  |
| 1.27        | 0.050 | 26.0  | 110.0 | 212.0 | 122.6 | 477.1  | 907.5  | 274.6 | 1068.9 | 2033.4 | 91.5  | 356.3  | 677.8  |
| 1.91        | 0.075 | 34.0  | 141.0 | 315.0 | 156.3 | 607.9  | 1342.2 | 350.3 | 1362.0 | 3007.4 | 116.8 | 454.0  | 1002.5 |
| 2.54        | 0.100 | 40.0  | 163.0 | 390.0 | 181.7 | 700.7  | 1658.7 | 407.0 | 1570.1 | 3716.5 | 135.7 | 523.4  | 1238.8 |
| 3.18        | 0.125 | 46.0  | 182.0 | 447.0 | 207.0 | 780.9  | 1899.3 | 463.7 | 1749.7 | 4255.5 | 154.6 | 583.2  | 1418.5 |
| 3.81        | 0.150 | 51.0  | 198.0 | 492.0 | 228.1 | 848.4  | 2089.2 | 511.0 | 1901.0 | 4681.0 | 170.3 | 633.7  | 1560.3 |
| 4.45        | 0.175 | 55.0  | 214.0 | 531.0 | 245.0 | 916.0  | 2253.8 | 548.8 | 2052.3 | 5049.8 | 182.9 | 684.1  | 1683.3 |
| 5.08        | 0.200 | 59.0  | 230.0 | 564.0 | 261.8 | 983.5  | 2393.0 | 586.7 | 2203.6 | 5361.8 | 195.6 | 734.5  | 1787.3 |
| 6.35        | 0.250 | 67.0  | 254.0 | 613.0 | 295.6 | 1084.8 | 2599.8 | 662.3 | 2430.5 | 5825.2 | 220.8 | 810.2  | 1941.7 |
| 7.62        | 0.300 | 75.0  | 280.0 | 649.0 | 329.4 | 1194.5 | 2751.8 | 738.0 | 2676.4 | 6165.6 | 246.0 | 892.1  | 2055.2 |
| 10.16       | 0.400 | 89.0  | 327.0 | 710.0 | 388.4 | 1392.9 | 3009.2 | 870.3 | 3120.8 | 6742.4 | 290.1 | 1040.3 | 2247.5 |
| 12.70       | 0.500 | 102.0 | 365.0 | 777.0 | 443.3 | 1553.2 | 3291.9 | 993.3 | 3480.1 | 7375.9 | 331.1 | 1160.0 | 2458.6 |

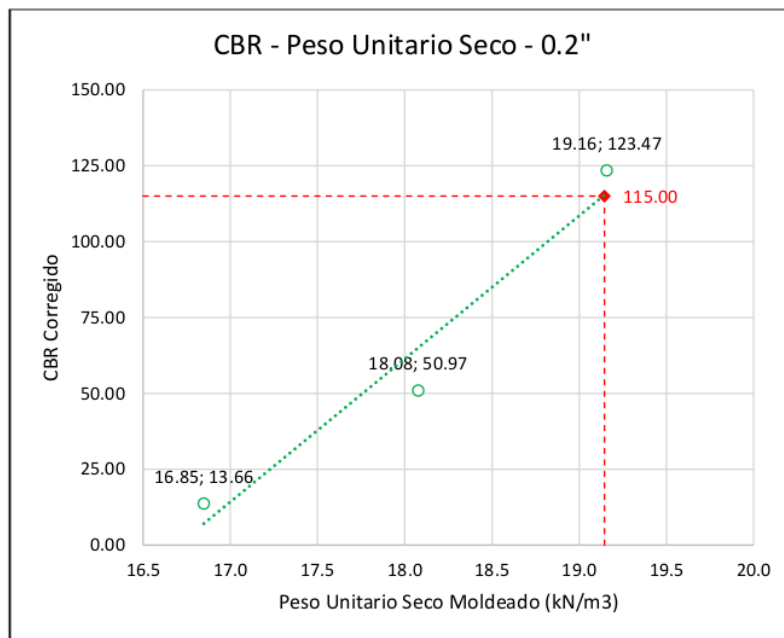


| Variable                  | Und.   | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.   |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------|
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3  | 19.15  |        |         |
| Peso Unitario Seco        | gf/cm3 | 1.72   | 1.84   | 1.95    |
| Peso Unitario Seco        | kN/m3  | 16.85  | 18.08  | 19.16   |
| Esfuerzo 0.1"             | psi    | 115.76 | 437.36 | 1118.18 |
| Esfuerzo 0.2"             | psi    | 204.84 | 764.51 | 1851.98 |
| CBR 0.1"                  | %      | 11.58  | 43.74  | 111.82  |
| CBR 0.2"                  | %      | 13.66  | 50.97  | 123.47  |



% CBR 0.1" para el 100% del M.P.U.S.

104.00 %



% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S.

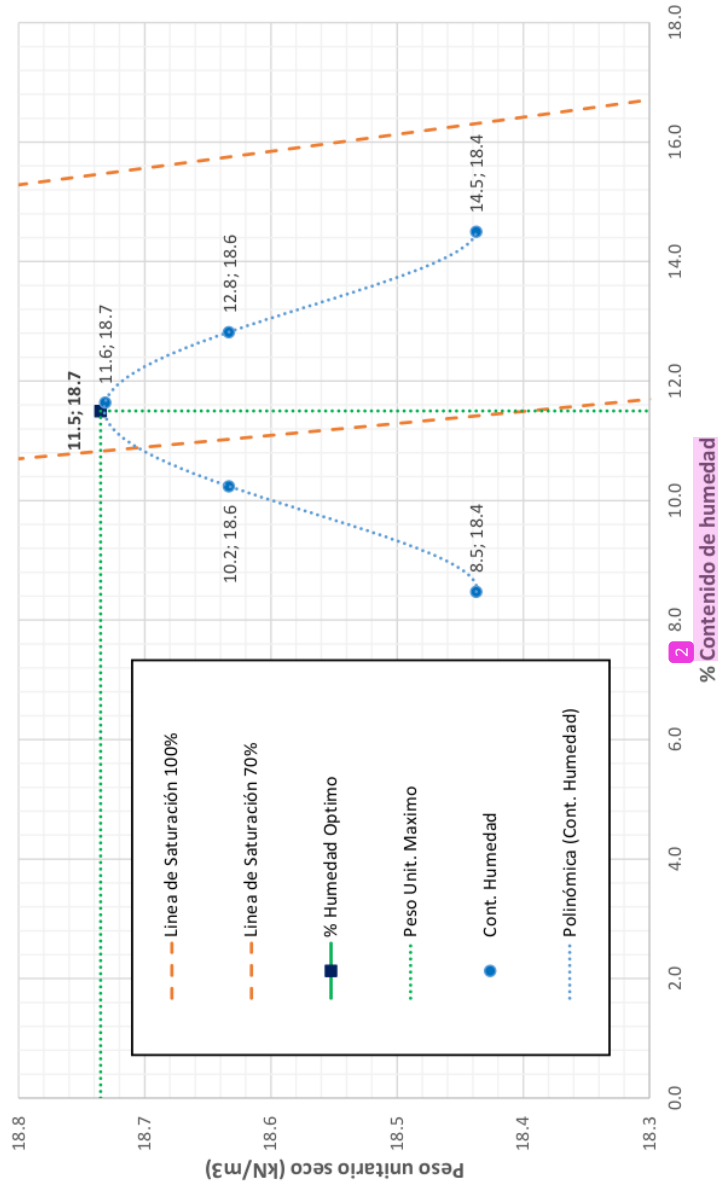
115.00 %

12. Compactación de suelo + 4.0% de Ceniza de ichu empleando la energía modificada (molde 6")

| Proctor modificado CBR – Suelo + 4.0% Ceniza de ichu |          |          |                |            |              |              |
|------------------------------------------------------|----------|----------|----------------|------------|--------------|--------------|
| Molde usado                                          | W molde  | V molde  | Muestra Húmeda |            |              | Muestra seca |
|                                                      |          |          | W molde +      | W          | W recipiente | W recipiente |
|                                                      |          |          | suelo          | recipiente | + suelo      | + suelo      |
|                                                      | gf       | gf       | gf             | gf         | gf           | gf           |
| A                                                    | 6,507.00 | 2,120.00 | 10,839.00      | 52.00      | 425.70       | 396.50       |
| A                                                    | 6,507.00 | 2,120.00 | 10,969.50      | 45.10      | 417.60       | 383.00       |
| A                                                    | 6,507.00 | 2,120.00 | 11,033.15      | 45.30      | 431.80       | 391.48       |
| A                                                    | 6,508.00 | 2,120.00 | 11,042.00      | 70.00      | 460.70       | 416.31       |
| A                                                    | 6,507.00 | 2,120.00 | 11,059.00      | 54.00      | 459.10       | 407.80       |

| Proctor modificado CBR – Suelo + 4.0% Ceniza de ichu |        |         |              |                                             |             |                        |           |
|------------------------------------------------------|--------|---------|--------------|---------------------------------------------|-------------|------------------------|-----------|
| Contenido de <sup>1</sup> Humedad                    |        |         |              | Cálculo del <sup>1</sup> Peso Unitario Seco |             |                        |           |
| Cantidad de agua                                     | W agua | W suelo | Contenido de | W suelo                                     | P.U. Húmedo | <sup>1</sup> P.U. Seco | P.U. Seco |
| %                                                    | gf     | gf      | Humedad      | gf                                          | gf/cm3      | gf/cm3                 | kN/m3     |
| 4.50                                                 | 29.20  | 344.50  | 8.48         | 4,332.00                                    | 2.04        | 1.88                   | 18.44     |
| 6.50                                                 | 34.60  | 337.90  | 10.24        | 4,462.50                                    | 2.10        | 1.90                   | 18.63     |
| 8.50                                                 | 40.30  | 346.20  | 11.64        | 4,526.15                                    | 2.13        | 1.91                   | 18.73     |
| 10.50                                                | 44.40  | 346.30  | 12.82        | 4,534.00                                    | 2.14        | 1.90                   | 18.63     |
| 12.50                                                | 51.30  | 353.80  | 14.50        | 4,552.00                                    | 2.15        | 1.88                   | 18.44     |

Relación humedad - Peso unitario seco - Líneas de Saturación





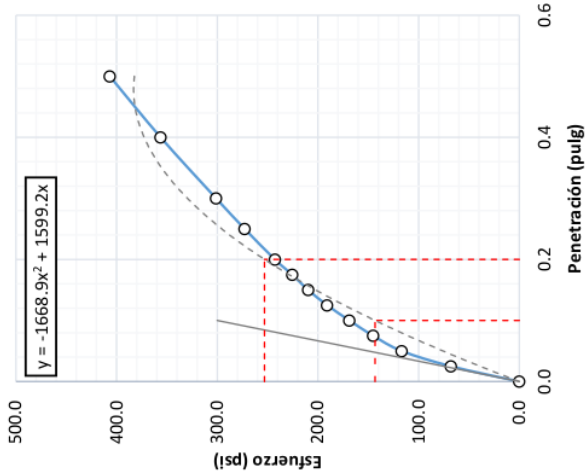
13. Ensayo de CBR – Suelo natural + 4.0% Ceniza de ichu

| CBR - Suelo natural + 4.0% Ceniza de ichu |                                     |        |           |           |           |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
|                                           | Variable                            | Und.   | 12 golpes | 26 golpes | 55 golpes |
|                                           |                                     |        |           |           |           |
| DATOS                                     | Área del pistón de penetración      | pulg.2 |           | 3.00      |           |
|                                           | Diámetro del molde de CBR           | mm     | 152.3     | 152.4     | 152.4     |
|                                           | Altura del molde de CBR             | mm     | 177.8     | 177.7     | 177.7     |
|                                           | Peso del molde de CBR               | gf     | 7,917     | 9,050     | 9,092     |
|                                           | Preparación de la muestra (1er día) |        |           |           |           |
|                                           | Altura del disco espaciador         | mm     |           | 61.4      |           |
|                                           | Peso de la muestra + molde CBR      | gf     | 11,935    | 13,348    | 13,615    |
|                                           | Masa del recipiente                 | g      | 70.00     | 72.00     | 52.00     |
|                                           | Masa muestra húmeda + recipiente    | g      | 388.60    | 367.00    | 430.90    |
|                                           | Masa de muestra seca + recipiente   | g      | 355.30    | 337.20    | 391.90    |
|                                           | Lectura de dial de deformación      | mm     | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                                           | Lectura de dial de deformación      | mm     | 0.41      | 0.38      | 0.38      |
|                                           | Peso de la muestra + molde CBR      | g      | 12,202.5  | 13,514.5  | 13,711.5  |
|                                           | Ensayo de penetración (4to día)     |        |           |           |           |
| RESULTADOS                                | Masa del recipiente                 | g      | 70.00     | 72.00     | 52.00     |
|                                           | Masa muestra húmeda + recipiente    | g      | 379.60    | 370.50    | 336.70    |
|                                           | Masa de muestra seca + recipiente   | g      | 329.40    | 329.50    | 301.45    |
|                                           | Volumen del molde de CBR            |        |           |           |           |
|                                           | Antes de sumergirlo                 | cm3    | 2,121.56  | 2,123.85  | 2,123.94  |
|                                           | Después de sumergirlo               | cm3    | 2,114.15  | 2,116.89  | 2,116.99  |
|                                           | Masa muestra húmeda                 | g      | 318.60    | 295.00    | 378.90    |
|                                           | Masa muestra seca                   | g      | 285.30    | 265.20    | 339.90    |
|                                           | Contenido de humedad                | %      | 11.7      | 11.2      | 11.5      |
|                                           | Dato teórico del COA                | %      |           | 11.5      |           |
|                                           | Peso unitario húmedo de la muestra  | gf/cm3 | 1.89      | 2.02      | 2.13      |
|                                           | Peso unitario seco de la muestra    | gf/cm3 | 1.70      | 1.82      | 1.91      |
|                                           | Masa muestra húmeda                 | g      | 309.60    | 298.50    | 284.70    |
|                                           | Masa muestra seca                   | g      | 259.40    | 257.50    | 249.45    |
| RESULTADOS                                | Contenido de humedad                | %      | 19.4      | 15.9      | 14.1      |
|                                           | Peso unitario húmedo de la muestra  | gf/cm3 | 2.03      | 2.11      | 2.18      |
|                                           | Peso unitario seco de la muestra    | gf/cm3 | 1.70      | 1.82      | 1.91      |
|                                           | Peso unitario seco de la muestra    | kN/m3  | 16.7      | 17.8      | 18.75     |
|                                           | Altura inicial de la muestra        | mm     | 116.42    | 116.38    | 116.37    |
|                                           | Expansión                           | %      | 0.32      | 0.30      | 0.30      |
|                                           | Altura final de la muestra          | mm     | 116.79    | 116.73    | 116.72    |
|                                           |                                     |        |           |           |           |
|                                           |                                     |        |           |           |           |
|                                           |                                     |        |           |           |           |

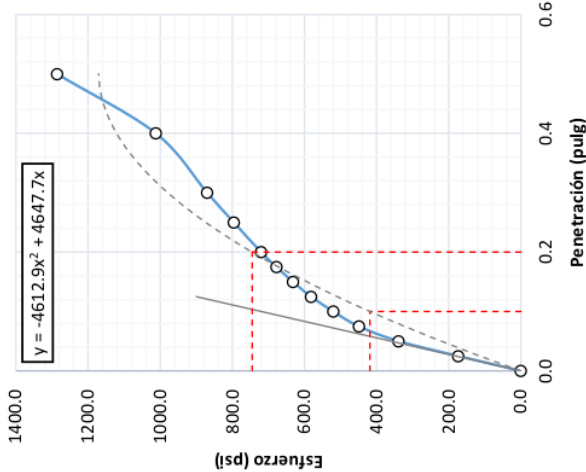
| Penetración |       | 12 G. | 26 G. | 55 G. | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.  | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| mm          | pulg  | Dial  | Dial  | Dial  | kgf   | kgf    | kgf    | lbf    | lbf    | lbf    | psi   | psi    | psi    |
| 0.00        | 0.000 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    |
| 0.64        | 0.025 | 18.5  | 52.0  | 81.5  | 90.9  | 232.3  | 356.8  | 203.7  | 520.5  | 799.4  | 67.9  | 173.5  | 266.5  |
| 1.27        | 0.050 | 34.0  | 104.5 | 191.5 | 156.3 | 453.9  | 821.0  | 350.3  | 1016.9 | 1839.6 | 116.8 | 339.0  | 613.2  |
| 1.91        | 0.075 | 43.0  | 139.5 | 276.5 | 194.3 | 601.6  | 1179.7 | 435.4  | 1347.9 | 2643.3 | 145.1 | 449.3  | 881.1  |
| 2.54        | 0.100 | 50.5  | 162.0 | 337.5 | 226.0 | 696.5  | 1437.2 | 506.3  | 1560.6 | 3220.1 | 168.8 | 520.2  | 1073.4 |
| 3.18        | 0.125 | 57.5  | 181.5 | 385.5 | 255.5 | 778.8  | 1639.7 | 572.5  | 1745.0 | 3674.0 | 190.8 | 581.7  | 1224.7 |
| 3.81        | 0.150 | 63.5  | 197.5 | 424.0 | 280.8 | 846.3  | 1802.2 | 629.2  | 1896.3 | 4038.0 | 209.7 | 632.1  | 1346.0 |
| 4.45        | 0.175 | 68.5  | 212.0 | 457.0 | 301.9 | 907.5  | 1941.5 | 676.5  | 2033.4 | 4350.1 | 225.5 | 677.8  | 1450.0 |
| 5.08        | 0.200 | 74.0  | 225.5 | 485.5 | 325.1 | 964.5  | 2061.8 | 728.5  | 2161.1 | 4619.6 | 242.8 | 720.4  | 1539.9 |
| 6.35        | 0.250 | 83.5  | 249.5 | 532.5 | 365.2 | 1065.8 | 2260.1 | 818.3  | 2388.0 | 5064.0 | 272.8 | 796.0  | 1688.0 |
| 7.62        | 0.300 | 92.5  | 273.0 | 569.5 | 403.2 | 1165.0 | 2416.3 | 903.4  | 2610.2 | 5413.9 | 301.1 | 870.1  | 1804.6 |
| 10.16       | 0.400 | 110.0 | 318.0 | 634.5 | 477.1 | 1354.9 | 2690.6 | 1068.9 | 3035.7 | 6028.5 | 356.3 | 1011.9 | 2009.5 |
| 12.70       | 0.500 | 126.0 | 405.0 | 701.0 | 544.6 | 1722.0 | 2971.2 | 1220.2 | 3858.4 | 6657.3 | 406.7 | 1286.1 | 2219.1 |

2

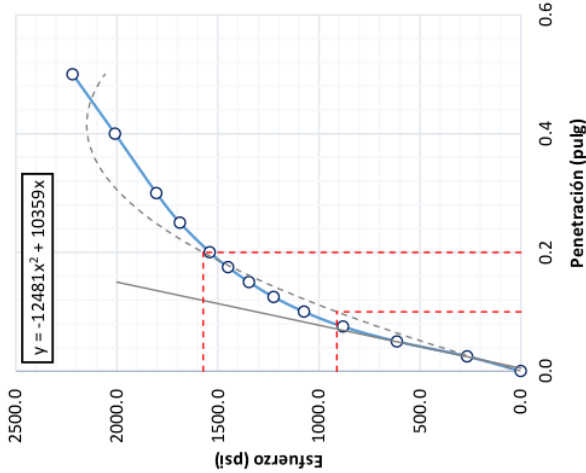
Esfuerzo vs Deformación (12 golpes)



Esfuerzo vs Deformación (26 golpes)

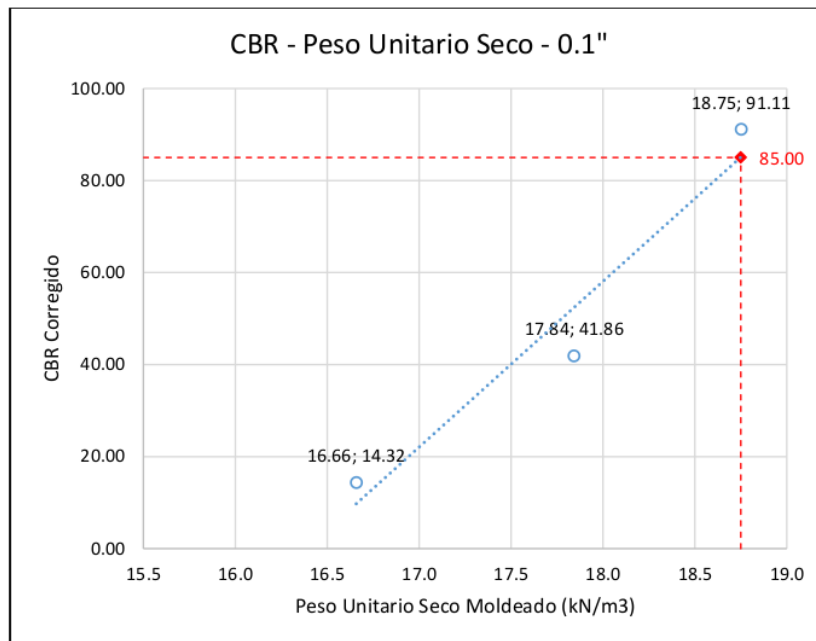


Esfuerzo vs Deformación (55 golpes)

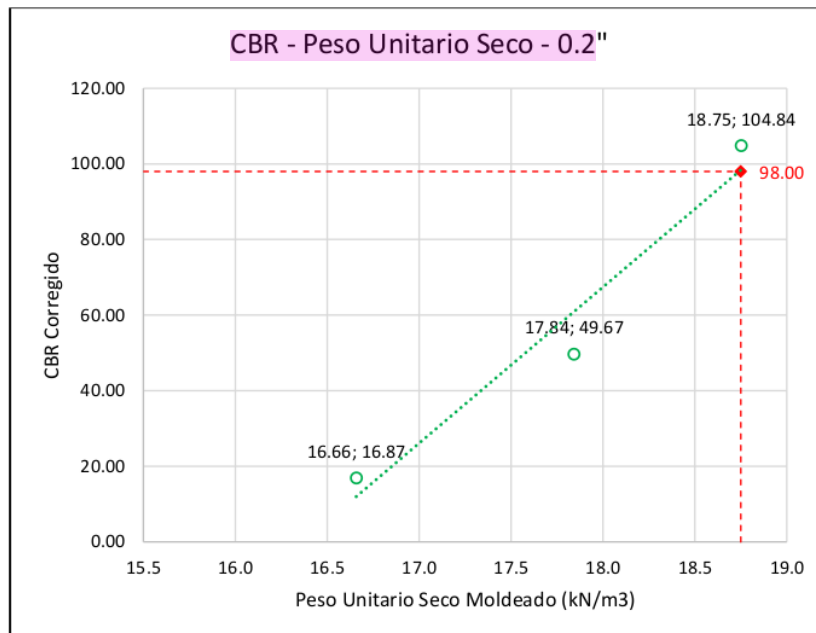


2

| Variable                  | Und.   | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.   |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------|
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3  | 18.75  |        |         |
| Peso Unitario Seco        | gf/cm3 | 1.70   | 1.82   | 1.91    |
| Peso Unitario Seco        | kN/m3  | 16.66  | 17.84  | 18.75   |
| Esfuerzo 0.1"             | psi    | 143.23 | 418.64 | 911.09  |
| Esfuerzo 0.2"             | psi    | 253.08 | 745.02 | 1572.56 |
| CBR 0.1"                  | %      | 14.32  | 41.86  | 91.11   |
| CBR 0.2"                  | %      | 16.87  | 49.67  | 104.84  |



% CBR 0.1" <sup>2</sup> para el 100% del M.P.U.S. 85.00 %



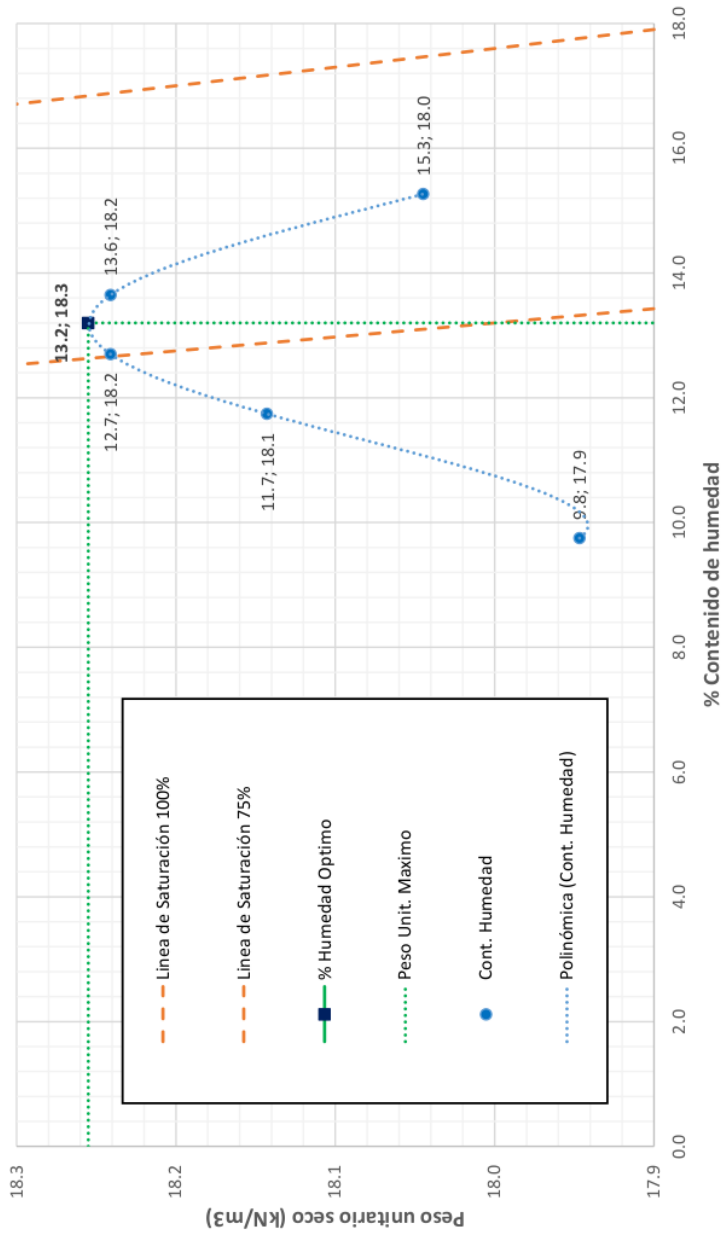
% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S. 98.00 %

14. Compactación de suelo + 5.0% de Ceniza de ichu empleando la energía modificada (molde 6")

| Proctor modificado CBR – Suelo + 5.0% Ceniza de ichu |               |               |                          |                       |                               |                               |
|------------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Molde usado                                          | W molde<br>gf | V molde<br>gf | Muestra Húmeda           |                       |                               | Muestra seca                  |
|                                                      |               |               | W molde +<br>suelo<br>gf | W<br>recipiente<br>gf | W recipiente<br>+ suelo<br>gf | W recipiente<br>+ suelo<br>gf |
|                                                      |               |               |                          |                       |                               |                               |
| A                                                    | 6,507.00      | 2,120.00      | 10,768.50                | 54.00                 | 427.70                        | 394.50                        |
| A                                                    | 6,507.00      | 2,120.00      | 10,905.00                | 45.40                 | 425.10                        | 385.20                        |
| A                                                    | 6,507.00      | 2,120.00      | 10,961.50                | 45.30                 | 435.80                        | 391.80                        |
| A                                                    | 6,507.00      | 2,120.00      | 10,977.00                | 69.90                 | 464.60                        | 417.20                        |
| A                                                    | 6,507.00      | 2,120.00      | 10,995.00                | 51.90                 | 411.30                        | 363.70                        |

| Proctor modificado CBR – Suelo + 5.0% Ceniza de ichu |                      |            |                 |                                |                  |           |               |
|------------------------------------------------------|----------------------|------------|-----------------|--------------------------------|------------------|-----------|---------------|
| Cantidad de agua<br>%                                | Contenido de Humedad |            |                 | Cálculo del Peso Unitario Seco |                  |           |               |
|                                                      | W agua               | W suelo    | Contenido       | W suelo                        | P.U.             | P.U. Seco | P.U.          |
|                                                      | gf                   | seco<br>gf | de Humedad<br>% | gf                             | Húmedo<br>gf/cm3 | gf/cm3    | Seco<br>kN/m3 |
| 5.50                                                 | 33.20                | 340.50     | 9.75            | 4,261.50                       | 2.01             | 1.83      | 17.95         |
| 7.50                                                 | 39.90                | 339.80     | 11.74           | 4,398.00                       | 2.07             | 1.85      | 18.14         |
| 9.50                                                 | 44.00                | 346.50     | 12.70           | 4,454.50                       | 2.10             | 1.86      | 18.24         |
| 11.50                                                | 47.40                | 347.30     | 13.65           | 4,470.00                       | 2.11             | 1.86      | 18.24         |
| 13.50                                                | 47.60                | 311.80     | 15.27           | 4,488.00                       | 2.12             | 1.84      | 18.04         |

Relación humedad - Peso unitario seco - Líneas de Saturación



| 2 | Variable                  | Und.  | Valores |
|---|---------------------------|-------|---------|
|   | Contenido Optimo de Agua  | %     | 13.2    |
|   | Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3 | 18.26   |
|   | Gravedad especifica       |       | 2.72    |

15. Ensayo de CBR – Suelo natural + 5.0% Ceniza de ichu

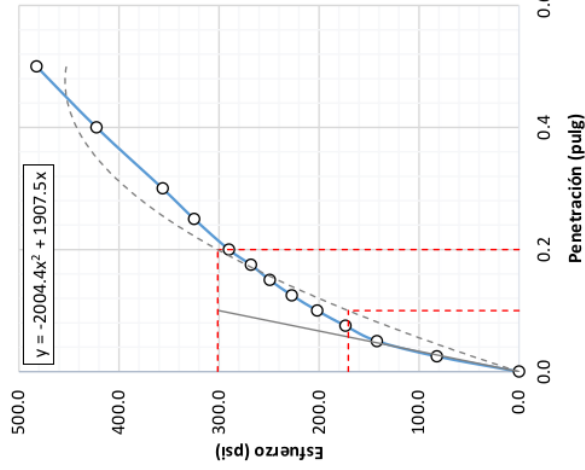
| CBR - Suelo natural + 5.0% Ceniza de ichu |                                    |        |           |           |          |
|-------------------------------------------|------------------------------------|--------|-----------|-----------|----------|
|                                           | Variable                           | Und.   | 12 golpes |           |          |
|                                           |                                    |        | 26 golpes | 55 golpes |          |
| DATOS                                     | Área del pistón de penetración     | pulg.2 | 3.00      |           |          |
|                                           | Diámetro del molde de CBR          | mm     | 152.3     | 152.4     | 152.4    |
|                                           | Altura del molde de CBR            | mm     | 177.8     | 177.7     | 177.7    |
|                                           | Peso del molde de CBR              | gf     | 7,909     | 9,043     | 9,084    |
|                                           | Altura del disco espaciador        | mm     | 61.4      |           |          |
|                                           | Peso de la muestra + molde CBR     | gf     | 11,919    | 13,333    | 13,564   |
|                                           | Masa del recipiente                | g      | 72.00     | 70.00     | 148.20   |
|                                           | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 389.10    | 367.50    | 431.40   |
|                                           | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 352.80    | 332.20    | 398.40   |
|                                           | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.00      | 0.00      | 0.00     |
|                                           | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.30      | 0.33      | 0.36     |
|                                           | Peso de la muestra + molde CBR     | g      | 12,153.5  | 13,481.5  | 13,661.0 |
|                                           | Masa del recipiente                | g      | 51.90     | 54.00     | 50.20    |
|                                           | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 378.20    | 381.10    | 344.00   |
|                                           | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 326.90    | 333.20    | 303.30   |
| RESULTADOS                                | Volumen del molde de CBR           | cm3    | 2,121.56  | 2,123.85  | 2,123.94 |
|                                           | Después de sumergirlo              | cm3    | 2,116.01  | 2,117.82  | 2,117.45 |
|                                           | Masa muestra húmeda                | g      | 317.10    | 297.50    | 283.20   |
|                                           | Masa muestra seca                  | g      | 280.80    | 262.20    | 250.20   |
|                                           | Contenido de humedad               | %      | 12.9      | 13.5      | 13.2     |
|                                           | Dato teórico del COA               | %      | 13.2      |           |          |
|                                           | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 1.89      | 2.02      | 2.11     |
|                                           | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.67      | 1.78      | 1.86     |
|                                           | Masa muestra húmeda                | g      | 326.30    | 327.10    | 293.80   |
|                                           | Masa muestra seca                  | g      | 275.00    | 279.20    | 253.10   |
|                                           | Contenido de humedad               | %      | 18.7      | 17.2      | 16.1     |
|                                           | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.01      | 2.10      | 2.16     |
|                                           | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.69      | 1.79      | 1.86     |
|                                           | Peso unitario seco de la muestra   | kN/m3  | 16.58     | 17.54     | 18.26    |
|                                           | Altura inicial de la muestra       | mm     | 116.42    | 116.38    | 116.37   |
|                                           | Expansión                          | %      | 0.24      | 0.26      | 0.28     |
|                                           | Altura final de la muestra         | mm     | 116.70    | 116.69    | 116.70   |



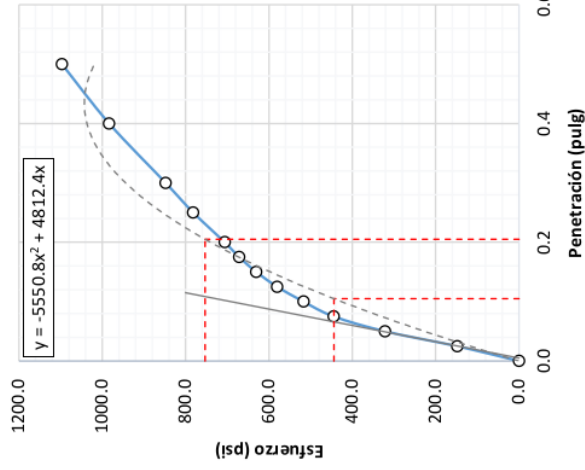


1

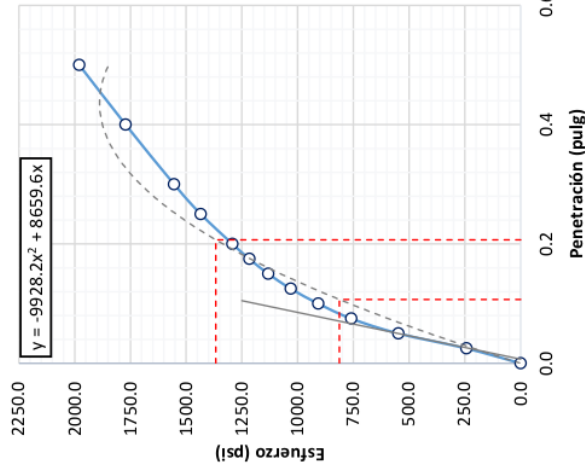
**Esfuerzo vs Deformación (12 golpes)**



**Esfuerzo vs Deformación (26 golpes)**

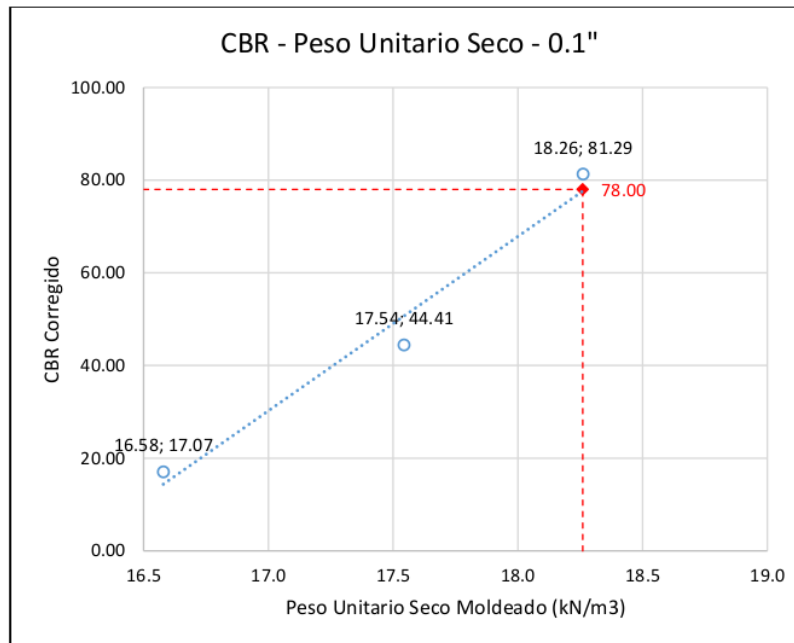


**Esfuerzo vs Deformación (55 golpes)**

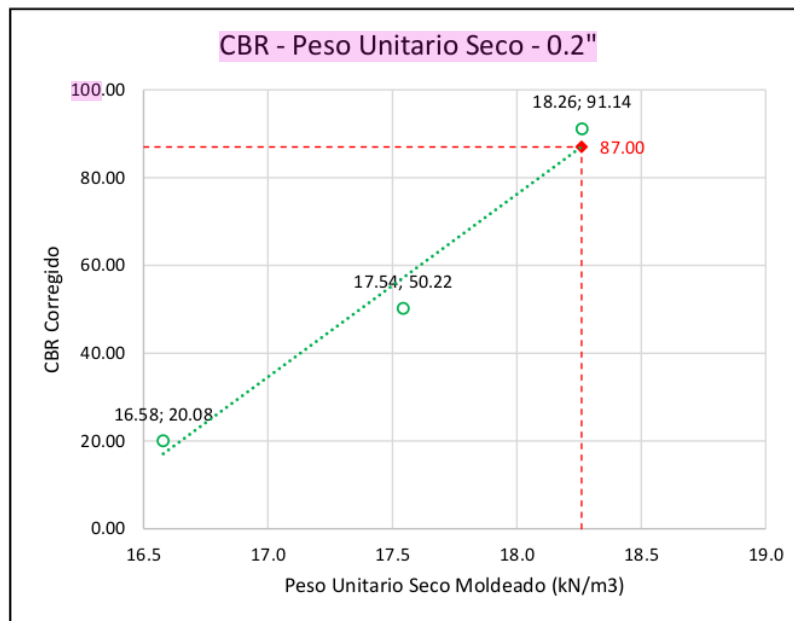


2

| Variable                  | Und.   | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.   |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------|
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3  | 18.26  |        |         |
| Peso Unitario Seco        | gf/cm3 | 1.69   | 1.79   | 1.86    |
| Peso Unitario Seco        | kN/m3  | 16.58  | 17.54  | 18.26   |
| Esfuerzo 0.1"             | psi    | 170.66 | 444.10 | 812.91  |
| Esfuerzo 0.2"             | psi    | 301.22 | 753.27 | 1367.12 |
| CBR 0.1"                  | %      | 17.07  | 44.41  | 81.29   |
| CBR 0.2"                  | %      | 20.08  | 50.22  | 91.14   |



% CBR 0.1" <sup>2</sup> para el 100% del M.P.U.S. 78.00 %

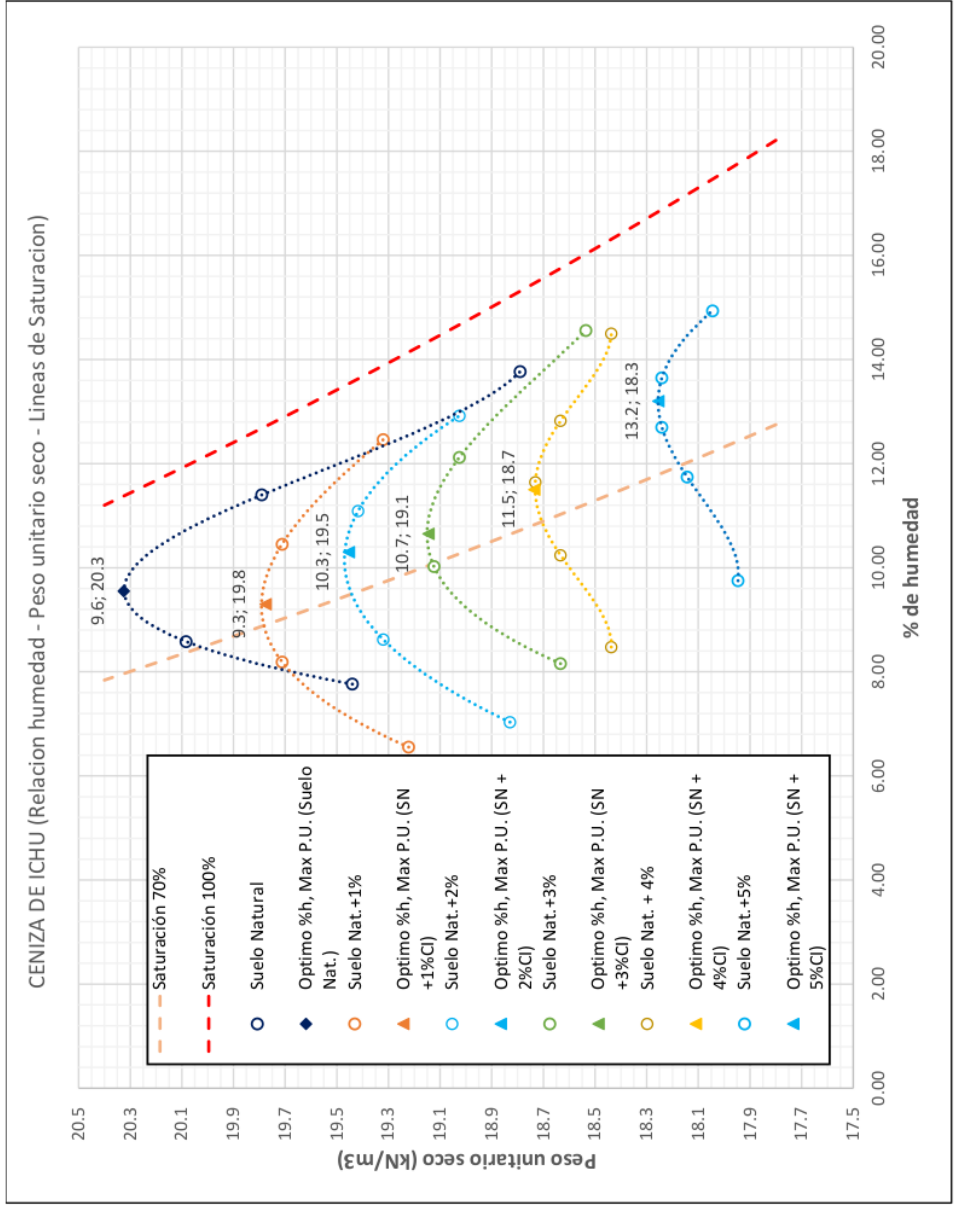


% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S. 87.00 %

16. COMPARACION DE RESULTADOS

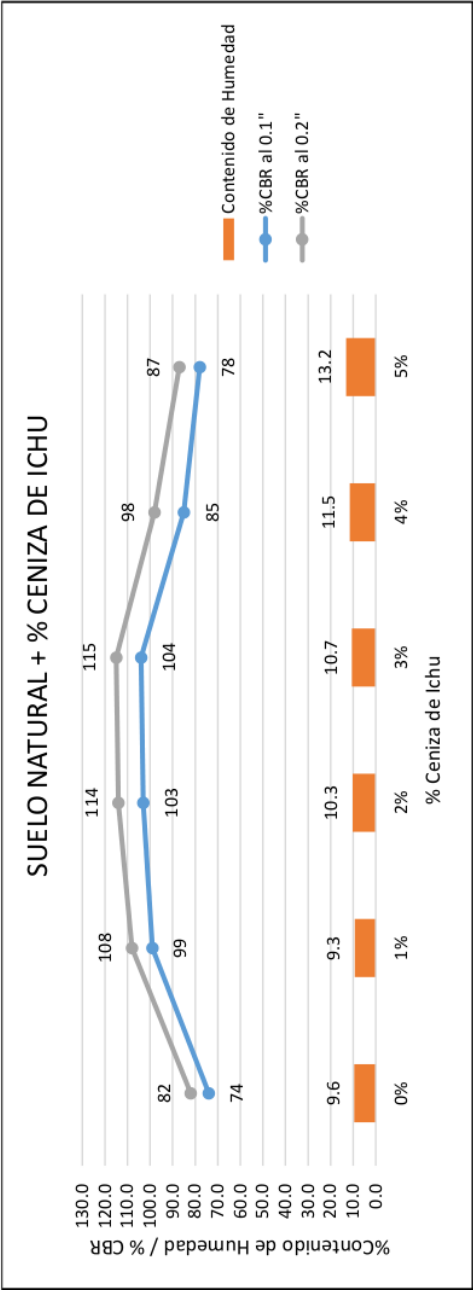
16.1. PROCTOR MODIFICADO

| Suelo Natural                                  |      | +1% Ceniza de Ichu |      | +2% Ceniza de Ichu |      | Suelo Natural |      | 3% Ceniza de Ichu |      | Suelo Natural + 4% Ceniza de Ichu |      | Suelo Natural + 5% Ceniza de Ichu |    |
|------------------------------------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|---------------|------|-------------------|------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|----|
| %W                                             | Yd   | %W                 | Yd   | %W                 | Yd   | %W            | Yd   | %W                | Yd   | %W                                | Yd   | %W                                | Yd |
| 7.8                                            | 19.4 | 6.6                | 19.2 | 7.0                | 18.8 | 8.2           | 18.6 | 8.5               | 18.4 | 9.8                               | 17.9 |                                   |    |
| 8.6                                            | 20.1 | 8.2                | 19.7 | 8.6                | 19.3 | 10.0          | 19.1 | 10.2              | 18.6 | 11.7                              | 18.1 |                                   |    |
| 11.4                                           | 19.8 | 10.5               | 19.7 | 11.1               | 19.4 | 12.1          | 19.0 | 11.6              | 18.7 | 12.7                              | 18.2 |                                   |    |
| 13.8                                           | 18.8 | 12.5               | 19.3 | 12.9               | 19.0 | 14.6          | 18.5 | 12.8              | 18.6 | 13.6                              | 18.2 |                                   |    |
| 0.0                                            | 0.0  | 0.0                | 0.0  | 0.0                | 0.0  | 0.0           | 0.0  | 14.5              | 18.4 | 14.9                              | 18.0 |                                   |    |
| Optimo Cont. de humedad y Máximo Peso Unitario |      |                    |      |                    |      |               |      |                   |      |                                   |      |                                   |    |
| 9.6                                            | 20.3 | 9.3                | 19.8 | 10.3               | 19.5 | 10.7          | 19.1 | 11.5              | 18.7 | 13.2                              | 18.3 |                                   |    |



16.2. CBR

| ITEMS                     | UND   | SUELO NATURAL |       |       | SUELO NATURAL + 1 % CENIZA |        |       | SUELO NATURAL + 2 % CENIZA |        |       | SUELO NATURAL + 3 % CENIZA |        |       | SUELO NATURAL + 4 % CENIZA |       |       | SUELO NATURAL + 5 % CENIZA |       |       |
|---------------------------|-------|---------------|-------|-------|----------------------------|--------|-------|----------------------------|--------|-------|----------------------------|--------|-------|----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|
|                           |       | 12 G          | 26 G  | 55 G  | 12 G                       | 26 G   | 55 G  | 12 G                       | 26 G   | 55 G  | 12 G                       | 26 G   | 55 G  | 12 G                       | 26 G  | 55 G  | 12 G                       | 26 G  | 55 G  |
| Golpes                    |       | 12 G          | 26 G  | 55 G  | 12 G                       | 26 G   | 55 G  | 12 G                       | 26 G   | 55 G  | 12 G                       | 26 G   | 55 G  | 12 G                       | 26 G  | 55 G  | 12 G                       | 26 G  | 55 G  |
| Cont. de Humedad Optimo   | %     |               | 9.6   |       |                            | 9.3    |       |                            | 10.3   |       |                            | 10.7   |       |                            | 11.5  |       |                            | 13.2  |       |
| Peso Unit. Seco Max. 100% | kN/m3 |               | 20.3  |       |                            | 19.8   |       |                            | 19.5   |       |                            | 19.1   |       |                            | 18.7  |       |                            | 18.3  |       |
| Expansión                 | %     | 0.6           | 0.7   | 0.7   | 0.4                        | 0.4    | 0.5   | 0.4                        | 0.6    | 0.6   | 0.4                        | 0.4    | 0.3   | 0.3                        | 0.3   | 0.3   | 0.2                        | 0.3   | 0.3   |
| Compactación              | %     | 90.0          | 94.0  | 100.0 | 90.0                       | 96.0   | 100.0 | 89.0                       | 94.0   | 100.0 | 88.0                       | 94.0   | 100.0 | 89.0                       | 95.0  | 100.0 | 91.0                       | 96.0  | 100.0 |
| % CBR corregido a 0.1"    | %     |               | 74.00 |       |                            | 99.00  |       |                            | 103.00 |       |                            | 104.00 |       |                            | 85.00 |       |                            | 78.00 |       |
| % CBR corregido a 0.2"    | %     |               | 82.00 |       |                            | 108.00 |       |                            | 114.00 |       |                            | 115.00 |       |                            | 98.00 |       |                            | 87.00 |       |



Se puede concluir que los resultados obtenidos de los ensayos de mezcla de suelo natural + el 3% de ceniza de ichu (pasante la malla N°60) incrementa la capacidad de resistencia del afirmado en un 30% más, pero a medida que se incrementa la dosificación de ceniza, el % de CBR vuelve a disminuir.

#### **Anexo 4**

*Resultados de ensayos de laboratorio de la dosificación de afirmado + 3% de ceniza de ichu (pasante el tamiz n°04)*

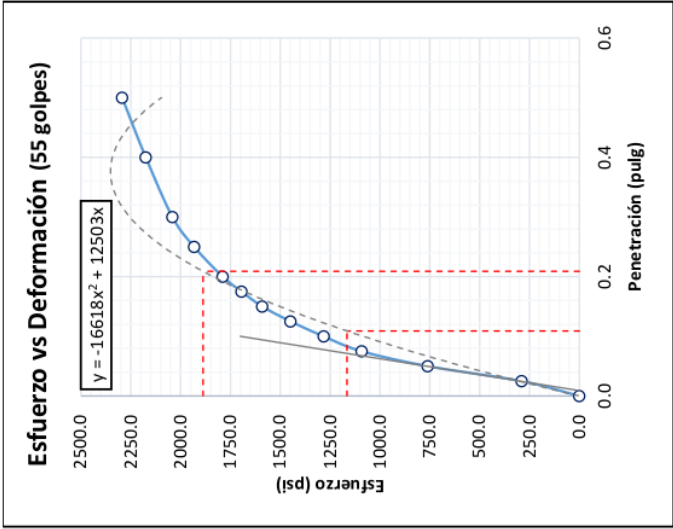
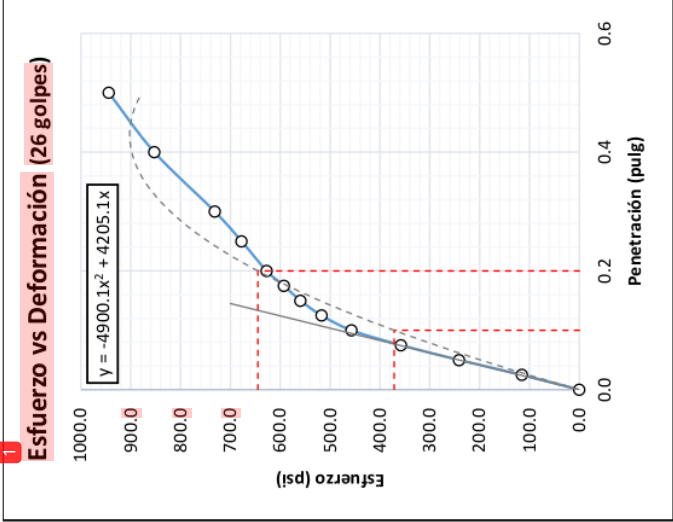
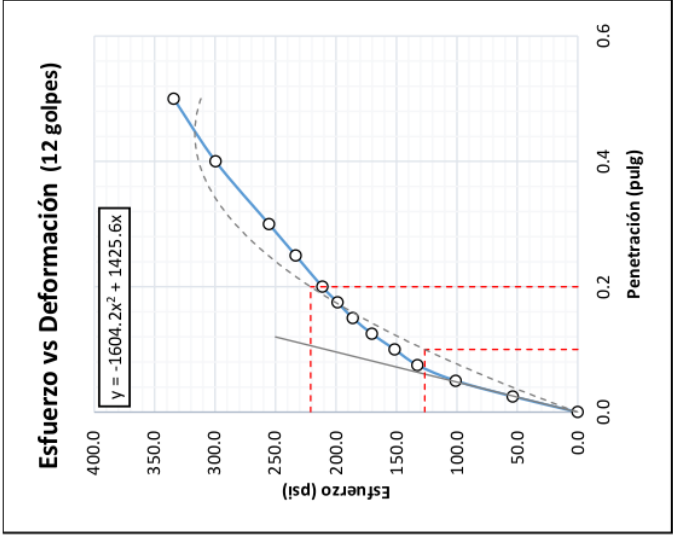
1. Análisis Granulométrico  
Anexo 1.
2. Determinación del porcentaje de Abrasión de los Ángeles  
Anexo 1.
3. Determinación del índice de plasticidad  
Anexo 1.
4. Clasificación del Suelo  
Anexo 1.
5. Gravedad específica y absorción de agregados  
Anexo 1.
6. Compactación de suelo + 3.0% de Ceniza de ichu empleando la energía modificada (molde 6")  
Anexo 3.

7. Ensayo de CBR – Suelo natural + 3.0% Ceniza de ichu (Pasante Tamiz N°04)

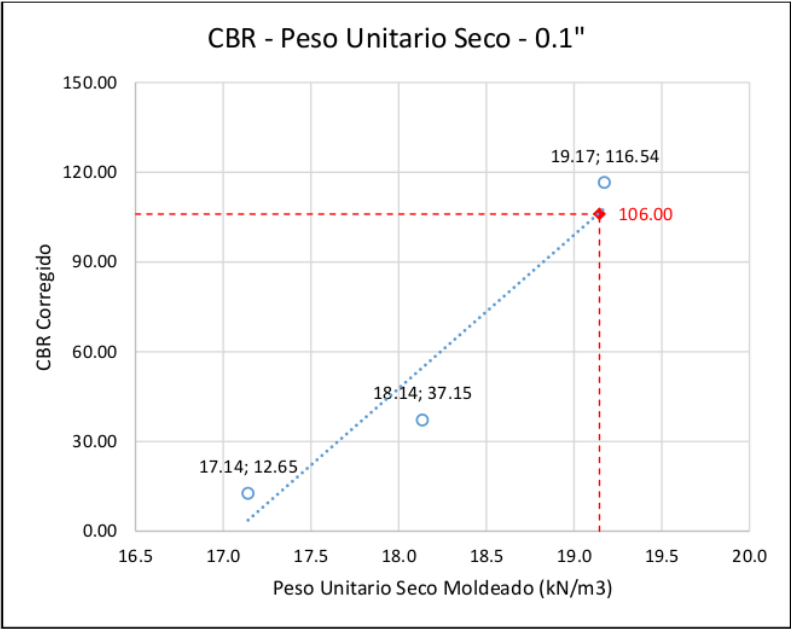
| CBR - Suelo natural + 3.0% Ceniza de ichu (Pasante Tamiz N04) |                                    |        |           |          |          |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------|-----------|----------|----------|
|                                                               | Variable                           | Und.   | 12 golpes |          |          |
|                                                               |                                    |        | 26 golpes |          |          |
| DATOS                                                         | Área del pistón de penetración     | pulg.2 | 3.00      |          |          |
|                                                               | Diámetro del molde de CBR          | mm     | 152.3     | 152.4    | 152.4    |
|                                                               | Altura del molde de CBR            | mm     | 177.8     | 177.7    | 177.7    |
|                                                               | Peso del molde de CBR              | gf     | 7,072     | 7,833    | 8,347    |
|                                                               | Altura del disco espaciador        | mm     | 61.4      |          |          |
|                                                               | Peso de la muestra + molde CBR     | gf     | 11,099    | 12,142   | 12,876   |
|                                                               | Masa del recipiente                | g      | 53.90     | 70.00    | 52.00    |
|                                                               | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 337.70    | 367.50   | 335.30   |
|                                                               | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 310.80    | 338.70   | 308.70   |
|                                                               | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.00      | 0.00     | 0.00     |
|                                                               | Lectura de dial de deformación     | mm     | 0.49      | 0.47     | 0.43     |
|                                                               | Peso de la muestra + molde CBR     | g      | 11,414.5  | 12,372.5 | 13,004.0 |
|                                                               | Masa del recipiente                | g      | 69.90     | 51.90    | 54.00    |
|                                                               | Masa muestra húmeda + recipiente   | g      | 343.90    | 305.00   | 382.50   |
|                                                               | Masa de muestra seca + recipiente  | g      | 302.90    | 270.00   | 345.80   |
| RESULTADOS                                                    | Volumen del molde de CBR           | cm3    | 2,121.56  | 2,123.85 | 2,123.94 |
|                                                               | Después de sumergirlo              | cm3    | 2,112.63  | 2,115.27 | 2,116.06 |
|                                                               | Masa muestra húmeda                | g      | 283.80    | 297.50   | 283.30   |
|                                                               | Masa muestra seca                  | g      | 256.90    | 268.70   | 256.70   |
|                                                               | Contenido de humedad               | %      | 10.5      | 10.7     | 10.4     |
|                                                               | Dato teórico del COA               | %      | 10.7      |          |          |
|                                                               | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 1.90      | 2.03     | 2.13     |
|                                                               | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.72      | 1.83     | 1.93     |
|                                                               | Masa muestra húmeda                | g      | 274.00    | 253.10   | 328.50   |
|                                                               | Masa muestra seca                  | g      | 233.00    | 218.10   | 291.80   |
|                                                               | Contenido de humedad               | %      | 17.6      | 16.0     | 12.6     |
|                                                               | Peso unitario húmedo de la muestra | gf/cm3 | 2.06      | 2.15     | 2.20     |
|                                                               | Peso unitario seco de la muestra   | gf/cm3 | 1.75      | 1.85     | 1.96     |
|                                                               | Peso unitario seco de la muestra   | kN/m3  | 17.1      | 18.14    | 19.17    |
|                                                               | Altura inicial de la muestra       | mm     | 116.42    | 116.38   | 116.37   |
| 2 %<br>Expansión                                              | Expansión                          | %      | 0.39      | 0.37     | 0.34     |
|                                                               | Altura final de la muestra         | mm     | 116.87    | 116.81   | 116.77   |

| Penetración |       | 12 G. | 26 G. | 55 G. | 12 G. | 26 G.  | 55 G.  | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.  | 12 G. | 26 G. | 55 G.  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| mm          | pulg  | Dial  | Dial  | Dial  | kgf   | kgf    | kgf    | lbf    | lbf    | lbf    | psi   | psi   | psi    |
| 0.00        | 0.000 | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0    |
| 0.64        | 0.025 | 14.0  | 33.5  | 89.0  | 71.9  | 154.2  | 388.4  | 161.2  | 345.5  | 870.3  | 53.7  | 115.2 | 290.1  |
| 1.27        | 0.050 | 29.0  | 73.5  | 238.5 | 135.2 | 323.0  | 1019.4 | 303.0  | 723.8  | 2284.0 | 101.0 | 241.3 | 761.3  |
| 1.91        | 0.075 | 39.0  | 110.5 | 343.5 | 177.4 | 479.2  | 1462.5 | 397.6  | 1073.6 | 3276.8 | 132.5 | 357.9 | 1092.3 |
| 2.54        | 0.100 | 45.0  | 142.0 | 404.0 | 202.8 | 612.1  | 1717.8 | 454.3  | 1371.5 | 3848.9 | 151.4 | 457.2 | 1283.0 |
| 3.18        | 0.125 | 51.0  | 161.0 | 456.5 | 228.1 | 692.3  | 1939.4 | 511.0  | 1551.2 | 4345.3 | 170.3 | 517.1 | 1448.4 |
| 3.81        | 0.150 | 56.0  | 174.5 | 501.5 | 249.2 | 749.3  | 2129.3 | 558.3  | 1678.8 | 4770.9 | 186.1 | 559.6 | 1590.3 |
| 4.45        | 0.175 | 60.0  | 185.0 | 534.5 | 266.1 | 793.6  | 2268.5 | 596.1  | 1778.1 | 5082.9 | 198.7 | 592.7 | 1694.3 |
| 5.08        | 0.200 | 64.0  | 196.0 | 564.5 | 282.9 | 840.0  | 2395.2 | 633.9  | 1882.1 | 5366.6 | 211.3 | 627.4 | 1788.9 |
| 6.35        | 0.250 | 71.0  | 212.0 | 610.0 | 312.5 | 907.5  | 2587.2 | 700.1  | 2033.4 | 5796.8 | 233.4 | 677.8 | 1932.3 |
| 7.62        | 0.300 | 78.0  | 229.0 | 644.5 | 342.0 | 979.3  | 2732.8 | 766.3  | 2194.2 | 6123.0 | 255.4 | 731.4 | 2041.0 |
| 10.16       | 0.400 | 92.0  | 267.5 | 687.0 | 401.1 | 1141.7 | 2912.1 | 898.7  | 2558.2 | 6524.9 | 299.6 | 852.7 | 2175.0 |
| 12.70       | 0.500 | 103.0 | 296.5 | 724.5 | 447.5 | 1264.1 | 3070.4 | 1002.7 | 2832.4 | 6879.5 | 334.2 | 944.1 | 2293.2 |

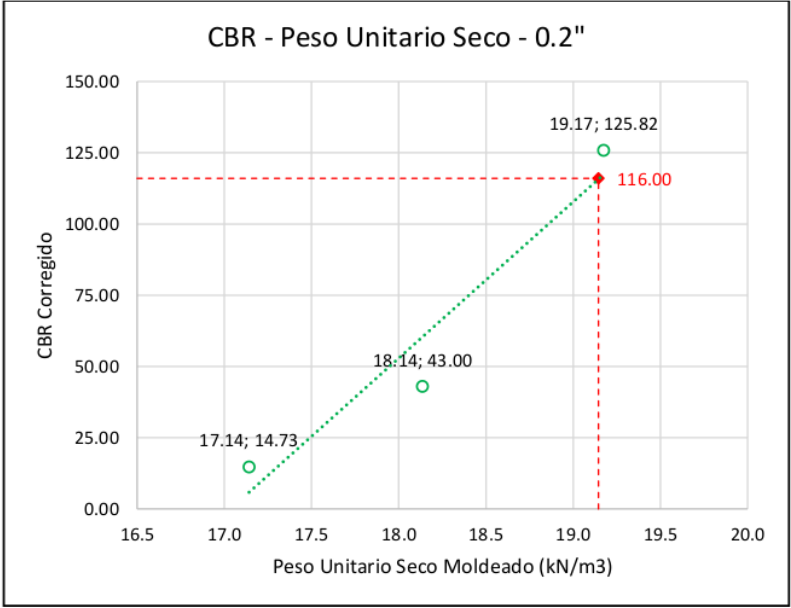




| Variable                  | Und.   | 12 G.  | 26 G.  | 55 G.   |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------|
| Peso Unitario Seco Máximo | kN/m3  | 19.15  |        |         |
| Peso Unitario Seco        | gf/cm3 | 1.75   | 1.85   | 1.96    |
| Peso Unitario Seco        | kN/m3  | 17.14  | 18.14  | 19.17   |
| Esfuerzo 0.1"             | psi    | 126.52 | 371.51 | 1165.39 |
| Esfuerzo 0.2"             | psi    | 220.95 | 645.02 | 1887.24 |
| CBR 0.1"                  | %      | 12.65  | 37.15  | 116.54  |
| CBR 0.2"                  | %      | 14.73  | 43.00  | 125.82  |

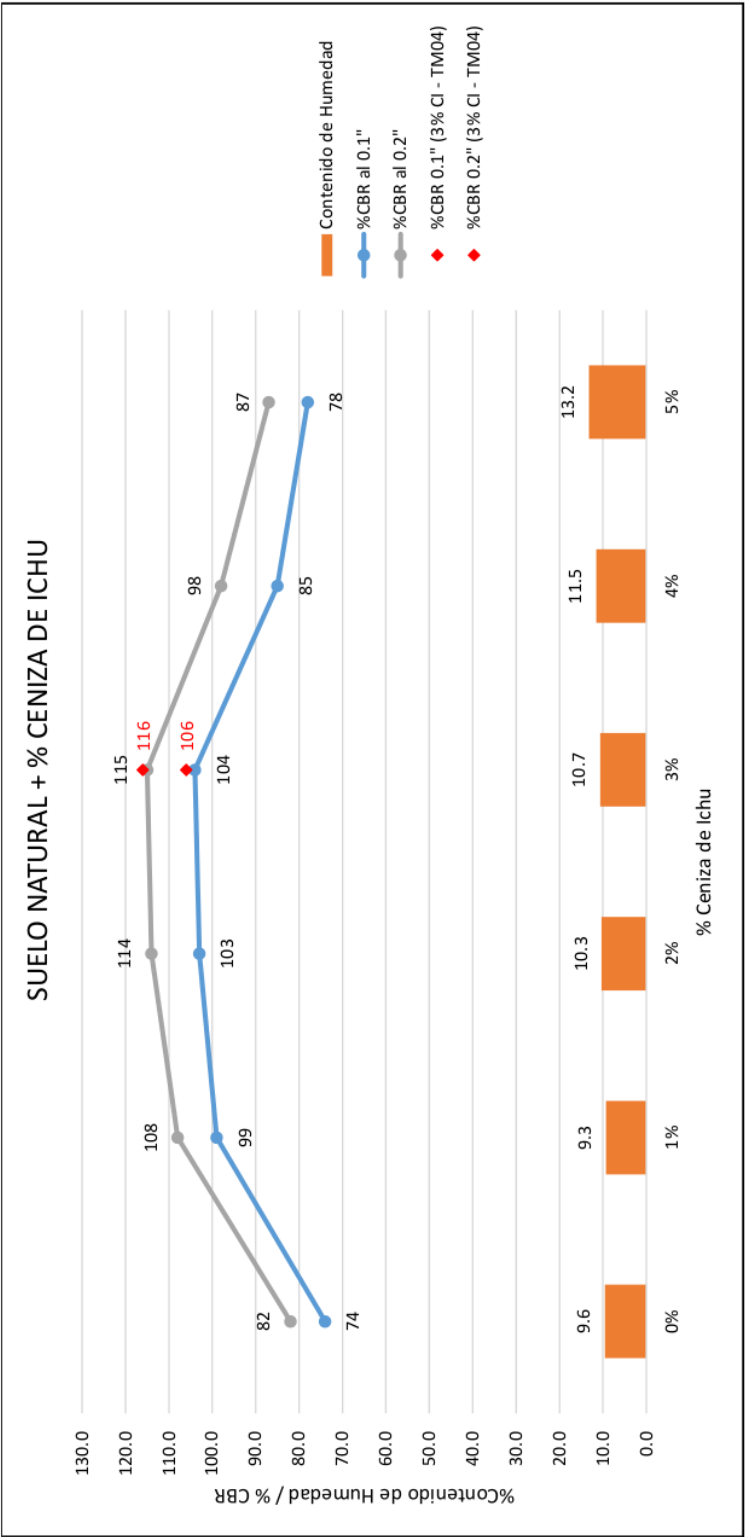


% CBR 0.1" para el 100% del M.P.U.S.                      106.00 %



% CBR 0.2" para el 100% del M.P.U.S.                      116.00 %

8. Comparación de resultados



Se puede concluir que los resultados obtenidos de los ensayos de mezcla de suelo natural + el 3% de ceniza de ichu (pasante las mallas N°60 y N°04) son semejantes y mejora la capacidad de resistencia del suelo natural calificado como afirmado en un 30% más.

**Anexo 5**  
*Panel fotográfico*



**Imagen 1**  
*Tramo 5 (YUNTA-PATAQUEÑA) DEL PROYECTO DE  
CONSERVACIÓN VIAL ICHUÑA*



**Imagen 2**  
*Obtención de muestras de cantera*



**Imagen 3**  
*Recopilación de fibra de ichu*



**Imagen 4**  
*Acopio de la fibra de Ichu*





**Imagen 5**  
*Obtención de la ceniza de ichu*



**Imagen 6**  
*Cuardeo de muestra para ensayar*



**Imagen 7**

*Ensayo de granulometría de agregado grueso*



**Imagen 8**

*Ensayo de granulometría de agregado fino*



**Imagen 9**  
*Ensayo de limite liquido*



**Imagen 10**  
*Ensayo de limite plástico*





**Imagen 11**  
*Ensayo de abrasión de los ángeles*



**Imagen 12**  
*Ensayo de gravedad específica del agregado fino*



**Imagen 13**  
*Ensayo de gravedad especifica del agregado fino*



**Imagen 14**  
*Ensayo de gravedad especifica del agregado grueso*



**Imagen 15**

*Determinación del volumen del molde de 6" por el método de medición lineal*



**Imagen 16**

*Determinación del volumen del molde de 6" por el método de llenado de agua*



**Imagen 17**  
*Ensayo de Proctor modificado para cbr*



**Imagen 18**  
*Ensayo de cbr - afirmado*





**Imagen 19**  
*Inmersión de muestras en tanque de agua*



**Imagen 20**  
*Preparación de la fibra de ichu para los ensayos*



**Imagen 21**  
*Saturación de la fibra de ichu para ensayo de Proctor modificado*



**Imagen 22**  
*Mezcla de la fibra de ichu y muestra de afirmado*



**Imagen 23**

*Muestra de %fibra de ichu + afirmado en molde de proctor modificado de 6"*



**Imagen 24**

*Obtención de muestras para hallar el %contenido de humedad*





**Imagen 25**  
*Tamizado de la ceniza para ensayar (tamiz n°60)*



**Imagen 26**  
*Tamizado de la ceniza para ensayar (tamiz n°04)*





**Imagen 27**  
*Mezcla de %ceniza de ichu + afirmado*



**Imagen 28**  
*Ensayo de Penetración del molde para obtener el %CBR*

# Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con fibra y ceniza de ichu para el tramo 5 (Yunta-Pataqueña) del proyecto de conservación vial Ichuña 1, provincia General Sánchez Cerro, departamento

## INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[tesis.ucsm.edu.pe](https://tesis.ucsm.edu.pe)

Fuente de Internet

4%

2

Submitted to Universidad Católica de Santa  
María

Trabajo del estudiante

3%

3

[cybertesis.uni.edu.pe](https://cybertesis.uni.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

4

[repositorioacademico.upc.edu.pe](https://repositorioacademico.upc.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

5

[scielo.conicyt.cl](https://scielo.conicyt.cl)

Fuente de Internet

1%

6

[www.scribd.com](https://www.scribd.com)

Fuente de Internet

1%