



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables
incorporando yeso hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito.

Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021”

Línea de investigación: Geotecnia y Pavimentos

Presentado por:

-Bach. Herrera Vergara, Jhair Helio

<https://orcid.org/0009-0007-2973-1666>

-Bach. Santander Rios, Dayana Danitsa

<https://orcid.org/0009-0003-7458-0992>

**Para optar el título profesional de Ingeniero
Civil**

Asesor:

Mgt. Ing. Edson Julio Salas Fortón

<https://orcid.org/0000-0002-6142-8217>

CUSCO-PERÚ

2023



Metadatos

Datos del autor 01	
Nombres y apellidos	Jhair Helio Herrera Vergara
Número de documento de identidad	70681541
URL de Orcid	https://orcid.org/0009-0007-2973-1666
Datos del autor 02	
Nombres y apellidos	Dayana Danitsa Santander Rios
Número de documento de identidad	72604057
URL de Orcid	https://orcid.org/0009-0003-7458-0992
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	Edson Julio Salas Fortón
Número de documento de identidad	23853692
URL de Orcid	https://orcid.org/0000-0002-6142-8217
Datos del jurado	
Presidente del jurado (jurado 1)	
Nombres y apellidos	Mgt. Ing. Carmen Cecilia Gil Rodríguez
Número de documento de identidad	23877911
Jurado 2	
Nombres y apellidos	Mgt. Ing. Héctor Erick Somocurcio Alarcón
Número de documento de identidad	23813832
Jurado 3	
Nombres y apellidos	Mgt. Ing. Eigner Roman Villegas
Número de documento de identidad	23928061
Jurado 4	
Nombres y apellidos	Mgt. Ing. Jorge Álvarez Espinoza
Número de documento de identidad	23818765
Datos de la investigación	
Línea de investigación de la Escuela Profesional	Geotecnia y Pavimentos



TURNITING

Evaluación de las propiedades
físico-mecánicas de suelos
inestables incorporando yeso
hidráulico en vías de bajo
volumen de tránsito. Carretera
Tica Tica-Chincheru, Cusco
2021

por Jhair H. Herrera, Dayana D. Santander

Fecha de entrega: 11-dic-2023 08:00p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2237422899
Nombre del archivo: Tesis_JHAIR_Y_DAYANA_OF5.docx (20.02M)
Total de palabras: 36673
Total de caracteres: 184721

Jhair H. Herrera
Dayana D. Santander



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



TESIS

"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables
incorporando yeso hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito.
Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021"

Línea de investigación: Geotecnia y Pavimentos

Presentado por:

-Bach. Herrera Vergara, Jhair Helio

<https://orcid.org/0009-0007-2973-1666>

-Bach. Santander Ríos, Dayana Danitsa

<https://orcid.org/0009-0003-7458-0992>

Para optar el título profesional de Ingeniero
Civil

Asesor:

Mgt. Ing. Edson Julio Salas Fortón

<https://orcid.org/0000-0002-6142-8217>

CUSCO-PERÚ

2023



Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables incorporando yeso hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%	20%	3%	12%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	5%
3	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	3%
4	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1%


E. Jans.



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	María Carmen Huamantalla Quispe
Título del ejercicio:	Trabajo 20
Título de la entrega:	Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos in...
Nombre del archivo:	Tesis_JHAIR_Y_DAYANA_OF5.docx
Tamaño del archivo:	20.02M
Total páginas:	381
Total de palabras:	36,673
Total de caracteres:	184,721
Fecha de entrega:	11-dic.-2023 08:00p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2237422899





Agradecimiento

A Dios y nuestros seres queridos que desde el cielo hicieron posible el culminar esta etapa de forma satisfactoria, guiándonos y cuidándonos en todo momento.

A nuestros padres que con su apoyo y motivación nos brindaron la oportunidad de estudiar y culminar esta maravillosa profesión.

A nuestra alma mater Universidad Andina del Cusco y nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Civil, que recordaremos con mucho aprecio el camino recorrido en todo este tiempo de aprendizaje y formación profesional.

A nuestro asesor Ing. Edson Julio Salas Fortón, por el conocimiento brindado para la realización de esta investigación y su satisfactoria culminación.

Al Ing. Julio Deza, al Ing. Alfredo Curo, al Ing. César Arbulú, al Ing. José A. Montesinos por su ayuda y aporte de sus conocimientos a la presente investigación.

Jhair-Dayana



Dedicatoria

Con amor a mi madre Nilda Vergara Quiroz quien con su nobleza, coraje y perseverancia fue inspiración para mí, a mi hermano Emir Luisin Herrera Vergara quien me brinda la mejor compañía y los mejores consejos de vida, a ellos que con su ternura y aliento dieron a mi vida fortaleza para lograr este objetivo.

A mi padre Leonidas Herrera Paullo que tuvo las palabras adecuadas en los momentos adecuados para hacerme superar cualquier obstáculo.

A mi primo Agustín Astete Herrera y mi tío Yulmer Herrera Paullo que me ayudaron a descubrir mis fortalezas y debilidades, a mis amistades y familia que siempre estuvo presente.

Agradecido con cada uno de ustedes y con Dios que supo ponerme las personas más certeras en la vida.

Jhair Helio Herrera Vergara

Con cariño para mi padre Victor Hugo Santander Collantes que me enseñó esta hermosa profesión desde pequeña, y que desde donde esté, sé que me protege. Para mi madre Francisca Ríos Chávez, que me incentivo y me dio ánimos para seguir adelante a pesar de los obstáculos de la vida.

A mi familia, que me apoyaron en todo el proceso universitario, acompañándome en cada paso que doy.

A mis amigos, que me enseñaron el verdadero significado de la amistad, dándome aliento en todo momento.

A cada uno de ellos, mil gracias, por darme razones para seguir adelante y no rendirme en la vida.

Dayana Danitsa Santander Ríos



Índice general

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	4
1.1. Identificación del problema	4
Descripción del problema de investigación	4
1.1.1. Área de investigación	5
Formulación interrogativa del problema.....	7
1.1.1.1. Formulación interrogativa del problema general.....	7
1.1.1.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos	7
1.2. Justificación e importancia de la investigación	8
1.2.1. Justificación técnica	8
1.2.2. Justificación social	8
1.2.3. Justificación por viabilidad	8
1.2.4. Justificación por relevancia.....	9
1.3. Delimitaciones de la investigación	9
1.3.1. Delimitación espacial	9
1.3.2. Delimitaciones de materiales	9
1.3.3. Delimitaciones de ensayos	9
1.3.4. Delimitaciones de diseño	9
1.4. Objetivos de la investigación.....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos	10
Capítulo II: Marco teórico.....	11
2.1. Antecedentes de la investigación.....	11
2.1.1. Antecedente a nivel nacional.....	11



2.1.2.	Antecedentes a nivel internacional.....	14
2.2.	Bases teóricas	16
2.3.	Hipótesis	33
2.3.1.	Hipótesis general	33
2.3.2.	Hipótesis específicas	33
2.4.	Definición de variables.....	34
2.4.1.	Variables.....	34
2.4.2.	Cuadro de operacionalización de variables	35
Capitulo III: Método.....		36
3.1.	Metodología de la investigación.....	36
3.1.1.	Enfoque de la investigación	36
3.1.2.	Nivel o alcance de la investigación	36
3.2.	Diseño de la investigación.....	36
3.2.1	Diseño metodológico	36
3.2.2	Diseño de ingeniería.....	37
3.3.	Población y muestra.....	38
3.3.1.	Población.....	38
3.3.2.	Muestra	38
3.3.2.1.	Descripción y cuantificación de la muestra	38
3.3.2.2.	Método de muestreo	38
3.3.2.3.	Criterios de evaluación de muestra.....	38
3.3.2.4.	Criterios de inclusión.....	39
3.4.	Instrumentos	40
3.4.1.	Instrumentos de recolección de datos.....	40
3.4.2.	Instrumentos de ingeniería	45
3.5.	Procedimiento de recolección y análisis de datos	48
3.5.1.	Procedimiento realizado para la recolección de datos	48



3.5.1.1.	Levantamiento topográfico, replanteo y muestreo	48
3.5.1.2.	Extracción, tallado y horneado de yeso	51
3.5.1.3.	Determinación del contenido de humedad	53
3.5.1.4.	Ensayo de análisis granulométrico por tamizado	54
3.5.1.5.	Ensayo de límites de Atterberg.....	57
3.5.1.6.	Ensayo de compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada (Proctor Modificado)	60
3.5.1.7.	Ensayo de Relación Soporte California (CBR)	65
3.5.1.8.	Ensayo de Resistencia a la Erosión (Ensayo de Erosión Acelerada Swinburne – SAET)	70
3.5.2.	Toma de datos y cálculos	71
3.5.2.1.	Análisis de datos obtenidos del ensayo de det. del contenido de humedad....	71
3.5.2.2.	Análisis de datos obtenidos en el ensayo de análisis granulométrico por tamizado	73
3.5.2.3.	Análisis de datos obtenidos en el ensayo de Límites de Atterberg	80
3.5.2.4.	Análisis de Índice de plasticidad	103
3.5.2.5.	Análisis de clasificación de suelos	104
3.5.2.6.	Análisis de datos obtenidos en el ensayo de compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada	118
3.5.2.7.	Análisis de datos obtenidos en el ensayo de Relación de soporte California (CBR)	144
3.5.2.8.	Análisis de datos obtenidos en el Ensayo de Resistencia a la Erosión (Ensayo de Erosión Acelerada Swinburne – SAET)	241
Capitulo IV: Resultados		242
4.1.	Resultado de los ensayos	242
4.1.1.	Ensayo de contenido de humedad.....	242
4.1.2.	Análisis granulométrico por tamizado	243
4.1.3.	Determinación de Limites de Atterberg.....	249



4.1.4.	Clasificación de Suelos	252
4.1.5.	Compactación de Suelos (Proctor Modificado)	254
4.1.6.	Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)	256
4.1.7.	Ensayo de Resistencia a la Erosión	263
Capítulo V:	Discusión	265
Glosario		267
Conclusiones		268
Recomendaciones.....		273
Referencias Bibliográficas		274
Anexos		276
Anexo 01: Matriz de consistencia		276
Anexo 02: Croquis de la ubicación de calicatas		277
Anexo 03: Fichas de Laboratorio de Ingeniería Civil de la UAC		283
Anexo 04: Datos Obtenidos.....		310
Anexo 05: Panel Fotográfico		347



Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Serie de Tamices a utilizar</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2: Clasificación de Suelos según Índice de Plasticidad.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3: Clasificación de suelos según Índice de Grupo</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4: Simbología de suelos según SUCS</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 5: Características y uso de los Suelos</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 6: Clasificación de Suelos, según AASHTO</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 7: Características de los Suelos – según AASHTO.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 8: Métodos usados para el Ensayo de Proctor</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 9: Clasificación de la Subrasante de acuerdo al CBR</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 10: Cuadro de Numero de Ensayos.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 11: Ficha de Toma de datos de Contenido de Humedad</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 12: Ficha de toma de datos para el análisis granulométrico por tamizado</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 13: Ficha de toma de datos del ensayo de límite líquido</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 14: Ficha de toma de datos del ensayo de límite plástico.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 15: Ficha de datos del ensayo Proctor Modificado</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 16: Ficha de toma de datos de ensayo de Relación de Soporte California (CBR)</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 17: Ficha de toma de datos de ensayo de Resistencias a la Erosión</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 18: Análisis Granulométrico C1</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 19: Análisis granulométrico C2.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 20: Análisis Granulométrico C3</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 21: Análisis granulométrico C4.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 22: Análisis granulométrico C5.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 23: Análisis granulométrico C6.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 24: Análisis de daos de límite líquido C1 suelo natural</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 25: Análisis de daos de límite líquido C1 adicionado con yeso hidráulico 1%</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 26: Análisis de daos de límite líquido C1 adicionado con yeso hidráulico 2%</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 27: Análisis de daos de límite líquido C1 adicionado con yeso hidráulico 3%</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 28: Análisis de daos de límite líquido C2 suelo natural</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 29: Análisis de daos de límite líquido C2 adicionado con yeso hidráulico 1%</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 30: Análisis de daos de límite líquido C2 adicionado con yeso hidráulico 2%</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 31: Análisis de daos de límite líquido C2 adicionado con yeso hidráulico 3%</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 32: Análisis de daos de límite líquido C3 Suelo Natural.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 33: Análisis de daos de límite líquido C3 adicionado con yeso hidráulico 1%</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 34: Análisis de daos de límite líquido C3 adicionado con yeso hidráulico 2%</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 35: Análisis de daos de límite líquido C3 adicionado con yeso hidráulico 3%</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 36: Análisis de daos de limite liquido C4 Suelo Natural.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 37: Análisis de daos de limite liquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 2%.....</i>	<i>89</i>



Tabla 38: Análisis de daos de limite liquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 2%.....	90
Tabla 39: Análisis de daos de limite liquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 3%.....	90
Tabla 40: Análisis de daos de limite liquido C5 Suelo Natural.....	91
Tabla 41: Análisis de daos de limite liquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 1%.....	92
Tabla 42: Análisis de daos de limite liquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 2%.....	92
Tabla 43: Análisis de daos de limite liquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 3%.....	93
Tabla 44: Análisis de daos de limite liquido C6 Suelo Natural.....	94
Tabla 45: Análisis de daos de limite liquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 1%.....	94
Tabla 46: Análisis de daos de limite liquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 2%.....	95
Tabla 47: Análisis de daos de limite liquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 3%.....	96
Tabla 48: Análisis de datos de límite plástico de C1 Suelo Natural.....	97
Tabla 49: Análisis de datos de límite plástico de C1 adicionado con Yeso Hidráulico 1%.....	97
Tabla 50: Análisis de datos de límite plástico de C1 adicionado con Yeso Hidráulico 2%.....	97
Tabla 51: Análisis de datos de límite plástico de C1 adicionado con Yeso Hidráulico 3%.....	97
Tabla 52: Análisis de datos de límite plástico de C2 Suelo Natural.....	98
Tabla 53: Análisis de datos de límite plástico de C2 adicionado con Yeso Hidráulico 1%.....	98
Tabla 54: Análisis de datos de límite plástico de C2 adicionado con Yeso Hidráulico 2%.....	98
Tabla 55: Análisis de datos de límite plástico de C2 adicionado con Yeso Hidráulico 3%.....	98
Tabla 56: Análisis de datos de límite plástico de C3 Suelo Natural.....	99
Tabla 57: Análisis de datos de límite plástico de C3 adicionado con Yeso Hidráulico 1%.....	99
Tabla 58: Análisis de datos de límite plástico de C3 adicionado con Yeso Hidráulico 2%.....	99
Tabla 59: Análisis de datos de límite plástico de C3 adicionado con Yeso Hidráulico 3%.....	99
Tabla 60: Análisis de datos de límite plástico de C4 Suelo Natural.....	100
Tabla 61: Análisis de datos de límite plástico de C4 adicionado con Yeso Hidráulico 1%.....	100
Tabla 62: Análisis de datos de límite plástico de C4 adicionado con Yeso Hidráulico 2%.....	100
Tabla 63: Análisis de datos de límite plástico de C4 adicionado con Yeso Hidráulico 3%.....	100
Tabla 64: Análisis de datos de límite plástico de C5 Suelo Natural.....	101
Tabla 65: Análisis de datos de límite plástico de C5 adicionado con Yeso Hidráulico 1%.....	101
Tabla 66: Análisis de datos de límite plástico de C5 adicionado con Yeso Hidráulico 2 %.....	101
Tabla 67: Análisis de datos de límite plástico de C5 adicionado con Yeso Hidráulico 3%.....	101
Tabla 68: Análisis de datos de límite plástico de C6 Suelo Natural.....	102
Tabla 69: Análisis de datos de límite plástico de C6 adicionado con Yeso Hidráulico 1%.....	102
Tabla 70: Análisis de datos de límite plástico de C6 adicionado con Yeso Hidráulico 2%.....	102
Tabla 71: Resumen de LL, LP e Índice de Plasticidad.....	103
Tabla 72: Criterio de clasificación SUCS.....	105
Tabla 73: Criterio de clasificación AASTHO.....	106
Tabla 74: Resumen de Limites de Atterberg e Índice de plasticidad C1.....	107
Tabla 75: Valores para ecuación de IG C1.....	108



Tabla 76: Clasificación de Suelos por AASHTO para C1.....	108
Tabla 77: Resumen de Limites de Atterberg e Índice de plasticidad C2.....	109
Tabla 78: Valores para ecuación de IG C2.....	110
Tabla 79: Clasificación de Suelos por AASHTO para C2.....	110
Tabla 80: Resumen de Limites de Atterberg e Índice de plasticidad C3.....	111
Tabla 81: Valores para ecuación de IG C3.....	112
Tabla 82: Clasificación de Suelos por AASHTO para C3.....	112
Tabla 83: Resumen de Limites de Atterberg e Índice de plasticidad C4.....	113
Tabla 84: Valores para ecuación de IG C4.....	114
Tabla 85: Clasificación de Suelos por AASHTO para C4.....	114
Tabla 86: Resumen de Limites de Atterberg e Índice de plasticidad C5.....	115
Tabla 87: Valores para ecuación de IG C4.....	116
Tabla 88: Clasificación de Suelos por AASHTO para C4.....	116
Tabla 89: Resumen de Limites de Atterberg e Índice de plasticidad C6.....	117
Tabla 90: Valores para ecuación de IG C4.....	118
Tabla 91: Clasificación de Suelos por AASHTO para C4.....	118
Tabla 92: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C1.....	120
Tabla 93: Contenido de humedad y densidad seca C1 suelo natural.....	120
Tabla 94: Contenido de humedad y densidad seca C1 suelo natural + 1% YH.....	121
Tabla 95: Contenido de humedad y densidad seca C1 suelo natural +2% YH.....	122
Tabla 96: Contenido de humedad y densidad seca C1 suelo natural + 3% YH.....	123
Tabla 97: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C2.....	124
Tabla 98: Contenido de humedad y densidad seca C2 suelo natural.....	124
Tabla 99: Contenido de humedad y densidad seca C2 suelo natural + 1% YH.....	125
Tabla 100: Contenido de humedad y densidad seca C2 suelo natural + 2% YH.....	126
Tabla 101: Contenido de humedad y densidad seca C2 suelo natural +3% YH.....	127
Tabla 102: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C3.....	128
Tabla 103: Contenido de humedad y densidad seca C3 suelo natural.....	128
Tabla 104: Contenido de humedad y densidad seca C3 suelo natural + 1% YH.....	129
Tabla 105: Contenido de humedad y densidad seca C3 suelo natural + 2% YH.....	130
Tabla 106: Contenido de humedad y densidad seca C3 suelo natural + 3% YH.....	131
Tabla 107: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C4.....	132
Tabla 108: Contenido de humedad y densidad seca C4 suelo natural.....	132
Tabla 109: Contenido de humedad y densidad seca C4 suelo natural + 1% YH.....	133
Tabla 110: Contenido de humedad y densidad seca C4 suelo natural + 2% YH.....	134
Tabla 111: Contenido de humedad y densidad seca C4 suelo natural +3% YH.....	135
Tabla 112: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C5.....	136
Tabla 113: Contenido de humedad y densidad seca C5 suelo natural.....	136



<i>Tabla 114: Contenido de humedad y densidad seca C5 suelo natural + 1% YH</i>	137
<i>Tabla 115: Contenido de humedad y densidad seca C5 suelo natural + 2% YH</i>	138
<i>Tabla 116: Contenido de humedad y densidad seca C5 suelo natural + 3% YH</i>	139
<i>Tabla 117: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C6</i>	140
<i>Tabla 118: Contenido de humedad y densidad seca C6 suelo natural</i>	140
<i>Tabla 119: Contenido de humedad y densidad seca C6 suelo natural + 1% YH</i>	141
<i>Tabla 120: Contenido de humedad y densidad seca C6 suelo natural + 2% YH</i>	142
<i>Tabla 121: Contenido de humedad y densidad seca C6 suelo natural + 3% YH</i>	143
<i>Tabla 122: Ensayo CBR C1 Suelo Natural – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos..</i>	146
<i>Tabla 123: Ensayo CBR C1 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	149
<i>Tabla 124: Ensayo CBR C1 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	154
<i>Tabla 125: Ensayo CBR C1 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	158
<i>Tabla 126: Ensayo CBR C2 Suelo Natural– ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos ..</i>	162
<i>Tabla 127: Ensayo CBR C2 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	166
<i>Tabla 128: Ensayo CBR C2 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	169
<i>Tabla 129: Ensayo CBR C2 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	173
<i>Tabla 130: Ensayo CBR C3 Suelo Natural– ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos ..</i>	177
<i>Tabla 131: Ensayo CBR C3 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	182
<i>Tabla 132: Ensayo CBR C3 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	186
<i>Tabla 133: Ensayo CBR C3 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	190
<i>Tabla 134: Ensayo CBR C4 Suelo Natural – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos..</i>	194
<i>Tabla 135: Ensayo CBR C4 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	198
<i>Tabla 136: Ensayo CBR C4 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	201
<i>Tabla 137: Ensayo CBR C4 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	204
<i>Tabla 138: Ensayo CBR C5 Suelo Natural – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos ..</i>	209



<i>Tabla 139: Ensayo CBR C5 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	214
<i>Tabla 140: Ensayo CBR C5 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	218
<i>Tabla 141: Ensayo CBR C5 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	222
<i>Tabla 142: Ensayo CBR C6 Suelo Natural - ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos ..</i>	226
<i>Tabla 143: Ensayo CBR C6 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	230
<i>Tabla 144: Ensayo CBR C6 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	234
<i>Tabla 145 Ensayo CBR C3 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos</i>	237
<i>Tabla 146: Medición de la profundidad de la oquedad</i>	241
<i>Tabla 147: Resumen de los contenidos de humedad</i>	242
<i>Tabla 148: Cuadro resumen de granulometría C1</i>	243
<i>Tabla 149: Cuadro resumen de granulometría C2</i>	244
<i>Tabla 150: Cuadro resumen de granulometría C3</i>	245
<i>Tabla 151: Cuadro resumen de granulometría C4</i>	246
<i>Tabla 152: Cuadro resumen granulometría de C5</i>	247
<i>Tabla 153: Cuadro resumen granulometría C6</i>	248
<i>Tabla 154: Cuadro resumen de Límite Líquido</i>	249
<i>Tabla 155: Cuadro resumen de Límite Plástico</i>	250
<i>Tabla 156: Cuadro resumen de Índice de Plasticidad</i>	251
<i>Tabla 157: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C1</i>	252
<i>Tabla 158: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C2</i>	252
<i>Tabla 159: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C3</i>	252
<i>Tabla 160: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C4</i>	252
<i>Tabla 161: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C5</i>	253
<i>Tabla 162: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C6</i>	253
<i>Tabla 163: Cuadro resumen de Densidades Secas Máximas</i>	254
<i>Tabla 164: Resumen de Contenidos de Humedad Óptimos</i>	255
<i>Tabla 165: Resumen ensayo CBR C1</i>	256
<i>Tabla 166: Resumen ensayo CBR C2</i>	256
<i>Tabla 167: Resumen ensayo CBR C3</i>	257
<i>Tabla 168: Resumen ensayo CBR C4</i>	257
<i>Tabla 169: Resumen ensayo CBR C5</i>	258
<i>Tabla 170: Resumen ensayo CBR C6</i>	258



<i>Tabla 171: Resumen de expansión C1</i>	259
<i>Tabla 172: Resumen de expansión C2</i>	260
<i>Tabla 173: Resumen de expansión C3</i>	260
<i>Tabla 174: Resumen de expansión C4</i>	261
<i>Tabla 175: Resumen de expansión C5</i>	262
<i>Tabla 176: Resumen de expansión C6</i>	262
<i>Tabla 177: Tabla resumen del Ensayo de Resistencia a la Erosión</i>	263



Índice de Figuras

<i>Ilustración 1: Registro fotográfico de la situación actual del área de influencia de la investigación.</i>	4
<i>Ilustración 2: Mapa de ubicación departamental y ubicación provincial del área de influencia de la investigación (coordenadas UTM)</i>	6
<i>Ilustración 3: Mapa de ubicación distrital del área de influencia de la investigación (coordenadas UTM)</i>	6
<i>Ilustración 4: Mapa de ubicación local de la carretera de donde se realizará la extracción de muestra para la investigación:</i>	7
<i>Ilustración 5: Curva Granulométrica Fuente: Universidad Nacional de Colombia</i>	17
<i>Ilustración 6: Carta de plasticidad</i>	20
<i>Ilustración 7: Imagen de composición de un suelo</i>	27
<i>Ilustración 8: Vía de Bajo Volumen de Transito</i>	32
<i>Ilustración 9: Tramo Carretera Tica Tica-Chincheró</i>	49
<i>Ilustración 10: Reconocimiento de campo en la carretera Tica Tica - Chichero</i>	49
<i>Ilustración 11: Levantamiento Topográfico</i>	50
<i>Ilustración 12: Trazado, excavación de calicata y extracción de muestra</i>	50
<i>Ilustración 13: Cerrado hermético de las muestras</i>	50
<i>Ilustración 14: Extracción de Yeso</i>	51
<i>Ilustración 15: Tallado de Yeso</i>	52
<i>Ilustración 16: Horneado de Yeso</i>	52
<i>Ilustración 17: Molienda de Yeso en la Maquina de los Ángeles</i>	53
<i>Ilustración 18: Materiales necesarios para la elaboración del ensayo.</i>	53
<i>Ilustración 19: Tamizado de material para descartar piedras.</i>	54
<i>Ilustración 20: Pesado de tara más muestra húmeda</i>	54
<i>Ilustración 21: Muestras listas en taras para colocación enhorno.</i>	54
<i>Ilustración 22: Cuarteo</i>	55
<i>Ilustración 23: Muestra seca (3000 gr) antes del lavado</i>	56
<i>Ilustración 24: Lavado de material por la malla N°200</i>	56
<i>Ilustración 25: Colocado del material a los tamices y posteriormente tamizado por la maquina</i>	56
<i>Ilustración 26: Pesado de los pesos retenidos en cada tamiz.</i>	57
<i>Ilustración 27: Diferentes tamaños de partículas que conforman la muestra.</i>	57
<i>Ilustración 28: Pesado de muestra y Yeso Hidráulico</i>	58
<i>Ilustración 29: Materiales para la ejecución del ensayo de límite líquido</i>	59
<i>Ilustración 30: Ensayo de límite líquido</i>	59
<i>Ilustración 31: Ejecución del ensayo de límite plástico</i>	60
<i>Ilustración 32: Taras con muestra de LP y LL listas para colocarse dentro del horno de secado</i>	60
<i>Ilustración 33: Materiales necesarios para realizar el ensayo Proctor Modificado</i>	61
<i>Ilustración 34: Medición de las dimensiones del molde de 4"</i>	62
<i>Ilustración 35: Material repartido en 5 bandejas</i>	62



<i>Ilustración 36: Material adicionando Yeso Hidráulico</i>	63
<i>Ilustración 37: Adición de Agua a las muestras</i>	63
<i>Ilustración 38: Distribución de 5 capas iguales, y colocación al molde.</i>	64
<i>Ilustración 39: Compactación de material.</i>	64
<i>Ilustración 40: Enrasado de muestra en molde y pesaje.</i>	64
<i>Ilustración 41: Extracción de muestra</i>	65
<i>Ilustración 42: Extracción de pequeñas muestras para las taras.</i>	65
<i>Ilustración 43: Colocación de material al molde de 6"</i>	67
<i>Ilustración 44: Compactación dentro del molde de 6"</i>	67
<i>Ilustración 45: Enrasado de material y colocación de nuevo papel filtro</i>	67
<i>Ilustración 46: Colocación de trípode</i>	68
<i>Ilustración 47: Sumergido del molde con material, pesas y placa con vástago</i>	68
<i>Ilustración 48: Colocación del molde con material al CBR Tester</i>	69
<i>Ilustración 49: Grabación de datos</i>	69
<i>Ilustración 50: Extracción de muestra a taras</i>	69
<i>Ilustración 51: Elaboración de bloques de tierra comprimida</i>	70
<i>Ilustración 52: Instalación del equipo de SAET y colocación de bloques</i>	71
<i>Ilustración 53: Medición de oquedad de los bloques</i>	71
<i>Ilustración 54: Contenido de humedad</i>	72
<i>Ilustración 55: Curva granulométrica de la calicata C1</i>	74
<i>Ilustración 56: Curva granulométrica C2</i>	75
<i>Ilustración 57: Curva granulométrica de la calicata C3</i>	76
<i>Ilustración 58: Curva granulométrica C4</i>	77
<i>Ilustración 59: Curva granulométrica C5</i>	78
<i>Ilustración 60: Curva Granulométrica C6</i>	79
<i>Ilustración 61: Gráfico límite líquido C1 Suelo Natural</i>	81
<i>Ilustración 62: Gráfico límite líquido C1 adicionado con Yeso Hidráulico 1%</i>	81
<i>Ilustración 63: Gráfico límite líquido C1 adicionado con Yeso Hidráulico 2%</i>	82
<i>Ilustración 64: Gráfico límite líquido C1 adicionado con Yeso Hidráulico 2%</i>	83
<i>Ilustración 65: Gráfico límite líquido C2 Suelo Natural</i>	83
<i>Ilustración 66: Gráfico límite líquido C2 adicionado con Yeso Hidráulico 1%</i>	84
<i>Ilustración 67: Gráfico límite líquido C2 adicionado con Yeso Hidráulico 2%</i>	85
<i>Ilustración 68: Gráfico límite líquido C2 adicionado con Yeso Hidráulico 3%</i>	85
<i>Ilustración 69: Gráfico límite líquido C3 Suelo Natural</i>	86
<i>Ilustración 70: Gráfico límite líquido C3 adicionado con Yeso Hidráulico 1%</i>	87
<i>Ilustración 71: Gráfico límite líquido C3 adicionado con Yeso Hidráulico 2%</i>	87
<i>Ilustración 72: Gráfico límite líquido C3 adicionado con Yeso Hidráulico 3%</i>	88
<i>Ilustración 73: Gráfico límite líquido C4 adicionado Suelo Natural</i>	89



<i>Ilustración 74: Gráfico límite líquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 1%</i>	89
<i>Ilustración 75: Gráfico límite líquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 2%</i>	90
<i>Ilustración 76: Gráfico límite líquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 3%</i>	91
<i>Ilustración 77: Gráfico límite líquido C5 Suelo Natural</i>	91
<i>Ilustración 78: Gráfico límite líquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 1%</i>	92
<i>Ilustración 79: Gráfico límite líquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 2%</i>	93
<i>Ilustración 80: Gráfico límite líquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 3%</i>	93
<i>Ilustración 81: Gráfico límite líquido C6 Suelo Natural</i>	94
<i>Ilustración 82: Gráfico límite líquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 1%</i>	95
<i>Ilustración 83: Gráfico límite líquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 2%</i>	95
<i>Ilustración 84: Gráfico límite líquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 3%</i>	96
<i>Ilustración 85: Carta de Plasticidad de Casagrande para suelos finos</i>	105
<i>Ilustración 86: Carta de Casagrande para C1</i>	107
<i>Ilustración 87: Carta de Casagrande para C2</i>	109
<i>Ilustración 88: Carta de Casagrande para C3</i>	111
<i>Ilustración 89: Carta de Casagrande para C4</i>	113
<i>Ilustración 90: Carta de Casagrande para C5</i>	115
<i>Ilustración 91: Carta de Casagrande para C6</i>	117
<i>Ilustración 92: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C1 suelo natural</i>	120
<i>Ilustración 93: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C1 suelo natural + 1 % YH</i>	121
<i>Ilustración 94: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C1 suelo natural + 2 % YH</i>	122
<i>Ilustración 95: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C1 suelo natural + 3 % YH</i>	123
<i>Ilustración 96: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C2 suelo natural</i>	124
<i>Ilustración 97: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C2 suelo natural + 1 % YH</i>	125
<i>Ilustración 98: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C2 suelo natural + 2 % YH</i>	126
<i>Ilustración 99: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C2 suelo natural + 3 % YH</i>	127
<i>Ilustración 100: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C3 suelo natural</i>	128
<i>Ilustración 101: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C3 suelo natural + 1% YH</i>	129
<i>Ilustración 102: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C3 suelo natural + 2% YH</i>	130
<i>Ilustración 103: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C3 suelo natural + 3% YH</i>	131
<i>Ilustración 104: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C4 suelo natural</i>	132
<i>Ilustración 105: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C4 suelo natural + 1% YH</i>	133
<i>Ilustración 106: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C4 suelo natural + 2% YH</i>	134
<i>Ilustración 107: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C4 suelo natural + 3% YH</i>	135
<i>Ilustración 108: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C5 suelo natural</i>	136
<i>Ilustración 109: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C5 suelo natural + 1% YH</i>	137
<i>Ilustración 110: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C5 suelo natural + 2% YH</i>	138
<i>Ilustración 111: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C5 suelo natural + 3% YH</i>	139



<i>Ilustración 112: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C6 suelo natural</i>	140
<i>Ilustración 113: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C6 suelo natural + 1% YH</i>	141
<i>Ilustración 114: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C6 suelo natural + 2% YH</i>	142
<i>Ilustración 115: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C6 suelo natural + 3% YH</i>	143
<i>Ilustración 116: Características de la muestra patrón</i>	144
<i>Ilustración 117: Contenido de Humedad Natural</i>	242
<i>Ilustración 118: Curva granulométrica C1</i>	243
<i>Ilustración 119: Curva granulométrica C2</i>	244
<i>Ilustración 120: Curva granulométrica C3</i>	245
<i>Ilustración 121: Curva granulométrica C4</i>	246
<i>Ilustración 122: Curva granulométrica C5</i>	247
<i>Ilustración 123: Curva granulométrica C6</i>	248
<i>Ilustración 124: Límite Líquido vs. Tipo de suelo</i>	249
<i>Ilustración 125: Límite Plástico vs. Tipo de suelo</i>	250
<i>Ilustración 126: Índice de Plasticidad vs. Tipo de suelo</i>	251
<i>Ilustración 127: Densidad seca máxima Vs. Tipo de Suelo</i>	254
<i>Ilustración 128: Contenido de Humedad Optimo Vs. Tipo de Suelo</i>	255
<i>Ilustración 129: CBR al 100% C1</i>	256
<i>Ilustración 130: CBR al 100% C2</i>	257
<i>Ilustración 131: CBR al 100% C3</i>	257
<i>Ilustración 132: CBR al 100% C4</i>	258
<i>Ilustración 133: CBR al 100% C5</i>	258
<i>Ilustración 134: CBR al 100% C6</i>	259
<i>Ilustración 135: Comparación de expansión C1</i>	259
<i>Ilustración 136: Comparación de expansión C2</i>	260
<i>Ilustración 137: Comparación de expansión C3</i>	261
<i>Ilustración 138: Comparación de expansión C4</i>	261
<i>Ilustración 139: Comparación de expansión C5</i>	262
<i>Ilustración 140: Comparación de expansión C6</i>	263
<i>Ilustración 141: Grafico de resultados del ensayo de Resistencia a la Erosión</i>	264
<i>Ilustración 142: Grafico índice de plasticidad vs. Tipo de suelo</i>	269
<i>Ilustración 143: Densidad Seca Máxima</i>	270
<i>Ilustración 144: Comparación del Contenido de Humedad Optima</i>	271
<i>Ilustración 145: Resultados de la Resistencia a la Erosión</i>	272
<i>Ilustración 146: Croquis de la ubicación de cada Calicata respecto a la carretera Tica Tica - Chinchero</i>	277
<i>Ilustración 147: Extracción de las Rocas de Yeso</i>	347
<i>Ilustración 148: Reconocimiento de campo</i>	348
<i>Ilustración 149: Levantamiento Topográfico</i>	349



<i>Ilustración 150: Extracción de Muestras</i>	350
<i>Ilustración 151: Tallado y horneado de Yeso</i>	351
<i>Ilustración 152: Ensayo de Contenido de Humedad</i>	352
<i>Ilustración 153: Ensayo de Granulometría</i>	353
<i>Ilustración 154: Ensayo de Límites de Atterberg</i>	354
<i>Ilustración 155: Ensayo de Proctor Modificado</i>	355
<i>Ilustración 156: Ensayo de CBR</i>	356
<i>Ilustración 157: Ensayo de Resistencia a la Erosión</i>	358



Resumen

Esta investigación se denomina: “Evaluación de las propiedades físico - mecánicas de suelos inestables incorporando yeso hidráulico (YH) en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021”, tuvo como objetivo la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de un suelo inestable que sería utilizado como subrasante en la Carretera Tica Tica-Chinchero, dicha mejora se produce añadiendo Yeso Hidráulico directamente, buscando así cumplir con los parámetros establecidos de una subrasante apta para una vía de bajo volumen de tránsito, se realizó ensayos granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, Proctor Modificado (Densidad Seca Máxima y Contenido de Humedad Optimo) , capacidad de soporte CBR y resistencia a la erosión. Este aditivo fue añadido en porcentajes mínimos de 1%, 2% y 3% en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco, los cuales nos muestran en sus resultados el cumplimiento parcial de nuestras hipótesis bajo las condiciones del reglamento de Manual de Ensayo de Materiales (2016); el yeso hidráulico como aditivo estabilizador de suelos posee una elaboración compleja, debido a que se produce en hornos con la capacidad de sostener una temperatura promedio de 900 C°.

Se propuso un análisis en las propiedades físico-mecánicas antes mencionadas del suelo natural, suelo natural + 1% de yeso hidráulico, suelo natural + 2% de yeso hidráulico y suelo natural + 3% de yeso hidráulico, se realizó un total de 132 ensayos de laboratorio de 6 diferentes calicatas muestreadas, los resultados nos mostraron un cambio en las propiedades físicas y mecánicas a medida que se aumentó el porcentaje de Yeso Hidráulico añadido a cada muestra, teniendo como mejor resultado en dos puntos de investigación (calicata C1 y C5) con la mezcla del suelo natural + 3% de YH y suelo natural + 2% de YH respectivamente, con relación al ensayo de capacidad de soporte CBR se obtuvo una mejora de 5% y 9%, el suelo de esta carretera esta incluida en una categoría de subrasante buena (S3) según el Manual de Carreteras (2016).

Palabras Claves: propiedades físico-mecánicas, yeso hidráulico, CBR, Manual de Carreteras, suelo inestable, subrasante, aditivo estabilizador.



Abstract

This research is called: "Evaluation of the physical-mechanical properties of unstable soils incorporating hydraulic gypsum (YH) on low traffic volume roads. Tica Tica-Chinchero Highway, Cusco 2021", aims to evaluate the physical-mechanical properties of an unstable soil that would be used as subgrade on the Tica Tica-Chinchero Highway, said improvement will be produced by adding Hydraulic Plaster directly, thus seeking to comply With the established parameters of a subgrade suitable for a low traffic volume road, tests were carried out on granulometry, moisture content, Atterberg limits, Modified Proctor (Maximum Dry Density and Optimum Moisture Content), CBR support capacity and resistance. to erosion. This additive was added in minimum percentages of 1%, 2% and 3% in the Civil Engineering Laboratory of the Andean University of Cusco, which show us in their results the partial fulfillment of our hypotheses under the conditions of the Manual of Regulations. Materials Test (2016); Hydraulic gypsum as a soil stabilizing additive has a complex preparation, because it is produced in ovens with the capacity to sustain an average temperature of 900 C°.

An analysis was proposed on the aforementioned mechanical properties of the natural soil, natural soil + 1% hydraulic gypsum, natural soil + 2% hydraulic gypsum and natural soil + 3% hydraulic gypsum, a total of 132 physical tests were carried out. . laboratory of 6 different sampled pits, the results showed us a change in the physical and mechanical properties as the percentage of Hydraulic Plaster added to each sample was increased, having the best result in two research points (pits C1 and C5). with the mixture of natural soil + 3% of YH and natural soil + 2% of YH respectively, in relation to the CBR bearing capacity test, an improvement of 5% and 9% was obtained, the soil of this road is included in a good subgrade category (S3) according to the Highway Manual (2016).

Keywords: physical-mechanical properties, hydraulic gypsum, CBR, Highway Manual, unstable soil, subgrade, stabilizing additive.



Introducción

En nuestro entorno los suelos inestables se pueden encontrar con facilidad, como por ejemplo la arcilla, el limo que son materiales con presencia importante en diversos ámbitos geográficos por lo que representa un gran problema geotécnico para cualquier tipo de infraestructura, en especial en la infraestructura vial, debido a que dicho material presenta altas deformaciones en la estructura del pavimento de carreteras con bajo volumen de tránsito, ya que al no tener una carpeta de rodadura y ser solo compactadas, el intemperismo altera la humedad del suelo provocando así deformaciones.

La arcilla, limos, material orgánico e inorgánico también provocan que los suelos presenten una mediana o alta plasticidad y generen inestabilidad en las diferentes carreteras de nuestro medio, debido a su gran alcance de construcción que estos poseen, nos lleva a lidiar con una gran variedad de suelos inestables.

Actualmente, se tiene una tendencia en la búsqueda de nuevos materiales alternativos estabilizadores de suelos inestables o problemáticos, estos materiales deben encontrarse en abundancia en la naturaleza, ser eco amigables con el medio ambiente y también que su proceso de producción sea económicamente viable; es así que la presente investigación realizó una evaluación del efecto de la incorporación de yeso hidráulico (Yeso sometido a Altas temperaturas en su etapa de producción) como material estabilizante que será aplicado a un suelo inestable o problemático, dicho suelo ya estabilizado, mejoro sus propiedades físico-mecánicas mínimamente, por lo que se observó que este material aditivo (Yeso hidráulico) puede representar una nueva aplicación a gran escala en estabilización de ciertos tipos de suelos que se detalla en la presente investigación; las muestras fueron obtenidas de la carretera Tica Tica – Chincheros en los tramos Sencca Quispihuara-Allpachaca, Vías Vecinales Cu:1139, 1140, 1150, 1152, 1151, 1157, 1155, 1119, por lo tanto se brindará una alternativa de solución innovadora para el mejoramiento de la carpeta de rodadura de este tipo de vías.



Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1. Identificación del problema

Descripción del problema de investigación

El Cusco tiene una gran cantidad de suelos inestables que contienen materiales como arcillas, limos y/o arenas en su estratigrafía, formando estos, parte de sus caminos de tránsito vehicular. Por esa razón se presentan diversos problemas en su estructura como agrietamientos y asentamientos, provocando el deterioro de estos caminos a causa de la alteración de humedad por la variedad geológica de la región del Cusco, teniendo así muchos suelos que no cumplen con el porcentaje (%) de CBR (California Bearing Ratio) establecido por la Normativa que garanticen una subrasante eficiente para cualquier tipo de vía. La coyuntura actual provocó un gran movimiento en las redes viales de bajo volumen de tránsito por lo que es indispensable contar con vías debidamente funcionales para su uso.



Ilustración 1: Registro fotográfico de la situación actual del área de influencia de la investigación.

Fuente: propia

Según el Plan vial Departamental participativo del Cusco 2006 – 2015, la región del Cusco posee 4973.07 Km de Red Vial entre nacional, departamental y vecinal, de los cuales solo se encuentra afirmada 2203.17 Km, sin afirmar 962 Km y trocha carrozable 1808.53 Km; mostrándonos así extensas vías no pavimentadas, esto está directamente referenciado a la calidad de dichas redes viales, por lo que es de suma importancia el mantenimiento (estabilización de suelos) y habilitación (pavimentación) de estas vías, con el objetivo de brindar confort al usuario, apoyando así también al desarrollo de las localidades inmiscuidas. Nuestra región se encuentra dentro de una geografía variada por lo que es frecuente ubicar estos suelos inestables que provocan una gran inversión para estabilizar estos suelos y ponerlos en



condiciones óptimas estas redes viales, es así que la búsqueda de nuevos estabilizadores es más relevante, y sobre todo que sea un material abundante en nuestra región.

Actualmente el uso del yeso está dirigido a los diferentes procesos de albañilería teniendo así muy poco aprovechamiento de este material, considerando que nuestra región posee grandes yacimientos de yeso.

Este material en otras áreas de la Ingeniería Civil, como en la Geotecnia, posee muy poca información sobre su aplicación como estabilizador de suelos.

Estudios sobre este material resultan de gran valor hacia el usuario, ya que la industria de este mineral no cuenta con información ni investigación para el uso de diseños estructurales de pavimentos mejorados con este material; ya que además de ser abundante y de origen natural, también representa un aditivo más económico que otros para la estabilización de suelos.

Por dichas razones esta investigación tiene como finalidad evaluar las propiedades físico-mecánicas de los suelos críticos provenientes de la carretera Tica Tica – Chinchero, siendo estos adicionados con Yeso Hidráulico en ciertos porcentajes, para obtener una subrasante que cumpla con los Estándares establecidos en la Normativa Peruana (Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos R.D. N°10-2014-MTC/14).

1.1.1. Área de investigación

La investigación tendrá como zona de estudio la carretera Sencca Quispihuara – Allpachaca, Vías Vecinales Cu:1139, 1140, 1150, 1152, 1151, 1157, 1155, 1119, ubicado en los Distritos de Cusco, Poroy, Cachimayo y Chinchero, provincias de Cusco, Anta y Urubamba, del Departamento del Cusco, cuyas coordenadas geográficas son, desde la latitud $13^{\circ}29'50.94''$ S y la longitud $72^{\circ}0'23.66''$, hasta la latitud $13^{\circ}24'19.33''$ S y la longitud $72^{\circ}3'10.35''$ O; y en coordenada UTM son desde la coordenada 824084.9 Este y la coordenada 8505871.1 Norte, hasta la coordenada 819190.1 Este y la coordenada 8516130.9 Norte.

Dicha vía tiene una altitud promedio de 3740 m.s.n.m.; es una carretera importante ya que une Cusco con Chinchero.

Estos 15.6 Km de carretera cruzan por cuatro Distritos y es la unión de Vías Vecinales como la CU-1139, CU-1140, CU-1150, CU-1152, CU-1151, CU-1157, CU-1155, CU-1119 y el tramo Sencca Quispihuara - Allpachaca.

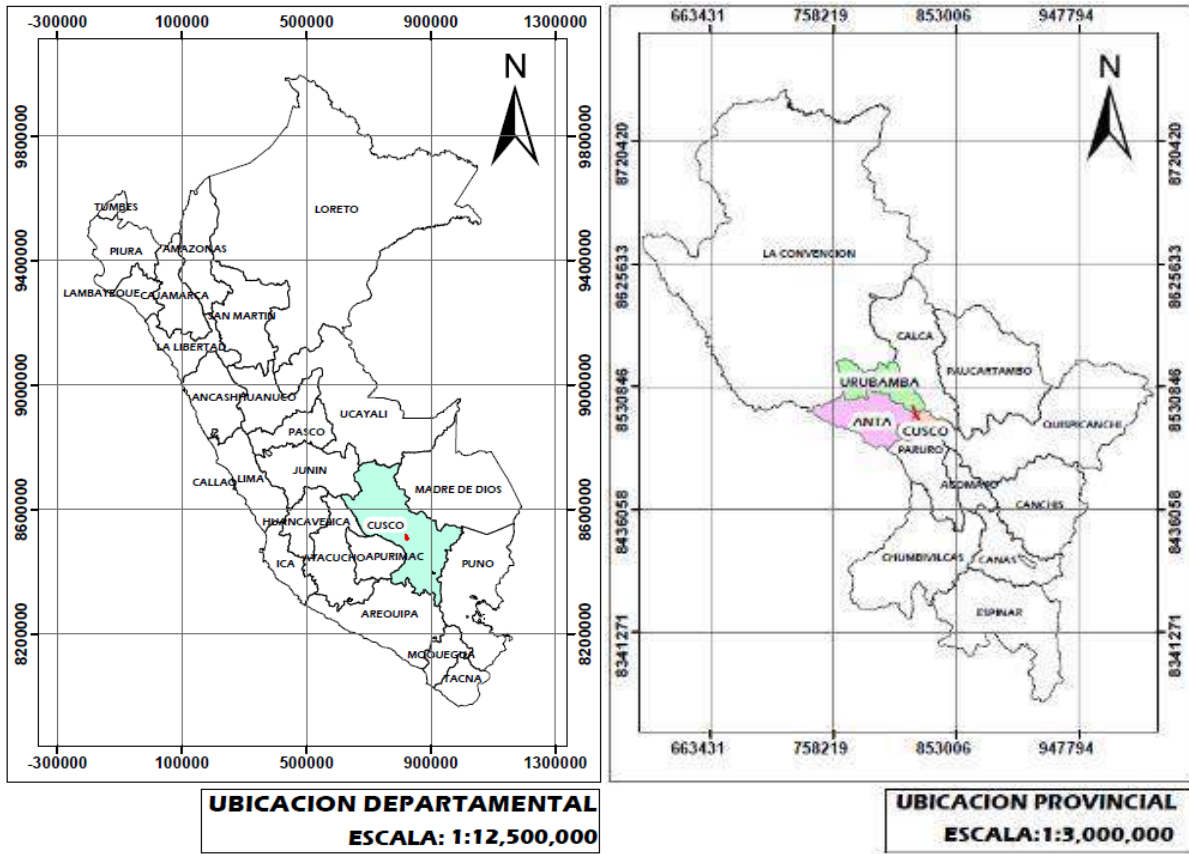


Ilustración 2: Mapa de ubicación departamental y ubicación provincial del área de influencia de la investigación (coordenadas UTM)

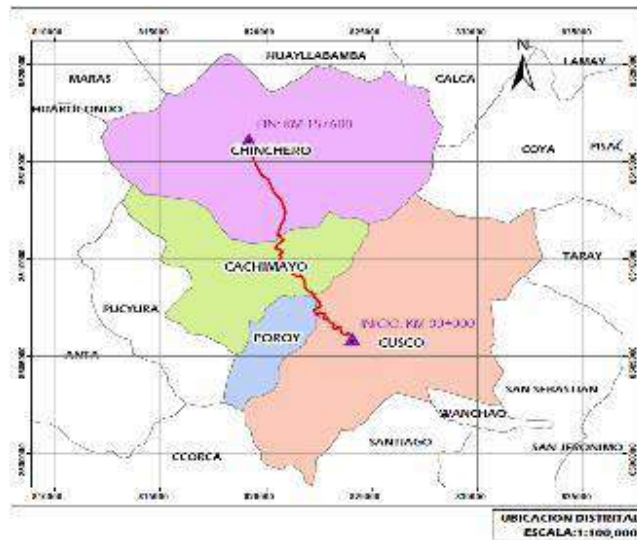


Ilustración 3: Mapa de ubicación distrital del área de influencia de la investigación (coordenadas UTM)

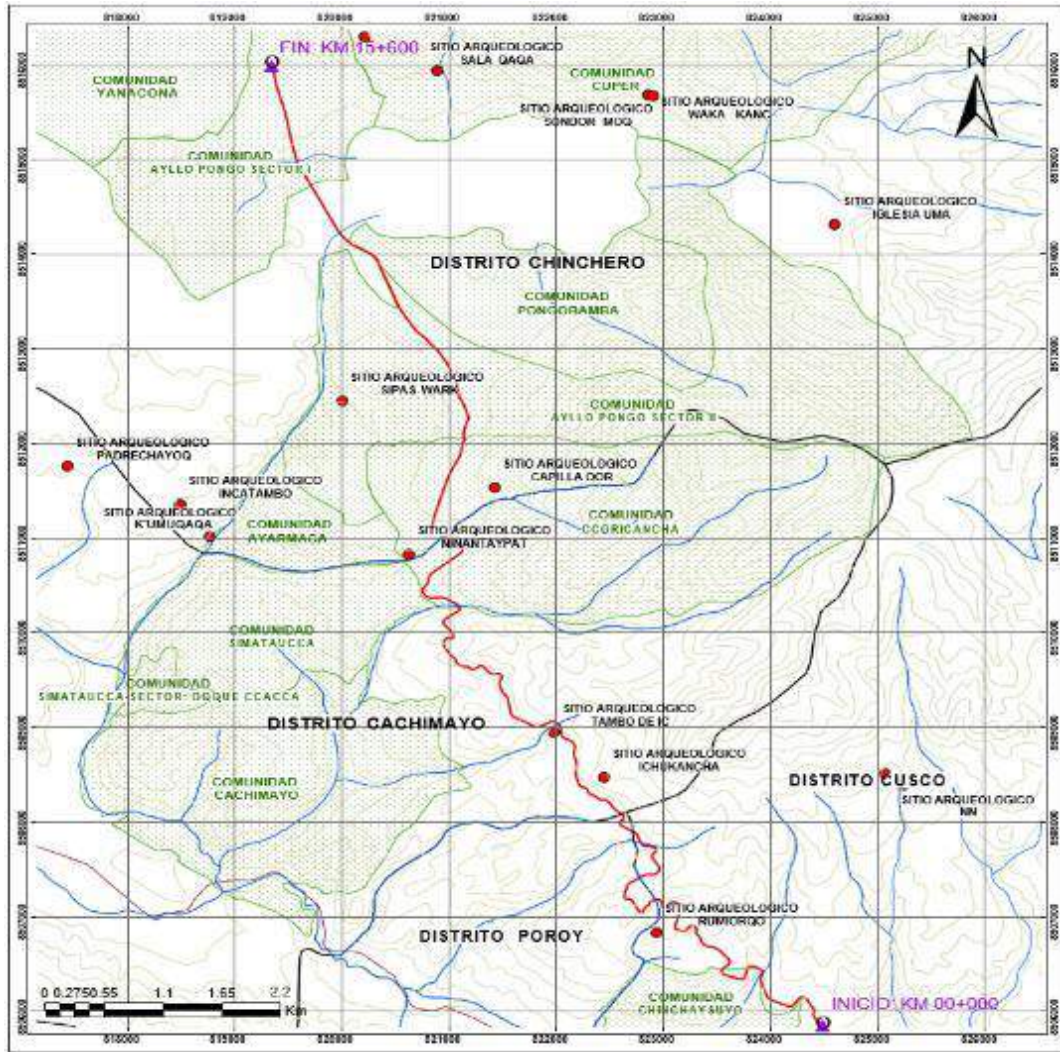


Ilustración 4: Mapa de ubicación local de la carretera de donde se realizará la extracción de muestra para la investigación:

Formulación interrogativa del problema

1.1.1.1. Formulación interrogativa del problema general

- ¿Cuál es la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables incorporados con Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021?

1.1.1.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

- P1. ¿Cuál será el Índice de Plasticidad de suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021?
- P2. ¿Cuál será la Densidad Seca Máxima de suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021?



- P3. ¿Cuál será el Contenido de Humedad Óptimo de suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021?
- P4. ¿Cuál será la Capacidad de Soporte CBR de suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021?
- P5. ¿Cuál será la Resistencia a la Erosión en suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

El siguiente trabajo de investigación en la rama de la geotecnia y pavimentos perteneciente a la ingeniería civil, tuvo como meta dar un alcance real de las propiedades físico - mecánicas de un suelo inestable usando como aditivo estabilizador el yeso hidráulico en 1%, 2% y 3%, obteniendo resultados que permita determinar la cantidad en porcentaje de dicho material aditivo que provea de mejores propiedades a un suelo inestable y que a gran escala tenga un uso viable en la estructura de un pavimento (subrasante), dentro del diseño de carreteras de bajo volumen de tránsito.

1.2.2. Justificación social

En la medida que las características del Yeso Hidráulico como material estabilizante de suelos inestables en carreteras sean difundidas, el grupo beneficiario serán proyectistas, supervisores y residentes, puesto que con el aporte de esta investigación podrán desarrollar sus futuros proyectos.

Esta investigación representa un aporte, puesto que al mejorar la capacidad de soporte de un suelo inestable brindará de mayor confort y transitabilidad a los usuarios.

1.2.3. Justificación por viabilidad

La presente investigación será viable ya que los ensayos que se llevaran a cabo cuentan con accesibilidad para ser desarrollados en laboratorios y también están debidamente normados en ASTM, AASHTO y en la Norma Técnica Peruana, y los procedimientos para dichos ensayos en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; en el aspecto financiero la siguiente investigación es viable ya que los materiales son económicamente accesibles, y algunos se encuentran en la naturaleza de nuestra localidad haciéndolos así materiales propicios para su uso a gran escala o su adquisición a bajo costo.



1.2.4. Justificación por relevancia

La investigación realizada no tiene gran cantidad de información indexada por lo que tendría un gran aporte al conocimiento de un nuevo estabilizador de suelos inestables, buscando ser una opción más en el diseño de la estructura de pavimentos de carreteras de bajo volumen de tránsito.

La investigación nos dará a conocer la mejora de las propiedades físico-mecánicas de un suelo inestable que se usará como subrasante, adicionando porcentajes de yeso hidráulico (1%, 2% y 3%)

1.3. Delimitaciones de la investigación

1.3.1. Delimitación espacial

Los resultados de los parámetros obtenidos fueron válidos solo para las zonas vulnerables en vista de la visita a obra e indicados por un especialista, pertenecientes a la carretera Tica Tica – Chinchero, ubicada en la región del Cusco. Se considera como aditivo solo el yeso proveniente de la cantera de Lucre (Huacarpay), ya que este material tiene la característica de una fragua más acelerada.

1.3.2. Delimitaciones de materiales

Las propiedades físico-mecánicas de la mezcla fueron calculadas y analizadas en laboratorio de acuerdo a lo establecido en el Manual de Ensayo de materiales del MTC.

1.3.3. Delimitaciones de ensayos

El estudio y análisis de los ensayos estuvieron solo dirigidos a las propiedades físico mecánicas del suelo con y sin aditivo de yeso hidráulico.

Los resultados de esta investigación se limitaron a los ensayos de: Límite líquido, límite plástico, Proctor modificado y CBR; obtenidos del material de muestra de la carretera Tica Tica-Chinchero.

1.3.4. Delimitaciones de diseño

La investigación estuvo limitada a la dosificación del yeso hidráulico en 1%, 2% y 3% para la mezcla con el suelo inestable, ya que se condicionará para así poder determinar el mejor valor de aplicación del yeso hidráulico a un suelo. Esta dosificación fue escogida a razón de una prueba piloto desarrollada con anterioridad, en la que se pudo obtener los porcentajes referenciados en esta investigación, la cual dio las medidas indicadas, lo cual da una muestra clara de que se puede tener una hipótesis muy positiva en cuanto al mejoramiento y estabilización de un suelo inestable con y sin aditivo de yeso hidráulico.



1.4. Objetivos de la investigación

Objetivo general

- Evaluar las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021.

Objetivos específicos

- O1. Determinar el Índice de Plasticidad de suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021.
- O2. Determinar la Densidad Seca Máxima de suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021.
- O3. Determinar el Contenido de Humedad Óptimo de suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021.
- O4. Determinar el Capacidad de Soporte CBR de suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021.
- O5. Determinar la Resistencia a la Erosión en suelos inestables incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021.



Capítulo II: Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedente a nivel nacional

Título: "Capacidad portante de suelo cohesivo estabilizado con cal y sulfato de calcio en 10%, 15% y 25%"

Autor: Renzo José Guerrero Malpica

Año: 2019

Institución: Universidad Privada del Norte

Lugar: Cajamarca- Perú

Resumen

El objetivo principal de esta tesis fue determinar la capacidad portante de suelo cohesivo estabilizado en 10%, 15% y 25% de Cal y Sulfato de Calcio por reemplazo. Analizando los suelos de 3 canteras: Shultín, El Guitarrero y Shudal, se obtuvo mediante ensayos de laboratorio la clasificación por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos "SUCS": CL (Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media), ML (Limos inorgánicos) y MH (Limos inorgánicos o arcillas de plasticidad alta) respectivamente; se determinó que el suelo más cohesivo fue el último. Se procedió a realizar los ensayos sin agente estabilizador; y luego con la adición de Sulfato de Calcio y Cal en proporciones de 10%, 15% y 25%.

Para el ensayo Proctor Modificado, se obtuvo una densidad máxima seca de 1.654gr/cm³ en la muestra patrón, 1.577gr/cm³, 1.545gr/cm³ y 1.527gr/cm³ para 10%, 15% y 25% de Sulfato de Calcio; y 1.559gr/cm³, 1.560gr/cm³ y 1.561gr/cm³ para 10%, 15% y 25% de Cal respectivamente.

Para el ensayo CBR, se obtuvo un valor de 2.70 en la muestra patrón, 7.00, 4.10 y 4.00; con 10%, 15% y 25% de sulfato de calcio, aumentando en 159%, 52% y 58% respectivamente; y 11.20, 10.80 y 10.60 para 10%, 15% y 25% de cal, aumentando en 315%, 300% y 293% respectivamente; se confirma la hipótesis planteada al incrementar el valor CBR en más de 5% con la adición de ambos estabilizadores.

Conclusiones

Conclusión 01. Se comprobó que la hipótesis planteada fue demostrada, ya que con la adición de sulfato de calcio aumenta más del 5% en su capacidad portante (CBR), y con la adición de cal también supera el 5% de aumento en su capacidad portante CBR.

Conclusión 02. Se logró definir que la influencia de la adición de sulfato de calcio en 10%, 15% y 25% en el índice California Bearing ratio (CBR) para un suelo cohesivo aumenta su



capacidad portante, habiendo obtenido los siguientes resultados para un CBR al 0.1'': con la muestra patrón un CBR de 3.40; adicionando 10% de sulfato de calcio un CBR de 7.90; adicionando 15% de sulfato de calcio un CBR de 4.10; adicionando 25% de sulfato de calcio un CBR de 4.00; para un CBR al 0.2'', con la muestra patrón un CBR de 2.70; adicionando 10% de sulfato de calcio un CBR de 7.00; adicionando 15% de sulfato de calcio un CBR de 4.65; adicionando 25% de sulfato de calcio un CBR de 4.50.

Conclusión 03. Se logró evaluar que la influencia de la adición de cal en 10%, 15% y 25% en el índice California Bearing ratio (CBR) para un suelo cohesivo aumenta su capacidad portante, habiendo obtenido los siguientes resultados para un CBR al 0.1'': con la muestra patrón un CBR de 3.40; adicionando 10% de cal un CBR de 14.00; adicionando 15% del cal un CBR de 16.20; adicionando 25% de cal un CBR de 15.80; para un CBR al 0.2'', con la muestra patrón un CBR de 2.70; adicionando 10% de cal un CBR de 11.20; adicionando 15% de cal un CBR de 10.80; adicionando 25% de cal un CBR de 10.60.

Conclusión 04. Se identificó que el agente estabilizador con el que se obtuvo mejores resultados fue la cal con un aumento para un CBR 0.1'' de 12.80 y para un CBR 0.2'' de 8.50, mientras que para el sulfato de calcio se obtuvo un CBR 0.1'' de 4.50 y para un CBR 0.2'' de 4.30.

Conclusión 05. Se determinó que, siendo el costo similar de los agentes, hay mayor rentabilidad adicionando cal, puesto que se incrementó en un 315% su valor inicial a diferencia del sulfato de calcio que solo incrementó en un 159%.

Antecedente local

Título:'' Influencia de la Variación de Temperatura de Cocción en las Propiedades Físicas y Mecánicas del Yeso Proveniente de la Cantera Orlando 2007 de Acuerdo a la Norma UNE-EN 13279-2''

Autor: Lucia Boza Quispe y Peter Valerio Loayza Velasque

Año: 2017

Institución: Universidad Andina del Cusco

Lugar: Cusco- Perú

Resumen:

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito determinar la influencia de la variación de la temperatura de cocción del yeso (130°C, 200°C, 500°C, 900°C y 1100°C) en sus propiedades físicas y mecánicas tomando como referencia la norma UNE. EN 13279-2 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos



de ensayo. Haciendo uso de la materia prima obtenida de la Cantera Orlando 2007. Para realizar la investigación primero se fabricó el yeso a diferentes temperaturas de calcinación, luego se determinó la relación agua/yeso conveniente que facilitó la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas en los diferentes tipos de yeso. Se realizaron 36 unidades prismáticas utilizadas en el ensayo de resistencia a flexión, y los 2 trozos de cada unidad se reutilizaron en el ensayo de resistencia a compresión. De igual forma se fabricaron 36 unidades para el ensayo de Succión y finalmente se utilizó 7 kg de yeso pasante por la malla N° 50 para el ensayo de tiempo de fraguado. Al término de la investigación se llegó a la conclusión de que las propiedades físicas y mecánicas del yeso se ven afectadas significativamente por la variación de temperatura de cocción.

Conclusiones:

Conclusión N° 01

Se ha demostrado la hipótesis general “La temperatura de cocción influirá significativamente en las propiedades físicas y mecánicas del yeso proveniente de la cantera ORLANDO 2007” ya que como se puede apreciar en el CAPÍTULO IV: RESULTADOS en todos los ensayos realizados los resultados varían significativamente.

Conclusión N° 02

La sub hipótesis N° 1 “A mayor temperatura de cocción, mayor será la resistencia a la compresión axial simple” fue demostrada parcialmente debido a que según los datos mostrados la resistencia a compresión del yeso fabricado a una temperatura de cocción de 200°C es mayor al producido a 130°C, y el producido a 900°C es mayor al de 200°C y al de 500°C; sin embargo, este último es menor al de 200°C.

Conclusión N° 03

La sub hipótesis N° 2 “A mayor temperatura de cocción, mayor será la resistencia a flexión” fue demostrada parcialmente debido a que según los datos mostrados, la resistencia a flexión del yeso fabricado a una temperatura de cocción de 200°C es mayor al producido a 130°C, y el producido a 900°C es mayor al de 500°C; sin embargo, éstos dos últimos son menores al de 200°C.

Conclusión N° 04

La sub hipótesis N° 3 “A mayor temperatura de cocción, mayor será el tiempo de fraguado” fue demostrada parcialmente debido a que según los datos mostrados, el tiempo de fraguado del yeso fabricado a una temperatura de cocción de 200°C es mayor al producido a 130°C, y el producido a 1100°C es mayor al de 900°C, y el de 900°C es mayor al de 500°C; sin embargo este último es menor al de 200°C.



Conclusión N° 05

La sub hipótesis N° 4 “A mayor temperatura de cocción, mayor será el periodo inicial de absorción (Succión)” no fue demostrada debido a que según los datos mostrados el porcentaje inicial de absorción fue menor a medida que se aumentaba la temperatura de cocción del yeso.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional

Título: “Análisis del yeso empleado en revestimientos exteriores mediante técnicas geológicas”

Autor: David Sanz Arauz

Institución: Universidad Politécnica de Madrid

Año: 2009

Resumen

El presente trabajo se centra en la fabricación del yeso en hornos tradicionales y empleado históricamente para emplearlo en revestimientos exteriores. Para ello se realiza un estudio documental y un trabajo experimental mediante técnicas geológicas.

Conclusión 01. El yeso de Albarracín está compuesto por anhidrita e impurezas activas e inertes (sílice cristalina y amorfa; arcillas y fases hidráulicas) estas producidas por la naturaleza del sistema de fabricación artesanal, en un horno con intervalos de temperatura entre 200 y 1000°C con alimentación continua de combustible durante 36 horas.

Conclusión 02. La anhidrita conjuntamente con las fases hidráulicas fragua en etapas sucesivas, mejorando con el tiempo y en presencia de humedad las propiedades físicas y mecánicas del producto final.

Conclusión 03. El sistema de hidratación es de una gran complejidad y tiene una cinética muy lenta, en presencia de impurezas.

Conclusión 04. Los iones que están presentes en el yeso y en las impurezas que le acompañan, especialmente estroncio y hierro, tienen influencia en el color del producto final y en los procesos de deshidratación e hidratación.

Conclusión 05. El buen comportamiento del yeso de fabricación artesanal al exterior se debe a la naturaleza de sus fases minerales y al sistema de hidratación de éstas

Conclusión 06. El contenido de cal producido en la descomposición térmica del yeso en revestimiento al exterior evoluciona carbonatándose. Por lo que el contenido en cal o calcita de los yesos tradicionales puede provenir de una fuente interna al sistema y no en todos los casos de un aditivo añadido al producto.



Conclusión 07. A nivel metodológico se confirma la utilidad y adecuación del ensayo físico de hidraulicidad y se demuestra la idoneidad de las técnicas geológicas para la caracterización de materiales históricos inorgánicos.

Título: El Yeso. Artículo “Calcium Sulfate” de la Ullman’s Encyclopedia of Industrial Chemistry

Autor: Franz Wirsching

Institución: Gebrü (Wirsching 1996)der Knauf Westdeutsche Gipswerke “Fábrica de yeso de Alemania Occidental de Gebrüder Knauf”

Año: 1996

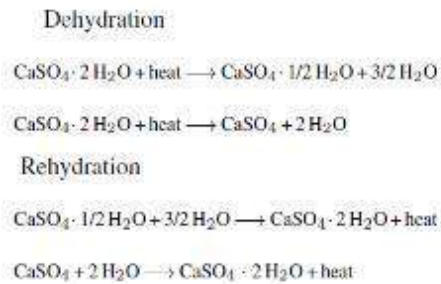
El sulfato de calcio di hidratado (Yeso) se encuentra en grandes cantidades en el mundo, naturalmente en forma rocosa, su proceso de producción se da a altas temperaturas ya que al momento de perder moléculas de agua cambia su densidad, y molido se convierte en un material conglomerante al contacto con el agua. El yeso y la anhidrita no tienen una característica toxica, este último es el yeso deshidratado a altas temperaturas ($>700\text{ }^{\circ}\text{C}$) y solo llega a retener media molécula de agua en su composición, este material a lo largo de los años fue ganando posición como insumo para el estuco, y se ha desarrollado más en los acabados arquitectónicos. El sulfato de calcio es utilizado como estabilizador para suelos que contienen alto nivel de sales de sodio como puede ser en terrenos costeros; esta investigación determina que la variación térmica en el material está directamente proporcionado a su resistencia al fraguar.



2.2. Bases teóricas

Análisis químico del yeso

El dihidrato de sulfato de calcio (yeso) se utiliza como estabilizador del suelo y para desplazar el sodio en suelos con un contenido demasiado alto de sales de sodio, por ejemplo, los suelos inundados por agua de mar.



Fuente: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sulfate Calcium

Los yesos sobre quemados son producidos en procesos de calcinación a temperaturas entre 300 y 900 °C.

1. AII-s, anhidrita lentamente soluble, <500° C
2. AII-u, anhidrita insoluble, 500 – 700° C
3. AII-E, Estrichgips (Yeso de solera), >700° C

La diferencia entre estos productos está en la rehidratación con agua, para la AII-s es rápida, para la AII-u es lenta y la para la AII-E es intermedia.

La AII-E consiste en una mezcla sólida de óxido de calcio y AII, esto a causa de que el yeso crudo se calienta a más de 700°C.

Existen rangos de estabilidad termodinámica para las fases de sulfato de calcio, por debajo de 40 °C. Es decir, en condiciones atmosféricas normales, el Sulfato de Calcio Di hidratado es estable, todas las demás fases se obtienen a temperaturas más altas por deshidratación en el siguiente orden: Di hidrato – Hemihidrato - Anhidrita III – Anhidrita II.

Bajo condiciones atmosféricas normales la Anhidrita III y el Hemihidrato son meta estables y en presencia de agua o vapor de agua por debajo de 40°C se convierte en Di hidrato

La Anhidrita II está formada en temperaturas en 200 y 1000°C, sobre los 1180°C se forma la Anhidrita I y por debajo de los 1180°C vuelve la Anhidrita II.

Debido a esta deshidratación del Sulfato de Calcio, se puede deducir que la pérdida de moléculas de agua en sus diferentes procesos de calcinación, reducen la capacidad de absorción hidráulica, que en esta investigación, al ser homogenizada con un suelo inestable se produce un contacto entre las moléculas de agua de cada material. (Wirsching 1996)



Ensayos físico mecánicos fundamentales de suelos:

- **Granulometría**

“Cualquier procedimiento humano o mecánico que separe el material (suelo) en partículas de distintos tamaños con el fin de calcular la cantidad de cada tamaño al peso total, se denomina granulometría. Para llevar a cabo esta separación por tamaños se utilizan mallas con diversas aberturas, cada una de las cuales mantiene la máxima cantidad de material (suelo) acorde con su tamaño.”(Bowles 1981)

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
1 1/2"	38,100
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 8	2,360
Nº 16	1,100
Nº 30	0,590
Nº 50	0,297
Nº 100	0,149
Nº 200	0,075

Tabla 1: Serie de Tamices a utilizar

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales

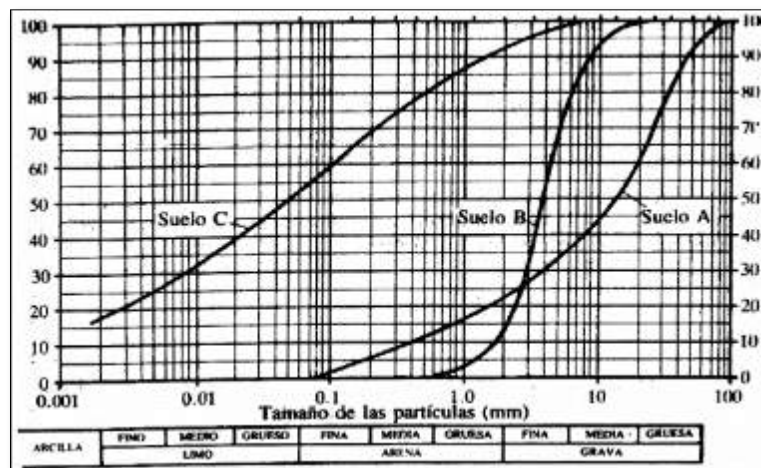


Ilustración 5: Curva Granulométrica

Fuente: Universidad Nacional de Colombia

- **Contenido de humedad**

“La prueba de contenido de humedad incluye el cálculo de la cantidad total de agua presente en el suelo en su estado sin procesar.”. (Bowles 1981)

- **Límites de consistencia**

- **Plasticidad**

“El criterio de Atterberg es el principal parámetro utilizado para evaluar la plasticidad de las arcillas. Según este criterio, la cantidad de agua en las arcillas afecta a su plasticidad. Una muestra de arcilla con poca agua será tan dura como un ladrillo, pero la misma muestra de arcilla con más agua adoptará características más



parecidas a una suspensión semilíquida o incluso a una suspensión.” (Juárez Badillo y Rico Rodriguez 2005)

▪ **Límite líquido (LL)**

“El término "límite líquido" se aplica cuando el suelo contiene una cantidad de humedad por debajo de la cual exhibe propiedades de un material plástico, y en este punto de contenido de humedad, el suelo está al borde de transformarse en un fluido viscoso en términos de sus características.

Entonces, se puede decir que el contenido de agua que se posee en este límite, será la máxima cantidad para que el surco separador disgregue en dos mitades la pasta de suelo, buscando cerrar a lo largo de su fondo, cuando se deja desplomar la cuchara 25 períodos desde una altura de 1cm, y a una velocidad de dos golpes por segundo” (Bowles 1981)

▪ **Límite plástico (LP)**

“El límite plástico se refiere al punto en el cual el suelo pasa de un estado plástico a uno sólido y se quiebra o rompe. Este límite se define como el contenido de agua expresado como un porcentaje del peso del suelo seco. También se puede decir que es la cantidad mínima de agua que el suelo puede contener para que pueda ser moldeada en hilos de 3.2 mm de diámetro sin que su estructura se dañe o rompa.” (Bowles 1981).

▪ **Índice de plasticidad (IP)**

“El término Índice de Plasticidad se utiliza para describir la extensión del rango de humedad en el que un suelo muestra propiedades plásticas y sirve como un método de clasificación de los tipos de suelo. Cuando el IP es alto, indica que el suelo tiene una alta proporción de arcilla, mientras que un IP bajo sugiere que el suelo tiene una cantidad reducida de arcilla.” (MTC, Manual de Ensayo de Materiales / Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2016)

Se representa mediante la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

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



Tabla 2: Clasificación de Suelos según Índice de Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP > 7$		
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
$IP = 0$	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Carreteras – Suelos, Geología y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos

- **Clasificación de suelos**

Se utiliza un sistema de clasificación para agrupar y relacionar las cualidades de los suelos con el fin de categorizarlos en función de su comportamiento. Este método permite detectar las propiedades de granulometría y plasticidad de los suelos. La curva granulométrica y los límites de Atterberg también son componentes esenciales en la clasificación de los suelos, ya que influyen en cómo cambian sus propiedades. AASHTO y SUCS son los dos esquemas de clasificación que se utilizan con más frecuencia. (Duque Escobar y Escobar Portes 2016)

- **Índice de grupo**

Se expresa como un número entero positivo que está regulado por las normativas de AASHTO para la clasificación de suelos. Este número varía en un rango que va desde 0 hasta 20 o incluso más. Es importante mencionar que si el valor es negativo, se considera como cero. Un valor de cero indica la calidad excepcional de un suelo, mientras que un valor de 20 o superior representa una calidad significativamente inferior. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales / Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2016).

Tabla 3: Clasificación de suelos según Índice de Grupo

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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicación, 2013)

- **Clasificación SUCS**

Este sistema de clasificación divide los suelos en dos categorías fundamentales: finos y gruesos, calculando en si pasan o no a través del tamiz N° 200. Los suelos que contienen partículas gruesas se subdividen en gravas y arenas, y su clasificación

se determina según su capacidad para pasar a través del tamiz N° 4. Además, las gravas y arenas se clasifican como limpias y secas en función del porcentaje de partículas finas que contienen (porcentaje de material que pasa a través del tamiz N° 200).(Marquez Javier 2006)

Tabla 4: Simbología de suelos según SUCS

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Limos orgánicos y arcillas
Pt	Turba y suelos altamente orgánicos
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
W	Bien gradados
P	Mal gradados

Fuentes: (Duque Escobar y Escobar Portes 2016)

Para determinar los símbolos de grupo que identifican los tipos de suelo, se requiere disponer de una carta de plasticidad y un esquema. La representación adecuada consiste en simplificar el nombre del grupo que describe principalmente al suelo y acompañarlo con el símbolo correspondiente. (Duque Escobar y Escobar Portes 2016)

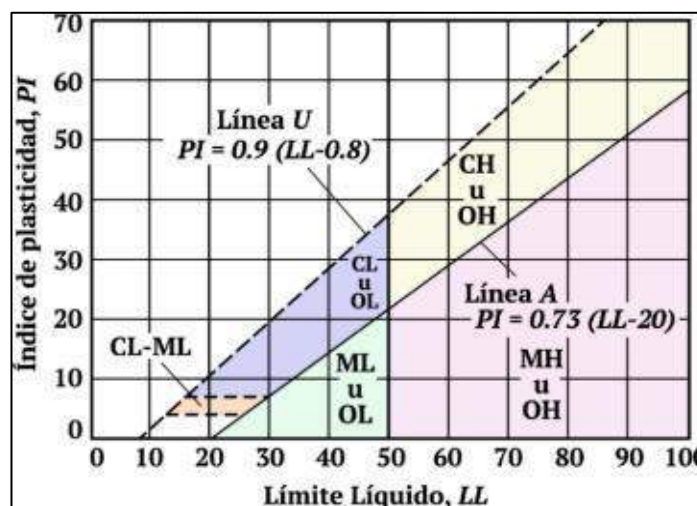


Ilustración 6: Carta de plasticidad

Fuente: <https://ingenieriaelemental.com/2021/05/17/carta-de-plasticidad-de-casagrande-online/>

Tabla 5: Características y uso de los Suelos



Grupo	VALORACIÓN ATRIBUTOS				APTITUDES SEGÚN USOS	
GW	+++	++	+++	+++	Mantos de presas, terraplenes, erosión de canales.	
GP	++	+++	++	+++	Mantos de presas y erosión de canales.	
GM	++	-	++	+++	Cimentaciones con flujo de agua.	
GC	++	--	+	++	Núcleos de presas, revestimientos de canales.	
SW	+++	++	+++	+++	Terraplenes y cimentación con poco flujo.	
SP	m	++	++	++	Diques y terraplenes de suave talud.	
SM	m	-	++	+	Cimentación con flujo, presas homogéneas.	
SC	++	--	+	+	Revestimiento de canales, capas de pavimento	
ML	m	-	M	m	Inaceptable en pavimentos, licuable.	
CL	+	--	M	m	Revestimiento de canales, pero es erodable.	
OL	m	-	--	m	No recomendable, máximo si hay agua.	
MH	--	-	-	---	Inaceptable en cimentaciones o bases (hinchable)	
CH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentación (hinchable)	
OH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentaciones o terraplenes.	
CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES	Facilidad de tratamiento en obra	Permeabilidad	Resistencia al corte	Compresibilidad	Sobresaliente	+++
					Muy alto	++
					Alto	+
					Moderado	m
					Deficiente	-
					Bajo	--
Muy bajo	---					

Fuente: *Mecánica de Suelos*. (Duque Escobar y Escobar Portes 2016)

▪ **Sistema de clasificación AASHTO**

Este método se introdujo en 1929 y se emplea parcialmente en la preparación de explicaciones para carreteras y caminos. Estos materiales se clasifican en ocho grupos diferentes según sus características, que se basan en el análisis granulométrico, el límite líquido y el índice de plasticidad. Comienzan con el grupo A-1 y avanzan secuencialmente hasta el A-8. Los materiales que contienen partículas gruesas se distribuyen en los grupos A-1, A-2 y A-3, mientras que los materiales con partículas finas se encuentran en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. . Por otro lado, los materiales que contienen turba, lodo y otros componentes altamente orgánicos se agrupan en el A-8. La tabla siguiente presenta la Clasificación AASHTO para una referencia visual. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales / Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2016)



Tabla 6: Clasificación de Suelos, según AASHTO

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido				NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP < LL - 30)	>41 (IP < LL - 30)
Índice de plasticidad	≤ 6				≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	≤ 4			≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20		
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina		Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CAIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

Fuente: Imágenes de Google

URL: <https://image.slidesharecdn.com/manualdecarreteras2-160321184436/95/manual-de-carreteras-2-26-638.jpg?cb=1458586104>

“Los grupos de suelos son 7, subdivididos en otros más (para llegar a 12):” (Duque Escobar y Escobar Portes 2016)

- ❖ Grueso granulares: 35% o menos pasa el T-200 comprende:
 - A-1, si menos del 20% pasa el T-200 y menos del 50% pasa el T-40.
 - A-2, si menos del 35% pasa el T-200, (limoso o arcilloso).
 - A-3, si menos del 10% pasa el T-200 y 51% o más pasa el T-40.
 - ❖ Suelos Fino Granulares (grupo limo arcillas): más del 35% pasa el T – 200
 - A-4 si $IP \leq 10$ (limo) y $LL \leq 40\%$.
 - A-5 si $IP \leq 10$ (limo) y $LL \leq 41\%$.
 - A-6 si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \leq 40\%$.
 - A-7 si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \leq 41\%$.
- (Duque Escobar y Escobar Portes 2016)



Tabla 7: Características de los Suelos – según AASHTO

Grupo Suelos.	Permeabilidad	Elasticidad.	Cambio de volumen.	Capacidad.	Bases de pavimentos.	Sub bases.	Terraplenes.	Valoración escala.
A-1	--	---	++	-	++	++	++	--- Sobresaliente.
A-2	-	++	+	m	+	M	+	++ Muy alto.
A-3	+	-	+	-	+	+	+	+ Alto.
A-4	+	+	+	+++	+	+	+	m Moderado.
A-5	-	m	++	+++	---	-	---	- Deficiente.
A-6	---	-	++	++	---	---	---	-- Bajo.
A-7	--	m	++	++	---	---	---	--- Muy bajo.

Fuente: (Duque Escobar y Escobar Portes 2016)

- **Compactación de suelos (Proctor modificado)**

“El método Proctor modificado establece una relación entre dos valores: el contenido de agua y el peso unitario seco. Este procedimiento implica el uso de un martillo que pesa 44,5 N (10 lb) para compactar el suelo en un molde de diámetro de 101,6 mm o 152,4 mm (4 o 6 pulgadas), dejándolo caer desde una altura de 457 mm (18 pulgadas), lo que resulta en una Energía de Compactación de 2700 kN-m/m³ (56000 pie-lb/pie³).

Sólo los suelos con un 30% o menos de sus partículas retenidas en un filtro de 3/4" pulgadas (19,0 mm) en peso pueden someterse a esta prueba. Es importante señalar que se ofrecen tres técnicas diferentes para llevar a cabo el enfoque, y que el método debe modificarse de acuerdo con las especificaciones del material que se está evaluando. La distribución granulométrica del material determinará el método más aceptable.” (MTC, Manual de Ensayo de Materiales / Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2016)



Tabla 8: Métodos usados para el Ensayo de Proctor

MÉTODO A	
Molde	101,6 mm (4 pulgadas) de diámetro
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz N°4 (4.75mm)
Número de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando el 30% o menos del peso del material es retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4)
Otros Usos	Si el método no es especificado, los materiales que cumplen estos requerimiento de gradación pueden ser ensayados usando el método B o C.
MÉTODO B	
Molde	101,6 (4 pulgadas) mm de diámetro
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz 3/8" pulg (9.5mm)
Número de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 9.5 mm (3/8" pulg).
Otros Usos	Si el método no es especificado y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando el método C.
MÉTODO C	
Molde	152,4 mm (6 pulgadas) de diámetro
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz 3/4" pulg (19,0 mm)
Número de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 9.5 mm (3/8" pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm (3/4" pulg).
Otros Usos	Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no se drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D 4253 (NTP 339.137).

Fuente: (MTC, Manual de Ensayo de Materiales / Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2016)

- **Ensayo de capacidad de soporte (CBR)**

Una vez que se haya completado la clasificación de suelos utilizando los dos sistemas mencionados, se procede a llevar a cabo los ensayos correspondientes para determinar el CBR (California Bearing Ratio). Este valor se expresa como un porcentaje y representa la relación entre la carga unitaria requerida para que un pistón penetre en el suelo y la carga unitaria necesaria para que el mismo pistón penetre a la misma profundidad en una muestra que tiene características similares a una piedra descompuesta.

El CBR se refiere al 95% y/o el 100% de la Máxima Densidad Seca y se obtiene mediante una penetración de carga de 2,54 milímetros. Los ensayos se realizan siguiendo las normas ASTM D698-70 o D1557-70 como referencia. (Bowles 1981)



Tabla 9: Clasificación de la Subrasante de acuerdo al CBR

CATEGORIAS DE SUBRASANTE	CBR
S0: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	de CBR \geq 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	de CBR \geq 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	de CBR \geq 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	de CBR \geq 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	CBR \geq 30%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2013)

Lo que se menciona a continuación se relaciona con la evaluación en el campo de la Ingeniería Geotécnica. Estos conocimientos sobre la preparación de muestras de prueba y materiales que contienen cemento se vuelven más fuertes con el tiempo. Se busca que estos materiales con contenido de cemento sean sometidos a un proceso de curado bajo supervisión inmediata hasta que sea posible evaluar su capacidad de soporte en condiciones de servicio a largo plazo. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales / Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2016)

- **Ensayo de resistencia a la erosión (Ensayo de Erosión Acelerada Swinburne – SAET)**

Con este ensayo, se tiene como objetivo estudiar el comportamiento de bloques de tierra comprimida en forma prismática rectangular, a la erosión de su superficie ocasionada por el contacto continuo de gotas de agua en una de sus caras, simulando estas gotas como si fuera una lluvia fuerte. De esta forma se podrá observar y comparar los resultados de cada caso y verificar cuál de las unidades es la más erosionable. (Mosquera Gonzáles 2016)

Para el diseño de este ensayo se utilizó como guía a lo establecido en la UNE 41410

Manual AASHTO: La metodología es de carácter empírico e incorpora procedimientos mecánicos para evaluar el deterioro causados por el clima y establecer coeficientes para drenaje y transferencia de cargas, Así mismo, el empleo de Modulo de Resiliencia para caracterizar las propiedades de los materiales introduce el concepto de caracterización por el módulo cuasi-elástico, todo esto para pavimentos.

Manual de Ensayo de Materiales: Su principal es establecer un conjunto de reglas y procesos uniformes para llevar a cabo tanto ensayos de laboratorio como de campo en los materiales



destinados a proyectos de infraestructura vial. Esto se hace con la intención de garantizar que el rendimiento de estos materiales cumpla con los estándares de calidad definidos en los estudios para las obras y tareas de mantenimiento de carreteras. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales / Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2016).

Manual de “Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”: Se tiene en consideración que las carreteras no pavimentadas con bajo volumen de tránsito son de gran importancia en el desarrollo local, regional y nacional, ya que esta categoría cuenta con el mayor porcentaje de vialidad. El objetivo de esta norma es el brindar un manual de alcance amplio y de uso simple que proporcione conocimientos técnicos coherentes y sólidos para poder diseñar y construir carreteras eficientes y optimizadas en su costo. (MTC 2008)

Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos:

Su objetivo principal es brindar a los ingenieros una base de conocimientos y criterios uniformes en el campo de suelos y pavimentos. Esto simplifica la aplicación de estos conocimientos en el diseño de las capas superiores y la superficie de rodadura tanto en carreteras sin pavimentar como pavimentadas. El propósito final es proporcionar una estabilidad estructural que permita un rendimiento óptimo en términos de eficiencia técnica y económica, en beneficio de la sociedad en general. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2013)

Suelos:

“Los suelos son definidos como aglomerados de partículas procedentes de la descomposición de las rocas, esto debido a la erosión. Estos están constituidos por elementos relativamente pequeños y no homogéneos. Una grava, arena o arcilla se considera, desde un punto de vista geológico, como roca, mientras que en la geotecnia se le encuadra dentro del concepto de suelo. No debe ser confundido suelo con tierra vegetal, ya que además ésta contiene materia orgánica, que precisamente le da el carácter de actividad.

En principio las rocas son recubiertas por suelos en capas más o menos gruesas.

A veces el espesor puede ser nulo como es el caso de las cadenas montañosas. Otras veces su espesor puede ser considerable, como en el caso del lecho de un río.” (Llano Sanz 1975)

Origen del suelo:

“Los suelos tienden a ser producidos por la modificación y descomposición química y/o física de las rocas madres, causadas por intemperismo, siendo modificada su composición y mineralogía, así como las propiedades mecánicas y físicas a través del tiempo. Hay muchos



agentes físicos que ocasionan variedades de cambios en rocas, entre ellos están la temperatura, el viento, el agua y la humedad. Mientras tanto, los agentes químicos que participan en la transformación de las rocas son: la oxidación e hidratación.” (Mata Montenegro 2010)

Tipos de suelos:

“Existe gran variedad de tipos de suelos, los cuales se producen por el proceso de intemperismo, es decir, producido por la fisura y quebramiento de rocas en trozos de tamaño menor a través de procesos mecánicos y químicos, teniendo como resultado suelos residuales y suelos transportados.” (Mata Montenegro 2010)

- **Suelos residuales**

“Se refiere a suelos que se encuentran en el lugar donde se formaron debido a la acción de la meteorización o el intemperismo, que conlleva tanto a una desintegración mecánica como a un problema químico. La mayoría de estos suelos residuales se originan porque los productos resultantes de la meteorización no son arrastrados como sedimentos, sino que permanecen en el lugar original. Las características principales de estos suelos incluyen la presencia de asentamientos y una composición heterogénea.” (Mata Montenegro 2010)



Ilustración 7: Imagen de composición de un suelo

Fuente: Universidad de El Salvador

- **Suelos transportados**

Son denominados suelos Transportados a dichos suelos que fueron llevados o movidos por causa de la erosión eólica o pluvial de un lugar a otro desde su origen.

Tamaño de Partícula:

“Las partículas que componen el suelo exhiben una amplia gama de tamaños, y se clasifican generalmente en categorías como grava, arena, arcilla o limo, dependiendo de la dimensión predominante de las partículas y su índice de plasticidad. Para describir estos suelos según sus



partículas, se utilizan límites de dimensiones establecidas en secciones separadas, tal como lo presenta la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (AASHTO).” (Mata Montenegro 2010)

- **Gravas:** “Se dice a la acumulación suelta de cascajo de roca con partículas de feldespato, cuarzo, y otros granos minerales, que varían en su tamaño pasando la malla de 3” (75mm) y son retenida en la malla No. 10 (2mm) de diámetro. Cuando son conducida por las aguas, llevan una presentación redondeada. Su procedencia puede ser de márgenes, lechos y conos de deyección en los ríos, como también en las depresiones de terrenos rellenados.” (Mata Montenegro 2010)
- **Arenas:** “El término "arenas" se refiere a partículas finas que se componen principalmente de minerales como el feldespato, el cuarzo y otros, los cuales provienen de la distribución de las rocas o de la trituración artificial. Estas partículas tienen tamaños que pasan a través de una malla No. 10 (2 mm) pero son retenidas por una malla No. 200 (0.075 mm) de diámetro. La existencia y el origen de las arenas son similares a los de las gravas, ya menudo se encuentran en las mismas ubicaciones o depósitos. Estas arenas suelen estar libres de impurezas y no experimentan contracciones al secarse.” (Mata Montenegro 2010).
- **Limos:** “Se trata de suelos que contienen partículas extremadamente pequeñas de cuarzo, así como algunas partículas en forma de escalas que son fragmentos de minerales micáceos. Estos suelos tienden a tener una plasticidad muy limitada o nula.” (Mata Montenegro 2010).
“Por lo general, se originan a partir de partículas que tienen un tamaño extremadamente pequeño, con características de escalas de mica, minerales arcillosos y otros minerales, con un diámetro inferior a 0.075 mm y un índice de plasticidad superior a 10. Estos suelos tienen la capacidad de volverse plásticos cuando se mezclan con agua.” (Mata Montenegro 2010)
- **Arcillas:**
“El termino arcilla, que se define y considera de muchas maneras, es variable y difícil de precisar. En sedimentología y edafología frecuentemente se usa como un tamaño (<math><2\mu</math>) que identifica un material heterogéneo, que es compuesto por minerales propios de la arcilla y otras substancias orgánicas,”



“Desde el punto de vista de origen, la arcilla no tiene significado genético unitario, ya que puede ser un producto de meteorización, un depósito sedimentario, un producto hidrotermal o ser el resultado de una síntesis. (Besoain 1985)

Factores a considerar para el diseño de un pavimento

- 1. Tránsito:** Servirá para el dimensionamiento del pavimento, teniendo en cuenta el eje de los vehículos y el carril de diseño, estimando el tiempo de vida útil. (Montejo Fonseca 2002)
- 2. Subrasante:** Es necesario la evaluación de la capa de la subrasante. Según sea las propiedades, se definirá el espesor que caracteriza al pavimento. Para ser posible dicha evaluación, se realiza el ensayo de CBR para determinar la resistencia máxima del suelo que estará sujeto a los esfuerzos cortantes transmitidos por las cargas de los vehículos o del tránsito. (Montejo Fonseca 2002)
- 3. Clima:** Se considera dos factores: la temperatura y las lluvias. Los cambios de temperatura afectan directamente al módulo de elasticidad de las capas asfálticas, según esta incremente o disminuya, teniendo cuenta que en el caso de los pavimentos rígidos, el incremento de temperatura y ser mayor ocasiona mayores esfuerzos en dichas losas. En tanto a las lluvias, estas intervienen en la compresibilidad y resistencia del suelo a través de su presencia en el nivel freático. (Montejo Fonseca 2002)
- 4. Materiales Disponibles:** Para la elaboración de la estructura se debe de tener en cuenta la disposición de depósitos pluviales y canteras cercanos, dando así la facilidad técnica y económica. En cuanto a costos, se debe de estimar el riesgo del comportamiento del pavimento durante el tiempo de ejecución, el mantenimiento de este y futuros esfuerzos estructurales. (Montejo Fonseca 2002)

Suelo Inestable:

“En la Mecánica de Suelos una división de los suelos según su comportamiento:

- Suelos estructuralmente estables
- Suelos estructuralmente inestables o meta estables

Se define a los segundos como suelos cuyo comportamiento no solo está en relación con sollicitaciones mecánicas, sino que también está controlado por factores externos como factores químicos, variaciones ambientales, etc.

Indica que, los suelos inestables o presentan una serie de características comunes tales como:

- Estructura macro porosa, con índice de huecos, entre relativamente alto a muy alto.
- Granulometría predominantemente fina, con predominio de limos y arcilla. El tamaño de las partículas es generalmente poco distribuido y con las partículas más grandes



escasamente meteorizados. La mayoría de las veces la cantidad de la fracción de arcilla es relativamente escasa, sin embargo, tiene una influencia importante en el comportamiento mecánico de la estructura interparticular o intergranular.

- Estructura mal acomodada, con partículas de mayor tamaño separadas por espacios abiertos o vacíos, y unidas entre sí por acumulaciones o "puentes" de material predominantemente arcilloso. En muchos casos existen cristales de sales solubles insertados en estos puentes o uniones arcillosas." (Reginatto 1970)

“Los suelos granulares, como las arenas y las gravas, presentan un tipo de estructura simple, también ampliable a los limos. En ella, las uniones entre granos son contactos reales debidos a fuerzas gravitacionales, fuerzas exteriores o capilares. Estas últimas tienen un carácter temporal ya que dependen del grado de saturación que posea el suelo. La humedad del suelo puede variar entre el estado saturado y el seco, del mismo modo las tensiones capilares serán variables con el contenido de humedad y desaparecerán tanto al saturarse, como al secarse el suelo.” (Redolfi 2007)

Yeso (Y):

“La palabra Yeso da a conocer en castellano a varios productos diferentes. Por un lado la piedra natural, que está compuesto químicamente por sulfato cálcico que esta cristalizado conjuntamente con agua, en una proporción de: dos moléculas de agua por molécula de sulfato cálcico, en otras palabras, sulfato cálcico dihidrato o doble hidrato, que también es denominado aljez o piedra de yeso.

La piedra de yeso, aljez o sulfato cálcico dihidrato, es una piedra sedimentaria que es parte de las evaporitas, ya que tiene su origen geológico en la desecación por evaporación de mares interiores sin aliviaderos al mar o de lagos salados, con láminas de agua de espesor mínimo bajo un clima cálido.

Por otro lado, el producto en presentación de polvo es obtenido por la calcinación y molienda de la piedra de yeso o aljez, que este está compuesto por varias fases semihidratadas o anhidritas del sistema sulfato cálcico-agua, y que al ser amasado con el agua presenta una propiedad de endurecimiento por el proceso físico-químico llamado fraguado.” (De Villanueva Dominguez y García Santos 2001)

“La piedra de yeso formada de pequeños cristales granujientos y aglomerados, constituyen masas compactas morfas, se considera como la más a propósito para la fabricación del yeso que se emplea en las construcciones.” (Ramon de Manjarres 1860)



Yeso Hidráulico (YH):

“Cuando el yeso se calienta a temperaturas superiores a los 900°C, el aumento en su energía interna es suficiente para superar la fuerza de cohesión que existe entre el sulfato y el calcio debido a su enlace iónico. Además, se produce la ruptura de la relación covalente entre los electrones compartidos entre el átomo de azufre y los átomos de oxígeno, lo que resulta en la formación de dos nuevas moléculas más simples con características iónicas, y, por lo tanto, un comportamiento dipolar en el entorno.

Es preparado con muy poca agua y el endurecimiento final es producido muy lentamente (5 horas en el aire y debajo del agua 24 a 48 horas), distinguiéndose por adquirir resistencias muy elevadas. El carácter hidráulico del material da como significado que puede fraguar sumergido en el agua. Se producirá una disociación del sulfato cálcico, por lo que aparecerá cierta cantidad de cal que actúa como acelerador de fraguado. Así se obtiene un yeso que fragua debajo del agua, llamado yeso hidráulico.

Este yeso no presenta expansión ni retracción y puede alcanzar gran resistencia a la compresión, gran dureza y puede ser pulido. También se utiliza para fabricar baldosas y hacer imitaciones del mármol.” (García Santos s.f.)

Estructura de un Pavimento

Los pavimentos están formado por capas de resistencia decreciente en tanto a la profundidad. Usualmente se componen de: carpeta de rodadura, base y sub base, todos estos apoyados sobre la subrasante.

- **Sub rasante:** Es el terreno natural en la que toda la estructura del pavimento se apoya, es decir, no forma parte de la estructura en sí. No obstante, la capacidad de soporte de la subrasante es un factor básico que directamente afecta a la selección de espesores totales de las capas del pavimento. (Rondón Quintana y Reyes Lizcano 2015)
- **Sub base:** Se construye directamente sobre la terracería y tiene de funciones: Reducir el costo del pavimento reduciendo el espesor de la base; proteger la base de la subrasante, ya que si este último se introduce a la base, puede generar cambios volumétricos dados por el cambio de condiciones de humedad, dando como resultado la disminución de la resistencia de la base; impide que el agua suba por capilaridad a la base y transmite y distribuye las cargas a la terracería. (Rondón Quintana y Reyes Lizcano 2015)
- **Base:** La base se coloca por encima de la sub base y se utiliza material de mayor calidad en su construcción en comparación con el material de la sub base. Su principal



propósito es proporcionar la resistencia estructural necesaria para soportar las cargas que los vehículos transmiten. Incluso en condiciones de humedad, la base no debe experimentar cambios volumétricos dañinos. (Rondón Quintana y Reyes Lizcano 2015)

- **Carpeta de Rodadura:** En el caso de los pavimentos flexibles, está comprendido por material pétreo, al que se adiciona material asfáltico que tiene como objetivo servir como aglutinante. Provee una superficie adecuada para el tránsito y transmite las cargas hacia la base en la que se apoya. Debe poseer la mayor impermeabilidad posible, esto con el fin de que el agua superficial drene por la superficie de esta, reduciendo la cantidad de agua que llegue a la base. La carpeta de rodadura con mejor calidad es la que se construye con mezcla asfáltica producida y colocada en caliente. (Rondón Quintana y Reyes Lizcano 2015)

Vías debajo Volumen de Transito

Vías que conforman el mayor porcentaje del Sistema Nacional de Carreteras y son recorridas generalmente por un volumen menor de 50 veh/día y muy pocas veces llegan hasta 200 veh/día. Estas se caracterizan por ser carreteras de bajo costo. Por lo tanto, tiene alineación de diseño que evitan excesivos movimientos de tierra, considerando obras de arte y estructuras, por lo general están diseñadas para periodos de vida útil, de mediano y corto plazo, con capas de revestimiento con material granular afirmado, y en general que es disturbio en la naturaleza sea el menor posible. (MTC 2008)



Ilustración 8: Vía de Bajo Volumen de Transito

Fuente: Elaboración propia

Estabilización de un Suelo:

La estabilización de suelos se refiere al procedimiento mediante el cual se modifica la composición de suelos naturales con alto contenido de arcilla con el propósito de mejorar sus



características. Esto puede incluir el aumento de su resistencia, la disminución de su plasticidad, la facilitación de los trabajos de construcción o la mejora de su estabilidad para prevenir problemas en estructuras y superficies pavimentadas.

Hablar de la estabilización de la arcilla con cal no es nada nuevo. Ya que se utilizó esta técnica en la construcción de las pirámides del Tíbet, y también fue un método empleado con frecuencia en China y la India, aunque se realizó en 1950 cuando se popularizó el tratamiento de arcillas con cal y empezaron a construirse autopistas, carreteras, pistas de aterrizaje, etc.

Y es que cuando las propiedades geotécnicas de los suelos no son buenas, llevar a cabo una construcción en este tipo de suelo es prácticamente imposible, por lo que realizar un tratamiento a dicho suelo es casi una imposición.

Tipos de Estabilización:

- ❖ **Estabilización Mecánica de un Suelo:** Lo más importante de la estabilización mecánica es optimizar el material del suelo natural, sin tener la necesidad de alterar la estructura o elaboración elemental de este. El principal instrumento para perfeccionar se emplea la compactación, buscando minimizar el volumen de huecos existentes en el suelo. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales / Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2016)
- ❖ **Estabilización Química de un Suelo:** El objetivo de esta técnica es mejorar las propiedades originales del suelo, ya sea durante su producción o su uso, optimizando su desempeño. Los estabilizadores son productos químicos u orgánicos siendo agregados a las capas de afirmado con el propósito de mejorar el suelo, entre otras funciones. (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles 2014)

2.3.Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

- ✓ Las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables mejoran al incorporar Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. En la carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021.

2.3.2. Hipótesis específicas

- H1.El Índice de plasticidad de suelos inestables reduce incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021.
- H2.La Densidad seca máxima de suelos inestables es equilibrada incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021.



H3.El Contenido de Humedad Optimo de suelos inestables reduce respectivamente incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021.

H4.La capacidad de soporte CBR de suelos inestables mejora incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021.

H5.La resistencia a la Erosión en suelos inestables mejora incorporando Yeso Hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021.

2.4.Definición de variables

2.4.1. Variables

2.4.1.1. Variables independientes

- Yeso Hidráulico

Incorporación de Yeso Hidráulico a un suelo inestable para su estabilización (1%, 2% y 3%)

2.4.1.2. Variables dependientes

- Propiedades físico-mecánicas del suelo
 - ✓ Índice de Plasticidad
 - ✓ Densidad seca máxima DSM
 - ✓ Contenido de Humedad Optimo
 - ✓ Capacidad de soporte CBR
 - ✓ Resistencia a la Erosión



2.4.2. Cuadro de operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES					
TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
INDEPENDIENTE	yeso hidraulico	Yeso calentado a temperaturas mayores de los 900°C, el aumento de esta energía interna es suficiente para contrarrestar la energía cohesiva del enlace iónico que existe entre el sulfato y el calcio. (Wirsching, Franz. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Alemania, 1996)	Incorporación de Yeso Hidraulico en 1% a una muestra de Suelo Inestable	Dosificación en peso del Yeso Hidraulico con el suelo inestable (%)	-Balanza de precision
		El sulfato de calcio es utilizado como estabilizador para suelos que contienen alto nivel de sales de sodio como puede ser en terrenos costeros; y la variación térmica en el material está directamente proporcionado a su resistencia al fraguar. (Wirsching, Franz. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Alemania, 1996)	Incorporación de Yeso Hidraulico en 2% a una muestra de Suelo Inestable		
		En favor del yeso y de los materiales evaporíticos, que los terrenos yesíferos han sido utilizados desde tiempo inmemorial, además de por su valor como materia prima en la industria –principalmente de materiales de construcción-, como base sólida para importantes asentamientos. (Mancebo, Jose Antonio. Karstología de Yesos. Algunas aplicaciones en Ingeniería Civil. Madrid, 2008)	Incorporación de Yeso Hidraulico en 3% a una muestra de Suelo Inestable		
DEPENDIENTE	Propiedades físico-mecánicas del suelo	Un suelo se distinguen tres fases constituyentes como son la solida, liquida y gaseosa; la correlación e interacción de estas mismas, con la materia orgánica y su proporción en el medio es lo que determina sus propiedades físicas como Indice de Plasticidad, Contenido de Humedad, Granulometria, etc. (Duque E. y Escobar P. 2002)	Indice de Plasticidad	Porcentaje (%)	-Cuchara de Casagrande, balanza de precision, pipeta de agua, vidrio esmerilado
			Densidad seca maxima DSM	Densidad seca maxima (gr/cm3)	-Molde de briqueta, collar de extension, pison, ensamblaje del molde, balanza, tamices, herramientas de mezcla, horno de secado
			Contenido de Humedad Optimo	Porcentaje (%)	
			Capacidad de soporte CBR	Porcentaje (%)	-Molde de metal cilindrico, disco espaciador, pison de compactacion, aparato de medicion de expansion compuesto, pesas, estufa, balanzas, tamices
			Resistencia a la Erosión	Milímetros (mm)	-Equipo de goteo SAET, varilla de 3mm, regla



Capítulo III: Método

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

Según (Hernández Sampieri, 2014) el enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos, son secuenciales y probatorios. En este enfoque se utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis planteada con base en la medición numérica, con el fin de comprobar teorías. (Hernández Sampieri 2014)

La investigación es cuantitativa, ya que se basará en resultados medibles, obtenidos de ensayos de laboratorio, los cuales tienen unidades de medida como límite líquido, límite plástico, CBR, resistencia a la compresión, etc.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

Según (Hernández Sampieri, 2014) la investigación será de alcance descriptivo, cuando busca especificar las propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que sea analizado.

Según (Hernández Sampieri, 2014) la investigación será de alcance explicativo, se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables en una muestra en particular.

Esta investigación es de alcance descriptivo y explicativo ya que el propósito es experimentar con las propiedades físico mecánicas de un suelo inestable adicionado con y sin yeso hidráulico y explicar los cambios provocados en la muestra estudiada.

El enfoque hipotético deductivo, se conduce a las investigaciones cuantitativas, ya que implica que de una teoría general se derivan ciertas hipótesis, las cuales son probadas posteriormente. (Hernández Sampieri 2014)

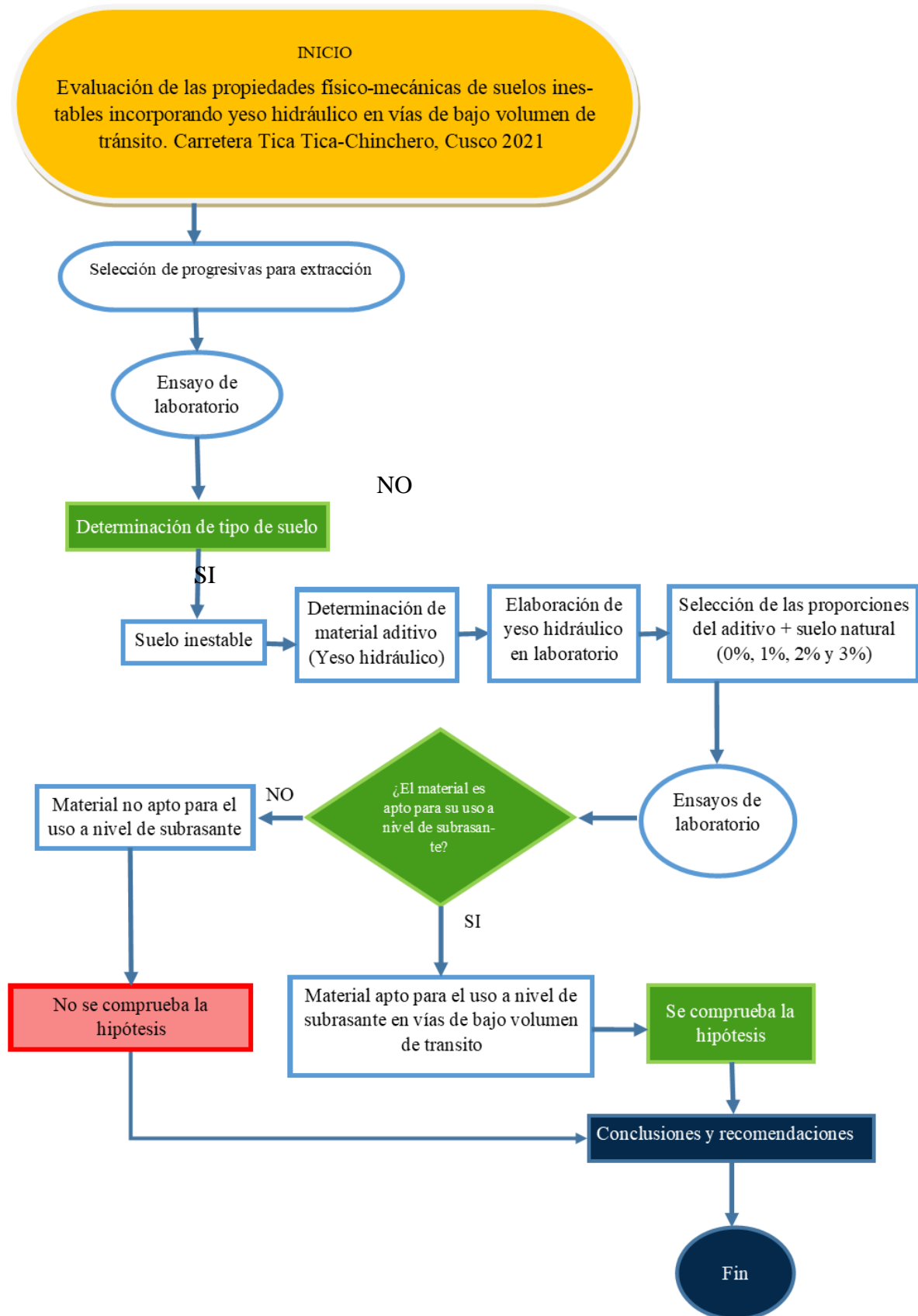
3.2. Diseño de la investigación

3.2.1 Diseño metodológico

En el diseño Cuasi experimental, los sujetos no son asignados al azar a los grupos, ni son emparejados, ya que dichos grupos están conformados antes del experimento, estos son grupos intactos. (Hernández Sampieri 2014).



3.2.2 Diseño de ingeniería





3.3.Población y muestra

3.3.1. Población

Descripción de la población

La carretera Tica Tica – Chinchero es una vía de bajo volumen de tránsito que no está pavimentada, en esta investigación se enfocó como población en los puntos de investigación (calicatas) de las zonas de movimiento de masa de alto riesgo (suelos inestables) habiéndose tomado en cuenta 06 calicatas en la carretera en estudio de esta investigación.

Cuantificación de la población

La población es finita, conformada por el estrato geológico perteneciente a suelos inestables que se encontró en los puntos de investigación (calicatas) de la vía de bajo volumen de tránsito en la carretera Tica Tica – Chinchero.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1.Descripción y cuantificación de la muestra

Descripción de la muestra

La muestra tiene como objetivo principal el hacer inferencia a la población estudiada, y teniendo como base la información que contiene dicha muestra, por lo tanto, el objetivo conlleva al estudio del problema del muestreo. (Parra Olivares 2003)

La muestra que se utilizó para esta investigación es 132 ensayos realizados con el suelo de las zonas inestables de la carretera Tica Tica –Chinchero.

Cuantificación de la muestra

La muestra está compuesta por 132 ensayos que se realizaron en laboratorio a las muestras de suelo añadiendo yeso hidráulico en distintos porcentajes.

3.3.2.2.Método de muestreo

El método que se ha realizado en esta investigación es no probabilístico, ya que nuestras unidades de investigación tienen un proceso de recolección informal y generalmente son usadas en investigaciones cuantitativas como esta. (Parra Olivares 2003)

3.3.2.3.Criterios de evaluación de muestra

Se evaluó material de las zonas de suelo inestable de la vía de bajo volumen de tránsito de la carretera Tica Tica – Chinchero, a través de testigos que se sometieron a ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos (Laboratorio de Suelos y Asfalto de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco) para un material de subrasante.

Dichos testigos son muestras extraídas de las calicatas realizadas con una altura de 1.80 m.



Tabla 10: Cuadro de Numero de Ensayos

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	NORMA	SUELO NATURAL	SUELO NATURAL CON 1% DE YESO HIDRÁULICO	SUELO NATURAL CON 2% DE YESO HIDRÁULICO	SUELO NATURAL CON 3% DE YESO HIDRÁULICO
MUESTREO DE SUELOS	MTC E 101-2016	6	-	-	-
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO	MTC E 107-2016	6	-	-	-
RESISTENCIA A LA EROSIÓN	UNE 41410:2008	6	6	6	6
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO	MTC E 108-2016	6	6	6	6
LÍMITES DE CONSISTENCIA	MTC E 110-2016 MTC E 111-2016	6	6	6	6
COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)	MTC E 115-2016	6	6	6	6
CBR DE SUELOS (LABORATORIO)	MTC E 132-2016	6	6	6	6
Subtotal		42	30	30	30
TOTAL DE ENSAYOS					132

3.3.2.4. Criterios de inclusión

- El material de la muestra para subrasante fue obtenido de las zonas de suelo inestable de la vía de bajo volumen de tránsito de la carretera Tica Tica – Chinchero, de las progresivas del 0+000 km al 8+00 km (progresiva 0+980, progresiva 1+140; progresiva 2+380; progresiva 3+240; progresiva 5+740; progresiva 6+240).
- En esta investigación, el aditivo usado es el Yeso obtenido de la cantera de Huacarpay, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchis, departamento del Cusco, el cual fue tratado en la etapa de producción, sometiendo a altas temperaturas (900 °C), teniendo como material resultante al Yeso Hidráulico.
- El material del suelo que se evalúa tiene que cumplir con los ensayos normados por el MTC para subrasante.
- Se agregó el aditivo Yeso Hidráulico en porcentajes adecuados (1%, 2% y 3%).





3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos de recolección de datos

Fichas técnicas

3.4.1.1. Determinación del contenido de humedad

Tabla 11: Ficha de Toma de datos de Contenido de Humedad

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA						
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
TESIS:		"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables incorporando yeso hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021"						
RESPONSABLES:		Jhair Herrera Vergara y Dayana Santadner Rios						
UBICACIÓN:		Carretera Tica Tica - Chichero						
LABORATORIO:		Lab. De Suelos, Materiales, Concreto y Pavimentos						
ENSAYO:		Determinación del Contenido de Humedad						
FECHA:								
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL								
MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216								
CALICATA	MUESTRA	Peso de Capsula (gr)	Peso de suelo húmedo + Capsula (gr)	Peso de suelo seco + capsula (gr)	Peso de agua (gr)	Peso de muestra seca (gr)	HUMEDAD %	HUMEDAD PROMEDIO %
C 1	Tara 1							
	Tara 2							
	Tara 3							
C 2	Tara 4							
	Tara 5							
	Tara 6							
C 3	Tara 7							
	Tara 8							
	Tara 9							
C 4	Tara 10							
	Tara 11							
	Tara 12							
C 6	Tara 13							
	Tara 14							
	Tara 15							
C5	Tara 16							
	Tara 17							
	Tara 18							

Fuente: Elaboración propia



3.5.2.2. Ensayo de análisis granulométrico por tamizado

Tabla 12: Ficha de toma de datos para el análisis granulométrico por tamizado

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
TESIS:	"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables incorporando yeso hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheró, Cusco 2021"					
RESPONSABLES:	Jhair Herrera Vergara y Dayana Santander Rios					
UBICACIÓN:	Carretera Tica Tica - Chichero					
LABORATORIO:	Lab. De Suelos, Materiales, Concreto y Pavimentos					
ENSAYO:	Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado					
FECHA:						
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</u>						
MTC E 107, Basado en la Norma ASTM C 136						
GRANULOMETRIA C1						
PESO DE LA MUESTRA						
	Peso total seco (gr) =					
	Peso después de lavar (gr) =					
	Perdida por lavado (gr) =					
TAMICES (ASTM)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	CORRECCION EN FRACCION LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCION	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75					
1 1/2"	37.5					
3/4"	19					
3/8"	9.5					
N° 4	4.75					
N° 8	2.36					
N°16	1.1					
N°30	0.59					
N°50	0.297					
N°100	0.149					
N°200	0.075					
Cazuela	-					
Lavado	-					
TOTAL						

Fuente: Elaboración propia



3.5.2.3. Ensayos de Límites de Atterberg

Tabla 13: Ficha de toma de datos del ensayo de límite líquido



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

"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables incorporando yeso hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021"



TESIS:

RESPONSABLES: Jhair Helio Herrera Vergara y Dayana Santander Rios
UBICACIÓN: Carretera Tica Tica - Chichero
LABORATORIO: Lab. De Suelos, Materiales, Concreto y Pavimentos
ENSAYO: Determinación del Contenido de Humedad
FECHA:

CONTENIDO DE HUMEDAD EN LABORATORIO (LÍMITE LÍQUIDO)
MTC E 110, Basado en la Norma NTP 339.129, SUELOS

Calicata C1
Suelo Natural

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes			
Peso de Capsula (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)			
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Contenido de humedad (W)			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Ficha de toma de datos del ensayo de límite plástico



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

"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables incorporando yeso hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021"



TESIS:

RESPONSABLES: Jhair Helio Herrera Vergara y Dayana Santander Rios
UBICACIÓN: Carretera Tica Tica - Chichero
LABORATORIO: Lab. De Suelos, Materiales, Concreto y Pavimentos
ENSAYO: Limite Plastico
FECHA:

LÍMITE PLÁSTICO
MTC E 111, Basado en la Norma ASTM D-4318

Calicata C1

Numero de Recipiente Metalico		
Suelo Humedo + Recipiente (gr)		
Suelo Seco + Recipiente (gr)		
Recipiente Metalico (gr)		
Peso suelo seco (gr)		
Peso Agua (gr)		
Contenido de humedad %		
Limite Plastico		

Fuente: Elaboración propia



3.5.2.4. Ensayo de compactación de suelos de laboratorio utilizando energía modificada (Proctor modificado)

Tabla 15: Ficha de datos del ensayo Proctor Modificado

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables incorporando yeso hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021"						
RESPONSABLES: Jhair Herrera Vergara y Dayana Santadner Rios						
UBICACIÓN: Carretera Tica Tica - Chichero						
LABORATORIO: Lab. De Suelos, Materiales, Concreto y Pavimentos						
ENSAYO: PROCTOR MODIFICADO						
FECHA:						
PROCTOR MODIFICADO						
MTC E 115, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180 Calicata 1 SN 100% YH 0%						
Peso de Muestra Natural		W			gr	
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	Acumulado		
				% Retenido	% Que pasa	
3/4"						
3/8"						
N° - 4						
Fondo						
Parcial						
TOTAL						
ELECCION DEL METODO DE ENSAYO						
METODO	% RETENIDO N°4	% RETENIDO 3/8"	% RTENIDO 3/4"	MATERIAL A USAR		
A	<=20%	-	-	Pasa N°4		
B	> 20%	<=20%	-	Pasa 3/8"		
C	-	> 20%	<=30%	Pasa 3/4"		
MATERIAL Y MOLDE A UTILIZAR SEGÚN EL METODO						
1	Molde			Pulg		
2	Material a usar			gr		
3	Capas			capas		
4	Golpes por capa			golpes		
DATOS						
Punto N°	1	2	3	4	5	
Peso del molde (gr)						
Volumen del molde (cm ³)						
Porcentaje de Humedad del suelo (%)						
Peso de muestra (gr)						
Peso del agua para la muestra						
Peso suelo húmedo + Molde (gr)						
Peso suelo húmedo (gr)						
Peso específico húmedo (gr/cm ³)						
Peso específico seco (gr/cm ³)						
DENSIDAD SECA KG/M ³						
Envase N°						
Peso de envase						
Peso de envase + suelo húmedo						
Peso de envase +suelo seco						
Peso del agua						
peso suelo húmedo						
Peso del suelo seco						
Contenido de humedad						
Contenido de humedad promedio (%)						

Fuente: Elaboración propia



3.5.2.5. Ensayo de Relación Soporte California (CBR)

Tabla 16: Ficha de toma de datos de ensayo de Relación de Soporte California (CBR)

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

TESIS: "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables incorporando yeso hidráulico en vias de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021"

RESPONSABLES: Jhair Herrera Vergara y Dayana Santander Ríos
UBICACIÓN: Carretera Tica Tica - Chinchero
LABORATORIO: Lab. De Suelos, Materiales, Concreto y Pavimentos
ENSAYO: CBR
FECHA:

CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)
MTC E 132. Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado			
Contenido de Humedad (w _{opt}) (%)			
Densidad seca (γ _{dmax})			

1	Contenido de Humedad Óptimo		%
2	Densidad Seca Máxima		gr/cm ³
3	Humedad Natural		%
4	% de Agua a añadir		%

DATOS			
Numero de Golpes			
Peso del molde con base (gr)			
Diametro (cm)			
Altura (cm)			
Altura de Disco Espaciador (cm)			
Volumen de Molde (cm ³)			
Porcentaje de Humedad del suelo (%)			
Peso de muestra (gr)			
Peso del agua para la muestra			
Peso suelo Humedo + Molde (gr)			
Peso suelo Humedo (gr)			
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)			
Envase N°			
Peso de envase			
Peso de envase + suelo humedo			
Peso de envase + Suelo seco			
Peso del agua			
peso suelo humedo			
Peso del suelo seco			
Contenido de humedad			
Contenido de humedad promedio (%)			
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)			

Muestra	Tiempo Transcurrido (min)	Muestra 01 (10 golpes)			Muestra 02 (20 golpes)			Muestra 03 (30 golpes)		
		Real	Real	% de Espasa.	Real	Real	% de Espasa.	Real	Real	% de Espasa.
0	0.025	1 hor 30 min								
0.025	0.025	3 hor 00 min								
0.05	0.05	6 hor 00 min								
0.1	0.1	12 hor 00 min								
1	1	24 hor 00 min								
2	2	48 hor 00 min								
4	4	96 hor 00 min								

Etapa de aplicación de Presion						
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 02
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)
0.00	0.000					
0.64	0.025					
1.27	0.050					
1.91	0.075					
2.54	0.100					
3.81	0.150					
5.08	0.200					
6.35	0.250					
7.62	0.300					
10.16	0.400					
12.70	0.500					

Fuente: Elaboración propia



3.5.2.6. Ensayo de Resistencia a la Erosión

Tabla 17: Ficha de toma de datos de ensayo de Resistencias a la Erosión

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS:	"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables incorporando yeso hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021"			
RESPONSABLES:	Jhair Helio Herrera Vergara y Dayana Santander Rios			
UBICACIÓN:	Carretera Tica Tica - Chichero			
LABORATORIO:	Lab. De Suelos, Materiales, Concreto y Pavimentos			
ENSAYO:	Resistencia a la Erosión			
FECHA:				
Ensayo de Resistencia a la Erosión (Ensayo de Erosión Acelerada Swinburne – SAET) Norma Española UNE 41410				
	OQUEDAD (mm)			
CALICATA	0%	1%	2%	3%
C1				
C2				
C3				
C4				
C5				
C6				

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Instrumentos de ingeniería

La presente investigación desarrollada presenta diversos instrumentos de ingeniería aplicados en campo para la toma de datos, siendo imprescindible herramientas de gabinete, herramientas y equipos en cada ensayo realizado en laboratorio y herramientas para el procesamiento de datos.

3.4.2.1. Instrumentos / equipos de campo

- Cámara Fotográfica
- Equipos de protección personal (Casco, chalecos, zapatos de seguridad)

3.4.2.2. Instrumentos/ equipos para la realización de ensayos

3.4.2.2.1. Determinación del contenido de humedad

- Balanza
- Taras
- Horno de secado
- Bandeja
- Herramientas para la manipulación de recipientes, guantes, cuchara.



3.4.2.2.2. Ensayo de análisis granulométrico por tamizado

- Balanza
- Tamices (Fondo, N° 200, N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3")
- Maquina tamizadora
- Bandejas
- Bowls
- Horno de secado
- Combo de goma
- Cepillo de alambre
- Herramientas para la manipulación de recipientes, guantes, cuchara

3.4.2.2.3. Ensayos de límites de Atterberg

- Vasija de porcelana
- Cuchara de Casa Grande
- Espátula de límites
- Acanalador
- Balanza
- Piseta
- Cuchara
- Tamiz N° 40
- Combo de goma
- Vidrio esmerilado
- Bowls
- Bandejas
- Taras
- Horno de secado

3.4.2.2.4. Ensayo de compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada (Proctor modificado)

- Bandejas
- Pipeta
- Piseta
- Taras



- Cucharón
- Regla metálica
- Tamices (3/8, 3/4, n°4, Fondo)
- Badilejo
- Brocha
- Combo de goma
- Martillo
- Molde de 4"
- Pisón
- Varilla para eyector de muestras
- Eyector de muestras
- Horno de secado

3.4.2.2.5. Ensayo de Relación Soporte California (CBR)

- Bandejas
- Molde de 6"
- Espaciador de molde
- Badilejo
- Cucharón
- Cargas o pesas (Media luna y circular)
- Placas con vástago
- Pisón
- Martillo
- Combo de goma
- Piseta
- Probeta
- Tripote con dial
- Regla metálica
- Tamices (3/4, 3/8, n°4, fondo)
- Brocha
- CBR Tester

3.4.2.2.6. Ensayo de Resistencia a la erosión

- Horno



- Equipo de SAET
- Bandejas
- Bowls
- Varilla de 3mm
- Pipeta
- Espátula

3.4.2.3. Instrumentos de gabinete

a) Normas y documentos

- Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos
- Manual AASHTO
- Manual de Ensayo de Materiales
- Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito

b) Para el procesamiento de datos

- Autodesk Civil 3D
- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- Microsoft PowerPoint

3.5. Procedimiento de recolección y análisis de datos

3.5.1. Procedimiento realizado para la recolección de datos

3.5.1.1. Levantamiento topográfico, replanteo y muestreo

a) Equipos y herramientas

- Estación total
- Pico y pala
- Baldes
- Yeso
- Wincha
- Retroexcavadora
- Bolsas de plástico

b) Procedimiento

- Se procedió a realizar un reconocimiento de campo por toda la carretera, desde el 0+000 Km hasta el 7+000 km, se hizo el levantamiento topográfico sencillo desde



el 0+000 Km hasta el 7+000 Km para hallar las progresivas donde se encuentra la presencia de suelos inestables.

- Se extrajo muestra de los lugares donde se localizó y observo la presencia de suelos inestables.
- Las calicatas fueron trazadas con yeso, con unas dimensiones de 1.50 m por 0.80 y una altura de 1.800 m y fueron excavadas con la ayuda de una retroexcavadora, ya que nos da mayor rapidez. Fueron excavadas 6 calicatas.
- Para la extracción de muestras de estudio, se tuvo que entrar a la calicata, y con la ayuda de un pico y pala, extraer la cantidad necesaria para realizar los ensayos y almacenarlas en un balde. Se extrajo 4 baldes por calicata y se cerraron herméticamente para que la muestra no pierda su humedad natural.



Ilustración 9: Tramo Carretera Tica Tica-Chinchero

Fuente: Google Earth



Ilustración 10: Reconocimiento de campo en la carretera Tica Tica - Chichero

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Ilustración 11: Levantamiento Topográfico

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 12: Trazado, excavación de calicata y extracción de muestra

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 13: Cerrado hermético de las muestras

Fuente: Elaboración propia



3.5.1.2.Extracción, tallado y horneado de yeso

a) Equipos y herramientas

- Martillos
- Cincel
- Horno mufla
- Máquina de los Ángeles

b) Procedimiento

- El yeso fue extraído de la cantera del sector Huacarpay, en el distrito de Lucre, provincia de Quispicanchis, departamento del Cusco; en una cantidad de 2 baldes llenos de rocas de yeso en estado natural.
- Se procedió al tallado, ya que al horno al que se le debe de colocar es de dimensiones muy pequeñas. Este tallado se realizó con martillo y cincel.
- Se colocaron las piedras de yeso ya talladas al horno mufla, en una temperatura de 900°C.
- Si bien es cierto, el yeso al sacarlo del horno se muestra un poco pulverizado, pero con la ayuda de la máquina de los Ángeles, se terminó de pulverizar.
- Una vez molido todo el material, se lleva a guardar en un contenedor herméticamente cerrado para que el yeso no absorba la humedad del ambiente.



Ilustración 14: Extracción de Yeso

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 15: Tallado de Yeso

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 16: Horneado de Yeso

Fuente: Elaboración propia





Ilustración 17: Molienda de Yeso en la Máquina de los Ángeles

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.3. Determinación del contenido de humedad

a) Equipos y herramientas

- Balanza
- Taras
- Horno de secado
- Bandeja
- Herramientas para la manipulación de recipientes, guantes, cuchara.

b) Procedimiento

- Se determina y registra el peso de cada tara en la que se contendrá el material (incluido su tapa).
- Se tamiza por la malla N° 4 para saber la masa mínima recomendada por el Manual de Ensayos, y así descartar gravas.
- Seleccionamos 100 gramos de la muestra y se almacena en las taras, y procedemos a pesar la tara más la muestra húmeda y registramos los datos.
- Se coloca las taras con material húmedo en una bandeja y luego se introduce al horno de secado y lo dejamos entre 12 horas a 16 horas.
- Una vez seco, se retira del horno y se deja enfriar para poder manipular los envases.
- Se procede a pesar cada tara más el material seco que lo contiene y se registra los datos.



Ilustración 18: Materiales necesarios para la elaboración del ensayo.

Fuente: Elaboración propia

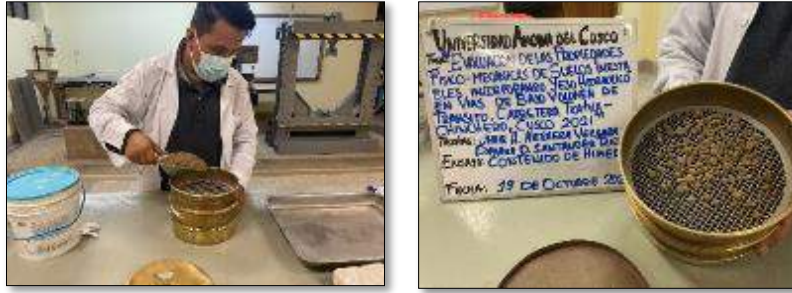


Ilustración 19: Tamizado de material para descartar piedras.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 20: Pesado de tara más muestra húmeda

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 21: Muestras listas en taras para colocación en horno.

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.4. Ensayo de análisis granulométrico por tamizado

a) Equipos y herramientas

- Balanza
- Tamices (Fondo, N° 200, N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3")
- Máquina Tamizadora
- Bandejas
- Bowls
- Horno de secado



- Combo de goma
- Cepillo de alambre
- Herramientas para la manipulación de recipientes, guantes, cuchara

b) Procedimiento

- Primero se realizó el cuarteo, para minimizar el tamaño de la muestra.
- Luego, se observa la partícula más grande, que en este caso es de 37.5 mm (1 1/2") y según la el Manual de Ensayo, el peso mínimo que debemos de tomar es de 3000 gr.
- Secamos un aproximado de 4500 gr de material en su estado natural en el horno. Una vez seco, pesamos 3000 gr.
- Se lava el material haciéndolo pasar por la malla N° 200, ya que todo lo que pasa por dicha malla es arcilla o limo.
- El material que no paso se lleva a secar al horno. Una vez seco, se deja enfriar para proceder al tamizado. No se puede tamizar el material caliente ya que puede dañar las mallas de los tamices.
- Se coloca en orden los tamices, y procedemos a colocar el material en el tamiz superior.
- Colocamos todos los tamices en la maquina tamizadora, programamos 15 minutos.
- Sacamos los tamices de la máquina, y pesamos los pesos retenidos de cada tamiz.
- Ponemos los pesos retenidos en una superficie plana para observar la diferencia de los tamaños.



Ilustración 22: Cuarteo

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 23: Muestra seca (3000 gr) antes del lavado

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 24: Lavado de material por la malla N°200

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 25: Colocado del material a los tamices y posteriormente tamizado por la maquina

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 26: Pesado de los pesos retenidos en cada tamiz.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 27: Diferentes tamaños de partículas que conforman la muestra.

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.5. Ensayo de límites de Atterberg

a) Equipos

- Vasija de porcelana
- Cuchara de Casa Grande
- Espátula de límites
- Acanalador
- Balanza
- Piseta
- Cuchara
- Tamiz N° 40
- Combo de goma
- Vidrio Esmerilado



- Bowls
- Bandejas
- Taras
- Horno de Secado

b) Procedimiento

- Se obtiene una porción representativa de la muestra total y la tamizamos por la malla N° 40.
- Colocamos la muestra tamizada a un bowl para proceder con el ensayo.
- Cuando se use el aditivo de Yeso Hidráulico, se pesa una porción y se coloca el 1%, 2% y 3% de su peso a cada muestra.



Ilustración 28: Pesado de muestra y Yeso Hidráulico

Fuente: Elaboración propia

- **Límite líquido**
- Preparamos el suelo mezclando una porción de la muestra con agua de forma medida con la piseta en una vasija de porcelana. Dicha mezcla tiene que ser homogénea, pastosa y brillante.
- Una vez hecha la mezcla, con la ayuda de una espátula, esparcimos la muestra en la copa de la Cuchara de Casagrande, formando una superficie casi horizontal.
- Con el acanalador, dividimos la muestra contenida en la copa, haciendo un corte a través del suelo. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo este corte perpendicular a la copa.
- Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad constante de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo se unan.
- Registramos el número de golpes en la que las dos mitades de suelo se unieron.



- Estas pruebas se realizarán para un cierre que se necesite de 25 – 35 golpes, otra para 20 – 30 golpes y otra para 15 – 25 golpes.
- Colocamos la muestra ensayada a una tara metálica y procedemos a pesar y registrar dato.



Ilustración 29: Materiales para la ejecución del ensayo de límite líquido

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 30: Ensayo de límite líquido

Fuente: Elaboración propia

- **Límite plástico**
 - Se toma 20 gr aproximadamente de la muestra preparada para límite líquido.
 - Se amasa con agua hasta formar una esfera con la muestra de suelo.
 - Esta esfera es partida a la mitad y se forma un elipsoide, que luego con los dedos de la mano se forma unos cilindros sobre el vidrio esmerilado.
 - Estos cilindros tienen que tener un diámetro de 3,2 mm y no se deben de desmoronar. Si antes de llegar a ese diámetro se desmorona o se parte el cilindro, se vuelve a realizar los cilindros hasta tener el diámetro indicado.
 - Una vez obtenido dicho diámetro, se coloca en una tara hasta reunir 6 gr de suelo.
 - Se lleva al horno las taras para determinar su humedad.



Ilustración 31: Ejecución del ensayo de límite plástico

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 32: Taras con muestra de LP y LL listas para colocarse dentro del horno de secado

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.6. Ensayo de compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada (Proctor Modificado)

a) Equipos

- Bandejas
- Pipeta
- Piseta
- Taras
- Cucharón



- Regla metálica
- Tamices (3/8, 3/4, n°4, Fondo)
- Badilejo
- Brocha
- Combo de goma
- Martillo
- Molde de 4”
- Pisón
- Varilla para eyector de muestras
- Eyector de muestras
- Horno de Secado

b) Procedimiento

- Primero, necesitamos saber que método usaremos. Contamos con tres métodos, estos dependen a la cantidad de material retenido en los tamices 3/4 “, 3/8 “y N°4.
- Una vez determinado el método según las tablas indicadas en el punto 3.4.1.6, se procede a realizar el ensayo.
- En este caso se obtuvo como métodos A y B, por lo que se selecciona 16 kg aproximadamente de muestra.



Ilustración 33: Materiales necesarios para realizar el ensayo Proctor Modificado

Fuente: Elaboración propia

- Seleccionamos un molde de 4” ya que nuestros métodos son A y B. Medimos sus dimensiones, volumen y peso y tomamos nota. Luego aseguramos el molde y collarín al plato base.

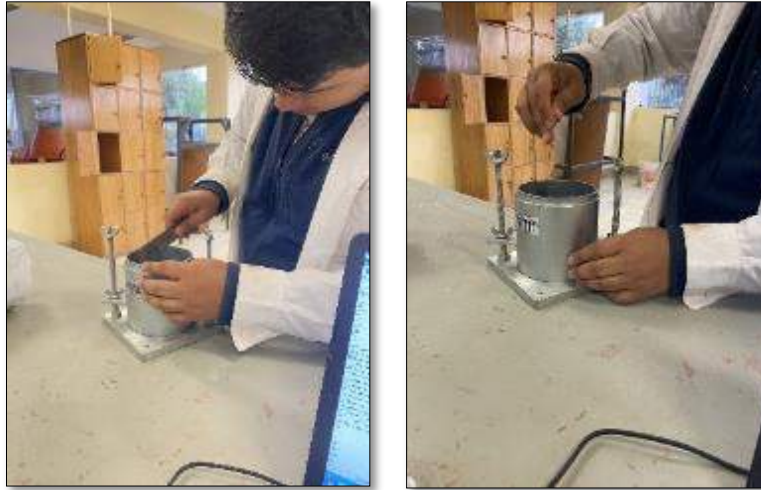


Ilustración 34: Medición de las dimensiones del molde de 4''

Fuente: Elaboración propia

- Repartimos el material de manera equitativa en 5 bandejas. En el caso de adicionar el aditivo, calculamos el 1%, 2% y 3% del peso de cada material de cada bandeja, pesamos ese valor en Yeso Hidráulico, lo adicionamos y mezclamos con el suelo natural.



Ilustración 35: Material repartido en 5 bandejas

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 36: Material adicionando Yeso Hidráulico

Fuente: Elaboración propia

- Adicionamos el porcentaje de agua seleccionado a las bandejas, se avanza una por una para que no pierda la humedad seleccionada por la intemperie. Mezclamos la muestra con el agua con nuestras manos. Importante usas guantes ya que el calor de nuestras manos hace que se pierda un poco la humedad.



Ilustración 37: Adición de Agua a las muestras

Fuente: Elaboración propia

- Una vez uniformizada la mezcla de suelo y agua, repartimos en 5 partes iguales, ya que se compactará en 5 capas uniformes en el molde. Luego colocamos una capa y compactamos con el pisón, dando 25 golpes, distribuyendo los golpes en un mismo sentido para que se compacte uniformemente.



Ilustración 38: Distribución de 5 capas iguales, y colocación al molde.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 39: Compactación de material.

Fuente: Elaboración propia

- Una vez compactadas las 5 capas, procedemos a retirar el collarín y enrasar la muestra con la ayuda de una regla metálica y badilejo. Procedemos a pesar la muestra más el molde sin el collarín.



Ilustración 40: Enrasado de muestra en molde y pesaje.

Fuente: Elaboración propia



- Extraemos la muestra con el eyector de muestras.



Ilustración 41: Extracción de muestra

Fuente: Elaboración propia

- Una vez extraído, procedemos a extraer unas pequeñas muestras representativas en taras. Seleccionamos puntos de donde se extraerán, en este caso será: una tara de la parte de las bases; y otra tara de 4 puntos del lado del cilindro. Una vez que tengamos todas las taras con muestras listas, procedemos a llevarlas al horno para su secado.



Ilustración 42: Extracción de pequeñas muestras para las taras.

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.7. Ensayo de Relación Soporte California (CBR)

a) Equipos y herramientas

- Bandejas
- Molde de 6"
- Espaciador de molde
- Badilejo
- Cucharón



- Cargas o pesas (Media luma y circular)
- Placas con vástago
- Pisón
- Martillo
- Combo de goma
- Piseta
- Probeta
- Tripote con Dial
- Regla Metálica
- Tamices (3/4, 3/8, n°4, fondo)
- Brocha
- CBR Tester

b) Procedimiento

- Seleccionamos el molde de 6" y medimos sus dimensiones, volumen y peso y tomamos nota. Luego aseguramos el molde y collarín al plato base.
- Seleccionamos 15 kg de suelo seco, los cuales los repartimos en 3 bandejas con 5 kg de suelo en cada una, ya que se realizará la compactación con 12, 26 y 55 golpes
- Del ensayo Proctor modificado se obtiene los datos de Contenido de Humedad Optima y Densidad Máxima, por lo tanto, se adiciona ese contenido de humedad al suelo y se mezcla con las manos con guantes.
- Mientras tanto se pesa el molde con el plato base y se toma dato. Se coloca el collarín y el disco espaciador, encima de este último se coloca un papel filtro que tenga el mismo diámetro del disco espaciador.
- Al igual que el ensayo de Proctor Modificado, se reparte en 5 capas, las cuales se colocan una a una en el molde y se compacta con el respectivo número de golpes (12, 26,55) por molde.



Ilustración 43: Colocación de material al molde de 6''

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 44: Compactación dentro del molde de 6''

Fuente: Elaboración propia

- Una vez compactado, se procede a retirar el collarín y enrazar con la ayuda de una regla y badilejo. Se retira el disco espaciador y se voltea el molde, o sea la parte superior del molde se pone cabizbajo, y colocamos un nuevo papel filtro en la base.



Ilustración 45: Enrasado de material y colocación de nuevo papel filtro

Fuente: Elaboración propia



- Procedemos con la etapa de saturación, colocamos la placa perforada con vástago encima de la muestra compactada y dentro del molde, así mismo que las pesas que representan las cargas.
- Colocamos el trípode, teniendo en cuenta que la aguja del dial este encima del vástago para que se mida las deformaciones.



Ilustración 46: Colocación de trípode

Fuente: Elaboración propia

- Se sumerge los moldes en un pozo lleno de agua por 4 días o 96 horas, y se toma lectura a las 0, 24, 48, 72 y 96 horas.



Ilustración 47: Sumergido del molde con material, pesas y placa con vástago

Fuente: Elaboración propia

- Pasado el tiempo estimado, se retira los moldes y se deja 15 minutos en la intemperie para que escurra el agua. Una vez pasado este tiempo se retira la placa con vástago pero no las pesas.
- Procedemos al ensayo de penetración. Se coloca el molde encima del plato del CBR Tester, ajustando el pisón para que quede en el centro. Como se hace uso del CBR Tester digital, lo programamos para que todo esté en cero (deformación y presión). Colocamos



una cámara filmadora para que grabe la pantalla, ya que necesitaremos la presión en ciertos milímetros de penetración.



Ilustración 48: Colocación del molde con material al CBR Tester

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 49: Grabación de datos

Fuente: Elaboración propia

- Al finalizar la prueba de penetración, desmontamos el molde de la máquina, retiramos las pesas, y se extrae 2 pequeñas muestras en taras de 2 puntos, la primera del punto de penetración y la segunda de la zona baja del molde, esto para determinar el contenido de humedad.



Ilustración 50: Extracción de muestra a taras

Fuente: Elaboración propia



3.5.1.8. Ensayo de Resistencia a la Erosión (Ensayo de Erosión Acelerada Swinburne – SAET)

a) Equipos y herramientas

- Horno
- Equipo de SAET
- Bandejas
- Bowls
- Varilla de 3mm
- Pipeta
- Espátula

b) Procedimiento

- Repartimos el material de manera equitativa en bandejas. En el caso de adicionar el aditivo, calculamos el 1%, 2% y 3% del peso de cada material de cada bandeja, pesamos ese valor en Yeso Hidráulico, lo adicionamos y homogenizamos.
- Del ensayo Proctor modificado se obtiene los datos de Contenido de Humedad Optima, por lo tanto, se adiciona ese contenido de humedad al suelo hasta homogenizar.
- Una vez uniformizada la mezcla de suelo y agua, repartimos en 5 partes iguales, ya que se compactará en 5 capas uniformes en el molde rectangular. Luego colocamos una capa y compactamos con el pisón, dando 25 golpes, distribuyendo los golpes en un mismo sentido para que se compacte uniformemente.
- Una vez compactadas las 5 capas, procedemos a exponerlos a la intemperie para obtener un secado adecuado, pasados 24 horas se procede a retirar el molde.
- Teniendo bloques de tierra de 16cmx16cmx32cm.
- Seguidamente se someten al equipo SAET según Normativa UNE 41410.



Ilustración 51: Elaboración de bloques de tierra comprimida

Fuente: Elaboración propia



- Instalamos el equipo de SAET y colocamos los bloques a 27°. Agregamos agua al tanque del equipo y dejamos que gotee durante 5 minutos.



Ilustración 52: Instalación del equipo de SAET y colocación de bloques

Fuente: Elaboración propia

- Con una varilla de 3mm medimos la oquedad producida por la erosión.



Ilustración 53: Medición de oquedad de los bloques

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Toma de datos y cálculos

3.5.2.1. Análisis de datos obtenidos del ensayo de det. del contenido de humedad

a) Procesamiento

Para la determinación del contenido de humedad de cada calicata se utilizó la siguiente fórmula:

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

Donde:

W: Contenido de humedad (%)

Ww: Peso del agua (gr)

Ws: Peso del suelo seco (gr)



b) Diagramas y tablas

CALICATA	MUESTRA	Peso de Capsula (gr)	Peso de suelo húmedo + Capsula (gr)	Peso de suelo seco + capsula (gr)	Peso de agua (gr)	Peso de muestra seca (gr)	HUMEDAD %	HUMEDAD PROMEDIO %
C 1	Tara 1	37.4	137.5	132.4	5.1	95	5.37%	5.74%
	Tara 2	37.8	137.5	131.5	6	93.7	6.40%	
	Tara 3	37.1	137.7	132.5	5.2	95.4	5.45%	
C 2	Tara 4	37.2	137.4	131.4	6	94.2	6.37%	5.34%
	Tara 5	37.5	137.5	133.8	3.7	96.3	3.84%	
	Tara 6	37.5	137.9	132.4	5.5	94.9	5.80%	
C 3	Tara 7	37.9	137.5	132.8	4.7	94.9	4.95%	5.71%
	Tara 8	37.4	137.8	134.3	3.5	96.9	3.61%	
	Tara 9	49.2	149.2	141.3	7.9	92.1	8.58%	
C 4	Tara 10	49.6	149.2	139.2	10	89.6	11.16%	9.86%
	Tara 11	49.6	149.1	141.8	7.3	92.2	7.92%	
	Tara 12	50.4	150.3	140.8	9.5	90.4	10.51%	
C 6	Tara 13	49.1	149.4	140.4	9	91.3	9.86%	9.80%
	Tara 14	49.6	149.5	140.4	9.1	90.8	10.02%	
	Tara 15	49.5	149.5	140.8	8.7	91.3	9.53%	
C5	Tara 16	49.5	149.6	140.7	8.9	91.2	9.76%	9.62%
	Tara 17	50.4	150.7	142.4	8.3	92	9.02%	
	Tara 18	48.3	148.7	139.5	9.2	91.2	10.09%	

Fuente: Elaboración propia

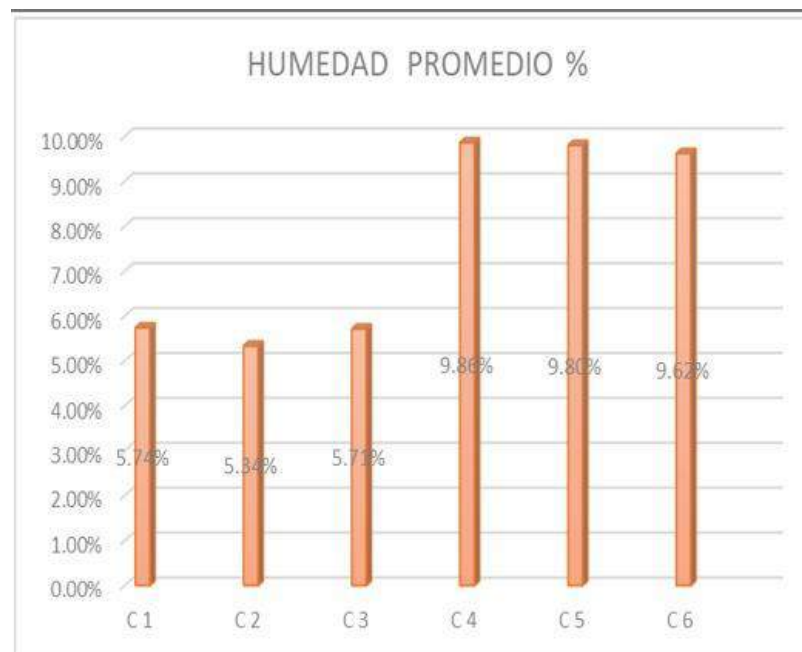


Ilustración 54: Contenido de humedad

Fuente: Elaboración propia



c) Análisis de prueba

Se observa en la ilustración y resultado de los cálculos que se hicieron en las tablas que la calicata C1 tiene mayor contenido de humedad con un 5.74%, y la calicata C2 tiene el menor contenido de humedad con un 2.90%.

3.5.2.2. Análisis de datos obtenidos en el ensayo de análisis granulométrico por tamizado

a) Procesamiento

Una vez realizado el tamizado, procedemos a calcular el peso retenido en cada tamiz, utilizando la ecuación:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} * 100$$

Es de gran importancia el cálculo de porcentajes de los finos, estando en forma acumulativa del cien por ciento de los porcentajes retenidos en cada tamiz.

$$\% \text{Pasa} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado}$$

Una vez que obtengamos la curva granulométrica, procedemos a obtener los diámetros que corresponden a: D10, D30, D60. La letra “D” hace referencia a la partícula del suelo, y el número o subíndice indica el porcentaje de la materia. (Bowles 1981)

Hallamos el coeficiente de Uniformidad Cu, que este indica la variación de tamaños de los granos de la muestra. Este es dado por la fórmula:

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

También hallamos el Coeficiente de Concavidad, que este indica la forma de la curva entre D10 y D60, representado por la siguiente fórmula:

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



c) Diagramas y tablas

Tabla 18: Análisis Granulométrico C1

GRANULOMETRÍA C1

PESO DE LA MUESTRA	
Peso total seco (gr) =	3000
Peso después de lavar (gr) =	2314.3
Perdida por lavado (gr) =	685.7

TAMICES (ASTM)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75					100.00
1 1/2"	37.5					100.00
3/4"	19	78.9	79.47	2.65	2.65	97.35
3/8"	9.5	276.2	276.77	9.23	11.88	88.13
N° 4	4.75	353.1	353.67	11.79	23.66	76.34
N° 8	2.36	422.1	422.67	14.09	37.75	62.25
N°16	1.1	373.1	373.67	12.46	50.21	49.79
N°30	0.59	231.6	232.17	7.74	57.95	42.05
N°50	0.297	179.8	180.37	6.01	63.96	36.04
N°100	0.149	147.9	148.47	4.95	68.91	31.09
N°200	0.075	182.4	182.97	6.10	75.01	24.99
Cazuela	-	62.9	63.47	2.12	77.13	22.88
Lavado	-	685.7	686.27	22.88	100.00	0
TOTAL		2993.7	3000.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

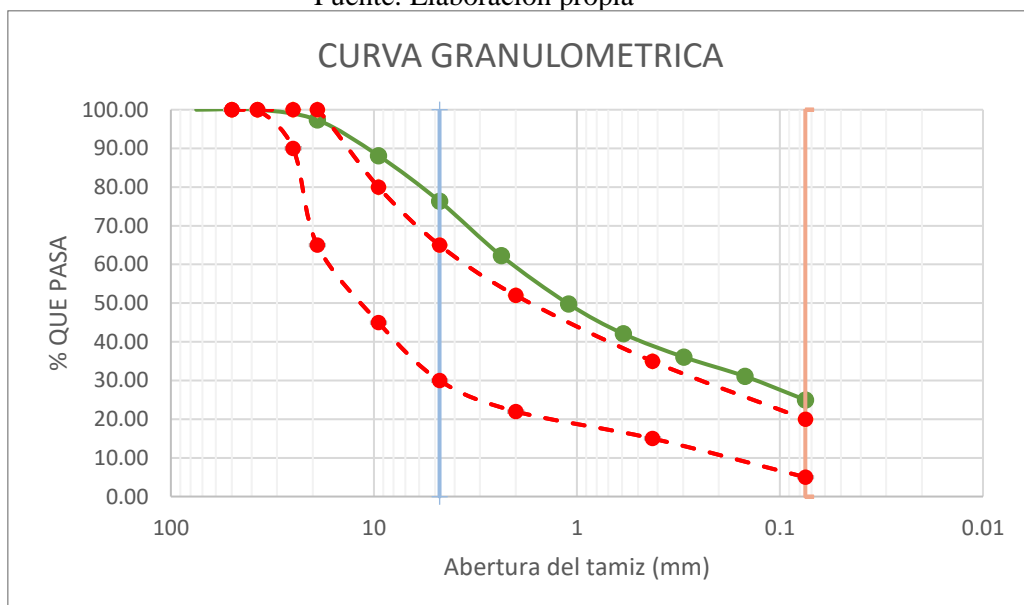


Ilustración 55: Curva granulométrica de la calicata C1



Tabla 19: Análisis granulométrico C2

GRANULOMETRÍA C2

PESO DE LA MUESTRA	
Peso total seco (gr) =	3000
Peso después de lavar (gr) =	2284.1
Perdida por lavado (gr) =	715.9

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75					100.00
1 1/2"	37.5					100.00
3/4"	19	107.9	108.59	3.62	3.62	96.38
3/8"	9.5	286.9	287.59	9.59	13.21	86.79
N° 4	4.75	402.3	402.99	13.43	26.64	73.36
N° 8	2.36	524.8	525.49	17.52	44.16	55.85
N°16	1.1	507	507.69	16.92	61.08	38.92
N°30	0.59	140.5	141.19	4.71	65.79	34.22
N°50	0.297	83.6	84.29	2.81	68.59	31.41
N°100	0.149	114.7	115.39	3.85	72.44	27.56
N°200	0.075	134.5	135.19	4.51	76.95	23.05
Cazuela	-	24.3	24.99	0.83	77.78	22.22
Lavado	-	665.9	666.59	22.22	100.00	
TOTAL		2992.4	3000.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

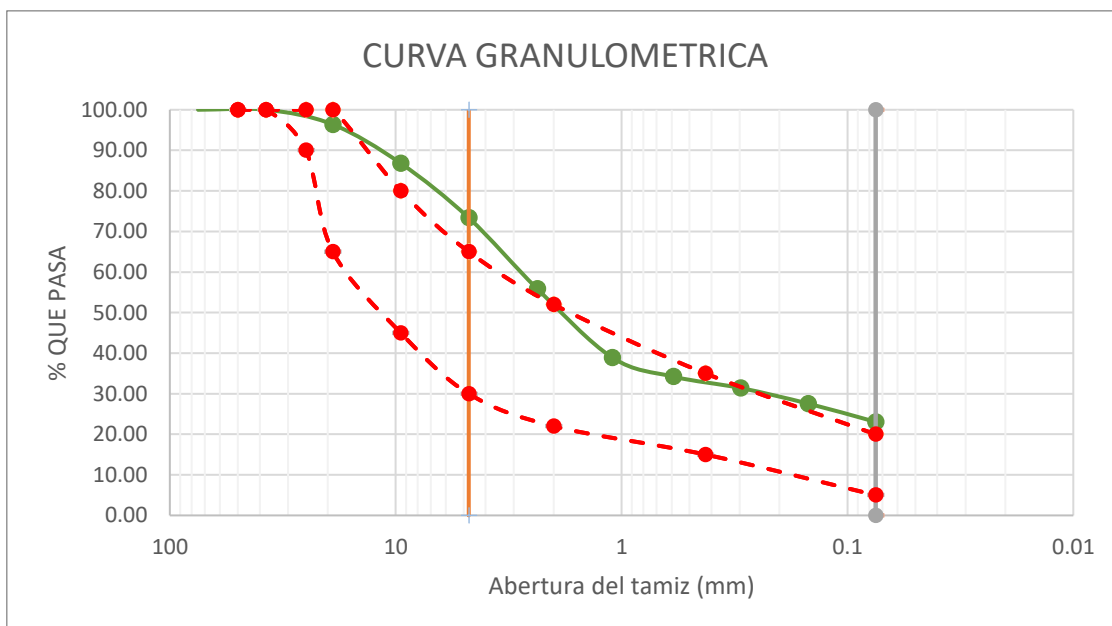


Ilustración 56: Curva granulométrica C2



Tabla 20: Análisis Granulométrico C3

GRANULOMETRÍA C3

PESO DE LA MUESTRA	
Peso total seco (gr) =	3000
Peso después de lavar (gr) =	2480.2
Perdida por lavado (gr) =	519.8

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75					100.00
1 1/2"	37.5					100.00
3/4"	19	259.2	259.98	8.67	8.67	91.33
3/8"	9.5	415.9	416.68	13.89	22.56	77.44
N° 4	4.75	368.3	369.08	12.30	34.86	65.14
N° 8	2.36	321.6	322.38	10.75	45.61	54.39
N°16	1.1	312	312.78	10.43	56.03	43.97
N°30	0.59	510.3	511.08	17.04	73.07	26.93
N°50	0.297	95.6	96.38	3.21	76.28	23.72
N°100	0.149	107.7	108.48	3.62	79.90	20.10
N°200	0.075	63.2	63.98	2.13	82.03	17.97
Cazuela	-	17.8	18.58	0.62	82.65	17.35
Lavado	-	519.8	520.58	17.35	100.00	
TOTAL		2991.4	3000.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

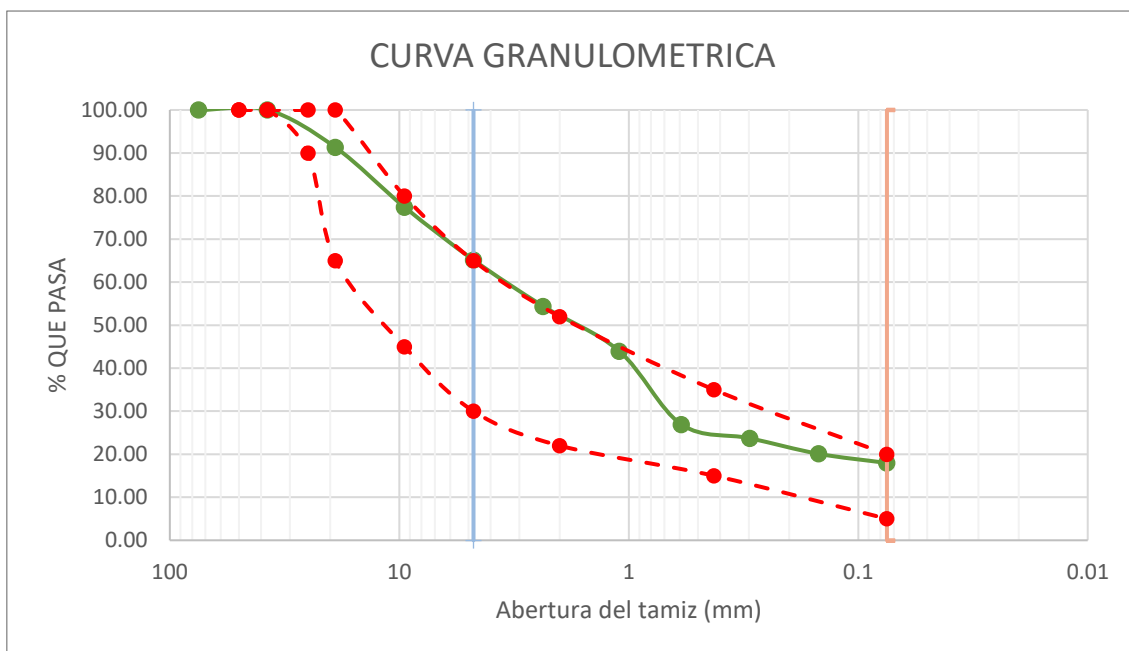


Ilustración 57: Curva granulométrica de la calicata C3



Tabla 21: Análisis granulométrico C4

GRANULOMETRÍA C4

PESO DE LA MUESTRA	
Peso total seco (gr) =	3000
Peso después de lavar (gr) =	2644.3
Perdida por lavado (gr) =	355.7

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75					100.00
1 1/2"	37.5					100.00
3/4"	19	79.27	80.07	2.67	2.67	97.33
3/8"	9.5	489.7	490.50	16.35	19.02	80.98
N° 4	4.75	321.4	322.20	10.74	29.76	70.24
N° 8	2.36	208.4	209.20	6.97	36.73	63.27
N°16	1.1	191.4	192.20	6.41	43.14	56.86
N°30	0.59	161.7	162.50	5.42	48.56	51.44
N°50	0.297	264.7	265.50	8.85	57.41	42.59
N°100	0.149	339.9	340.70	11.36	68.76	31.24
N°200	0.075	295.9	296.70	9.89	78.65	21.35
Cazuela	-	105.6	106.40	3.55	82.20	17.80
Lavado	-	533.23	534.03	17.80	100.00	
TOTAL		2991.2	3000.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

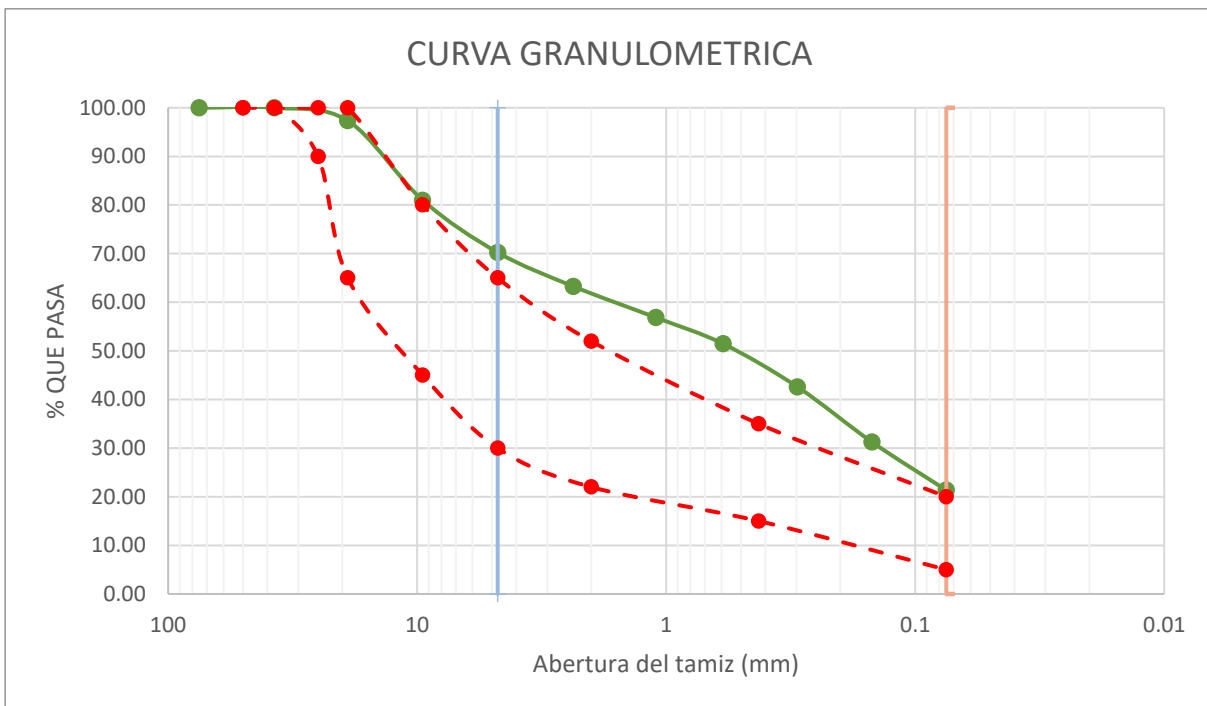


Ilustración 58: Curva granulométrica C4



Tabla 22: Análisis granulométrico C5

GRANULOMETRÍA C5

PESO DE LA MUESTRA	
Peso total seco (gr) =	3000
Peso después de lavar (gr) =	2404.7
Perdida por lavado (gr) =	595.3

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75					100.00
1 1/2"	37.5					100.00
3/4"	19	264.6	265.27	8.84	5.51	94.49
3/8"	9.5	253.3	253.97	8.47	13.98	86.03
N° 4	4.75	267.4	268.07	8.94	22.91	77.09
N° 8	2.36	314.4	315.07	10.50	33.41	66.59
N°16	1.1	310.7	311.37	10.38	43.79	56.21
N°30	0.59	292.9	293.57	9.79	53.58	46.42
N°50	0.297	334.8	335.47	11.18	64.76	35.24
N°100	0.149	158.5	159.17	5.31	70.07	29.93
N°200	0.075	125.2	125.87	4.20	74.26	25.74
Cazuela	-	75.5	76.17	2.54	76.80	23.20
Lavado	-	595.3	595.97	19.87	96.67	
TOTAL		2992.6	3000.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

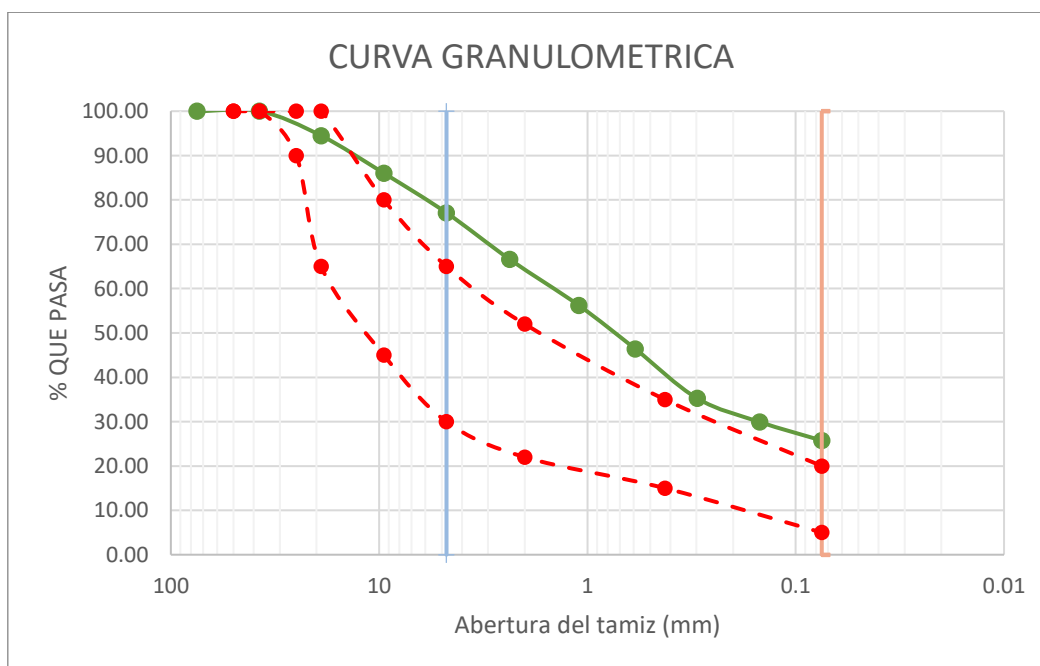


Ilustración 59: Curva granulométrica C5



Tabla 23: Análisis granulométrico C6

GRANULOMETRÍA C6

PESO DE LA MUESTRA	
Peso total seco (gr) =	3000
Peso después de lavar (gr) =	2462.1
Perdida por lavado (gr) =	537.9

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75					100.00
1 1/2"	37.5					100.00
3/4"	19	24.7	25.35	0.84	0.84	99.16
3/8"	9.5	418.1	418.75	13.96	14.80	85.20
N° 4	4.75	384	384.65	12.82	27.62	72.38
N° 8	2.36	361.2	361.85	12.06	39.68	60.32
N°16	1.1	512.4	513.05	17.10	56.78	43.22
N°30	0.59	257	257.65	8.59	65.37	34.63
N°50	0.297	207.2	207.85	6.93	72.30	27.70
N°100	0.149	188.2	188.85	6.29	78.59	21.41
N°200	0.075	101	101.65	3.39	81.98	18.02
Cazuela	-	101.2	101.85	3.39	85.38	14.62
Lavado	-	437.9	438.55	14.62	100.00	
TOTAL		2992.9	3000.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

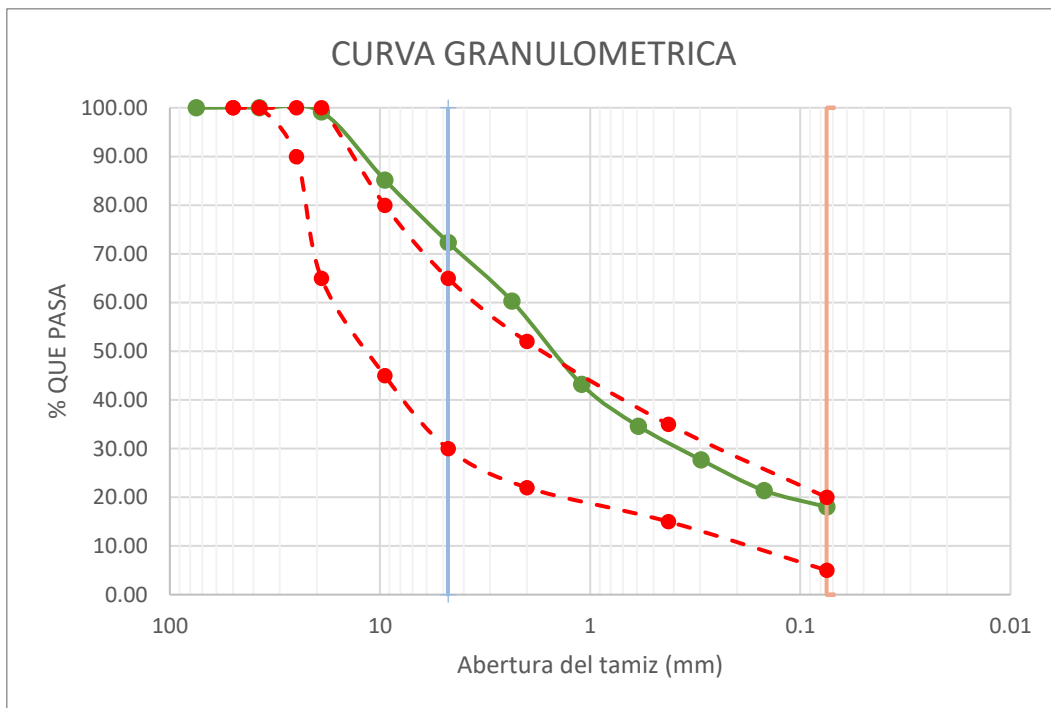


Ilustración 60: Curva Granulométrica C6



d) Análisis de prueba

Se puede observar que al procesar los datos, las curvas granulométricas de las calicatas C1, C4 y C5 poseen similar granulometría, a diferencia de las calicatas C2, C3 y C6 que entre ellas posee una similar curva granulométrica.

También se puede observar que en todas las calicatas se tiene una gran cantidad de arenas y finos.

En nuestro caso, en todos los casos de granulometría no presentan el coeficiente de uniformidad (Cu) ni coeficiente de curvatura (Cc), ya que más del 14.62% pasa por el tamiz N° 200.

3.5.2.3. Análisis de datos obtenidos en el ensayo de Límites de Atterberg

• Límite líquido

a) Procesamiento

Se calcula el porcentaje de contenido de humedad de cada muestra con la siguiente formula:

$$W = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso de muestra seca}} * 100$$

Con los datos obtenidos en laboratorio procede a realizar una gráfica con los números de golpes y los contenidos de humedad obtenidos, y así poder determinar el contenido de humedad a los 25 golpes. En la recta de las abscisas se ubica el número de golpes que se dio con la cuchara de Casa Grande, y en la recta de las ordenadas se ubica los contenidos de humedad. Se utilizó la opción de realizar una línea de tendencia que pase lo más cerca posible de los puntos obtenidos.

Se toma el contenido de humedad que corresponde a la intersección de la recta con la ordenada de 25 golpes, y este será el límite líquido, el cual se aproxima a un número entero.

b) Diagramas y tablas

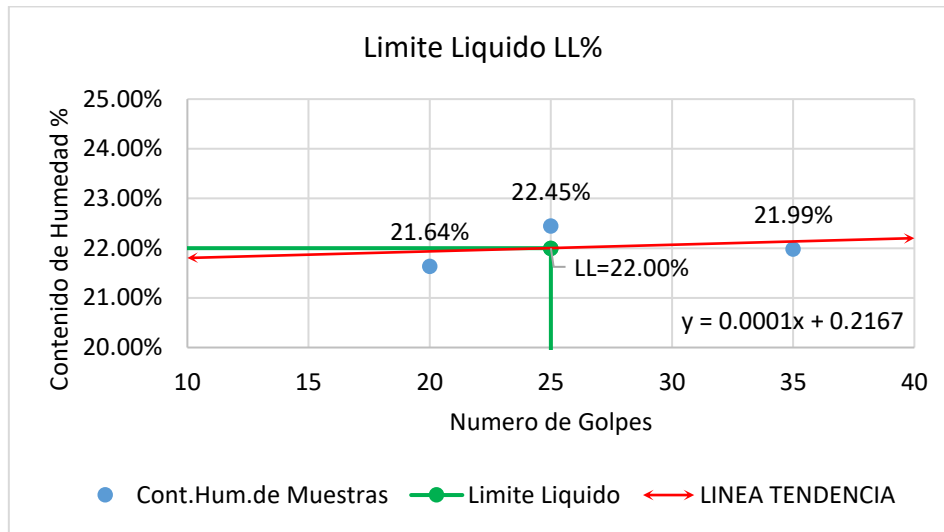
Tabla 24: Análisis de datos de límite líquido C1 suelo natural

Calicata C1			
Suelo Natural			
Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	20	25	35
Peso de Capsula (gr)	15.7	15.8	15.9
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	36.5	33.8	33.1
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	32.8	30.5	30
Peso del Agua (gr)	3.7	3.3	3.1
Peso de la Muestra Seca (gr)	17.1	14.7	14.1
Contenido de humedad (W)	21.64%	22.45%	21.99%

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 61: Gráfico límite líquido C1 Suelo Natural



Fuente: Elaboración propia

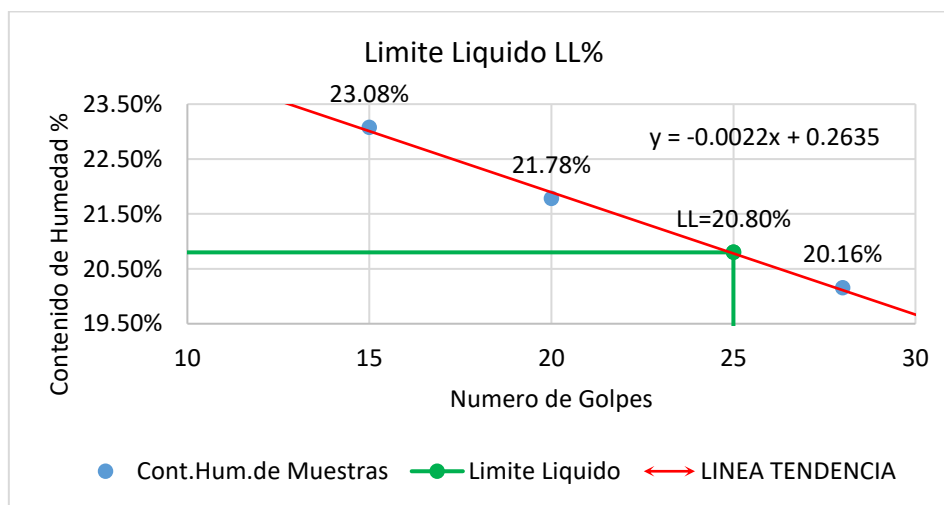
Tabla 25: Análisis de daos de límite líquido C1 adicionado con yeso hidráulico 1%

Suelo 100% YH 1%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	15	20	28
Peso de Capsula (gr)	49.2	15.9	16
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	62	28.2	31.5
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	59.6	26	28.9
Peso del Agua (gr)	2.4	2.2	2.6
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.4	10.1	12.9
Contenido de humedad (W)	23.08%	21.78%	20.16%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 62: Gráfico límite líquido C1 adicionado con Yeso Hidráulico 1%



Fuente: Elaboración propia



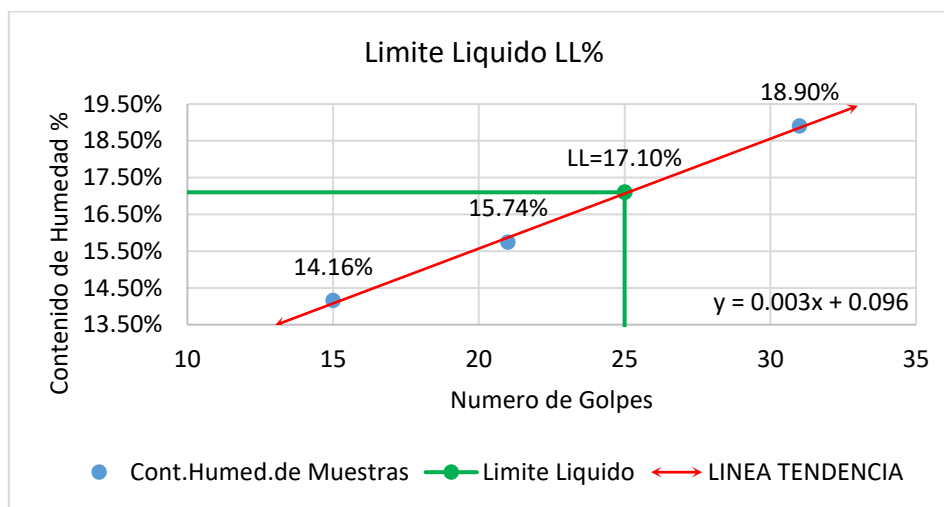
Tabla 26: Análisis de daos de límite líquido C1 adicionado con yeso hidráulico 2%

Suelo 100% YH 2%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	31	21	15
Peso de Capsula (gr)	16	15.8	16
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	35.5	28.3	28.9
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	32.4	26.6	27.3
Peso del Agua (gr)	3.1	1.7	1.6
Peso de la Muestra Seca (gr)	16.4	10.8	11.3
Contenido de humedad (W)	18.90%	15.74%	14.16%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 63: Gráfico límite líquido C1 adicionado con Yeso Hidráulico 2%



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Análisis de daos de límite líquido C1 adicionado con yeso hidráulico 3%

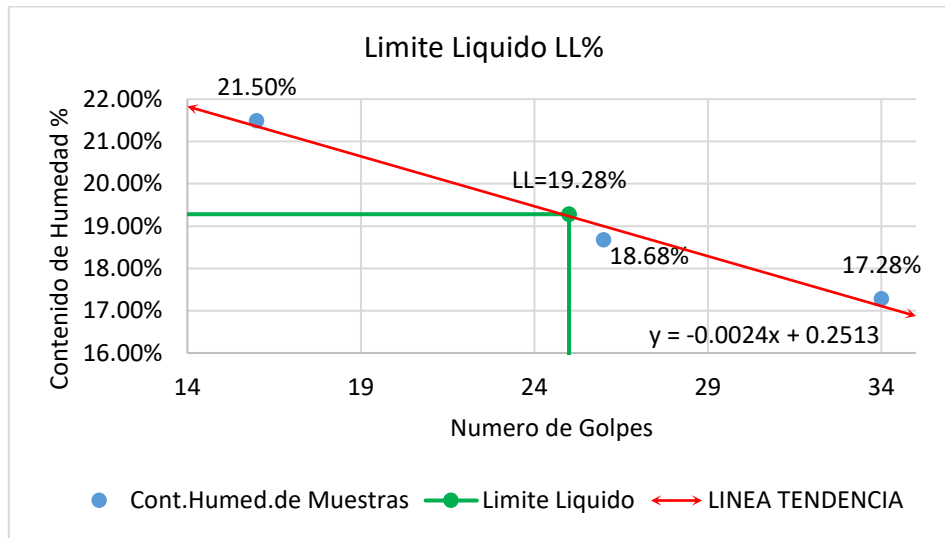
Suelo 100% YH 3%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	16	26	34
Peso de Capsula (gr)	16	16	15.9
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	29	26.8	25.4
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	26.7	25.1	24
Peso del Agua (gr)	2.3	1.7	1.4
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.7	9.1	8.1
Contenido de humedad (W)	21.50%	18.68%	17.28%

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 64: Gráfico límite líquido C1 adicionado con Yeso Hidráulico 2%



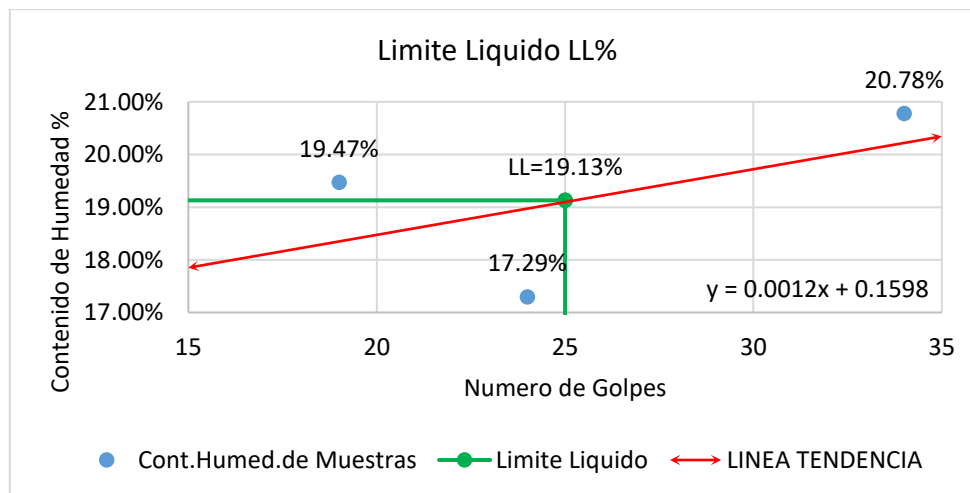
Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Análisis de daos de límite líquido C2 suelo natural

Calicata C2			
Suelo Natural			
Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	24	19	34
Peso de Capsula (gr)	15.7	15.8	15.9
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	31.3	29.3	25.2
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	29	27.1	23.6
Peso del Agua (gr)	2.3	2.2	1.6
Peso de la Muestra Seca (gr)	13.3	11.3	7.7
Contenido de humedad (W)	17.29%	19.47%	20.78%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 65: Gráfico límite líquido C2 Suelo Natural



Fuente: Elaboración propia



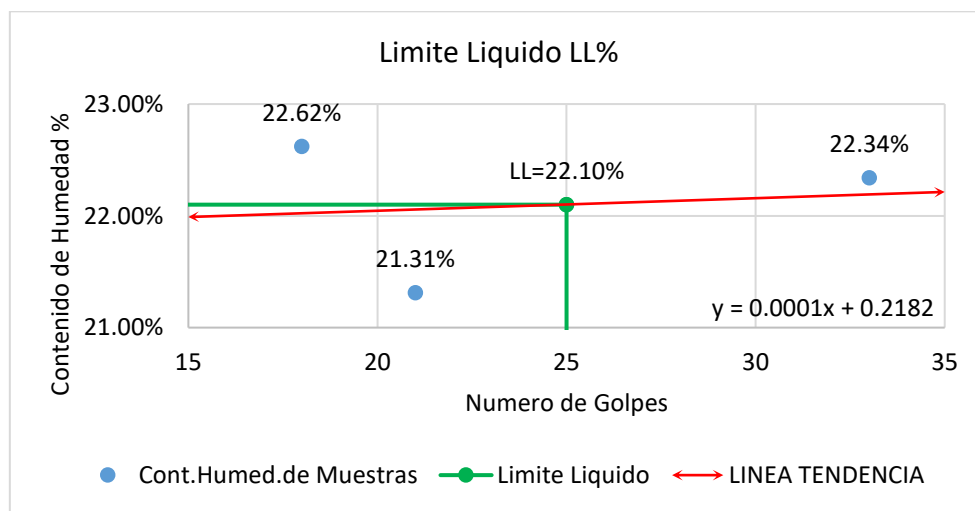
Tabla 29: Análisis de daos de límite líquido C2 adicionado con yeso hidráulico 1%

Suelo 100% YH 1%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	21	33	18
Peso de Capsula (gr)	48.5	50.1	51.2
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	63.3	61.6	61.5
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	60.7	59.5	59.6
Peso del Agua (gr)	2.6	2.1	1.9
Peso de la Muestra Seca (gr)	12.2	9.4	8.4
Contenido de humedad (W)	21.31%	22.34%	22.62%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 66: Gráfico límite líquido C2 adicionado con Yeso Hidráulico 1%



Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Análisis de daos de límite líquido C2 adicionado con yeso hidráulico 2%

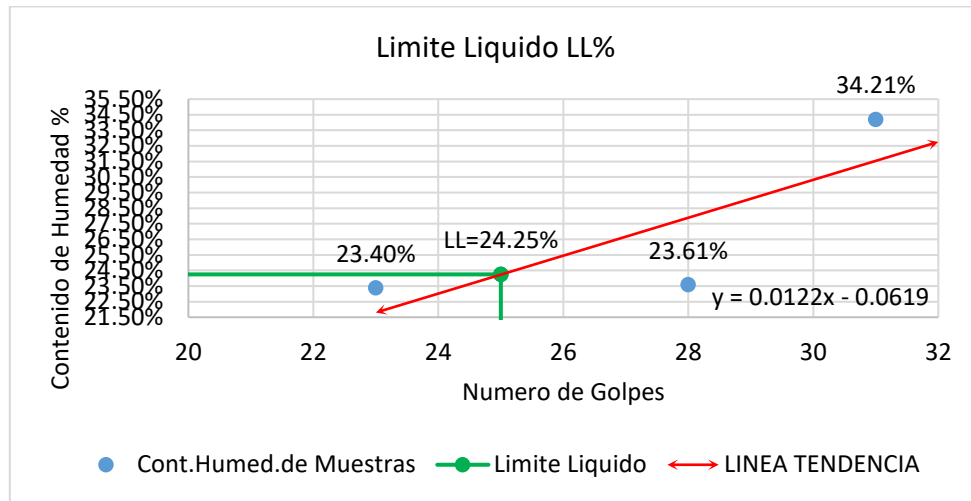
Suelo 100% YH 2%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	23	28	31
Peso de Capsula (gr)	49.8	49.6	49.3
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	61.4	58.5	59.5
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	59.2	56.8	56.9
Peso del Agua (gr)	2.2	1.7	2.6
Peso de la Muestra Seca (gr)	9.4	7.2	7.6
Contenido de humedad (W)	23.40%	23.61%	34.21%

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 67: Gráfico límite líquido C2 adicionado con Yeso Hidráulico 2%



Fuente: Elaboración propia

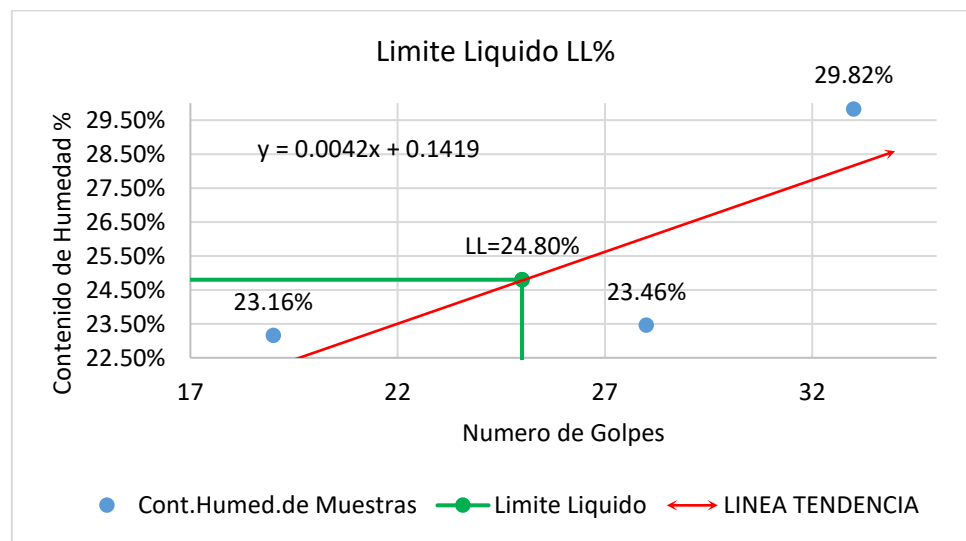
Tabla 31: Análisis de datos de límite líquido C2 adicionado con yeso hidráulico 3%

Suelo 100% YH 3%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	28	33	19
Peso de Capsula (gr)	49.8	49.6	49.3
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	59.8	57	61
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	57.9	55.3	58.8
Peso del Agua (gr)	1.9	1.7	2.2
Peso de la Muestra Seca (gr)	8.1	5.7	9.5
Contenido de humedad (W)	23.46%	29.82%	23.16%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 68: Gráfico límite líquido C2 adicionado con Yeso Hidráulico 3%



Fuente: Elaboración propia

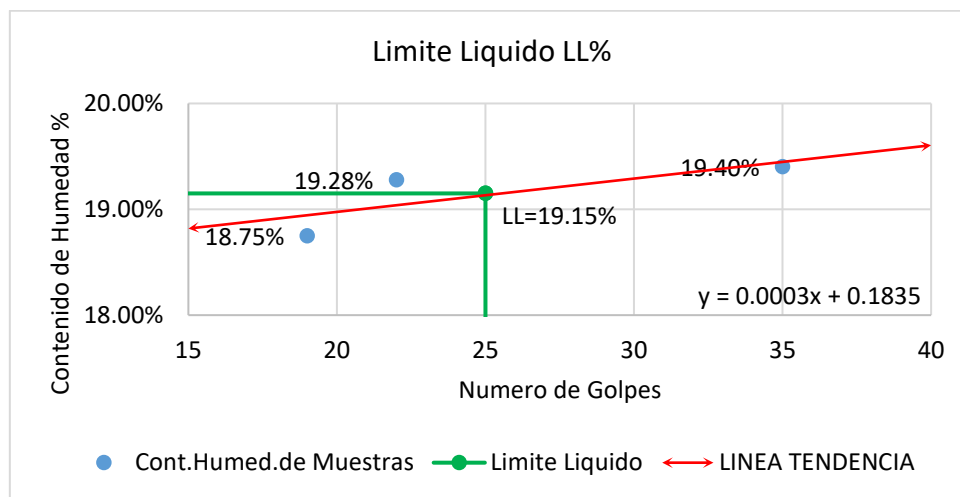


Tabla 32: Análisis de daos de límite líquido C3 Suelo Natural

Calicata C3			
Suelo Natural			
Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	19	22	35
Peso de Capsula (gr)	16	16.1	15.8
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	27.4	26	23.8
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	25.6	24.4	22.5
Peso del Agua (gr)	1.8	1.6	1.3
Peso de la Muestra Seca (gr)	9.6	8.3	6.7
Contenido de humedad (W)	18.75%	19.28%	19.40%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 69: Gráfico límite líquido C3 Suelo Natural



Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Análisis de daos de límite líquido C3 adicionado con yeso hidráulico 1%

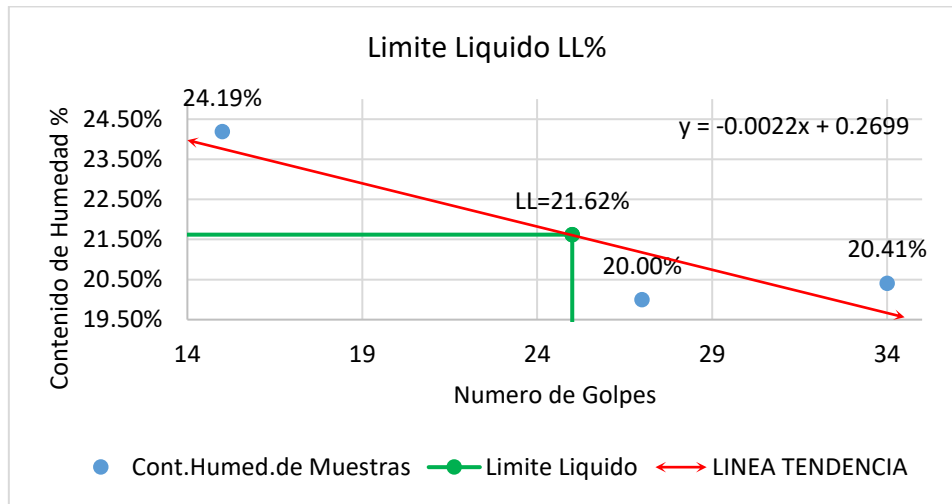
Suelo 100% YH 1%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	34	27	15
Peso de Capsula (gr)	15.9	15.8	16.1
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	21.8	20.6	23.8
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	20.8	19.8	22.3
Peso del Agua (gr)	1	0.8	1.5
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.9	4	6.2
Contenido de humedad (W)	20.41%	20.00%	24.19%

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 70: Gráfico límite líquido C3 adicionado con Yeso Hidráulico 1%



Fuente: Elaboración propia

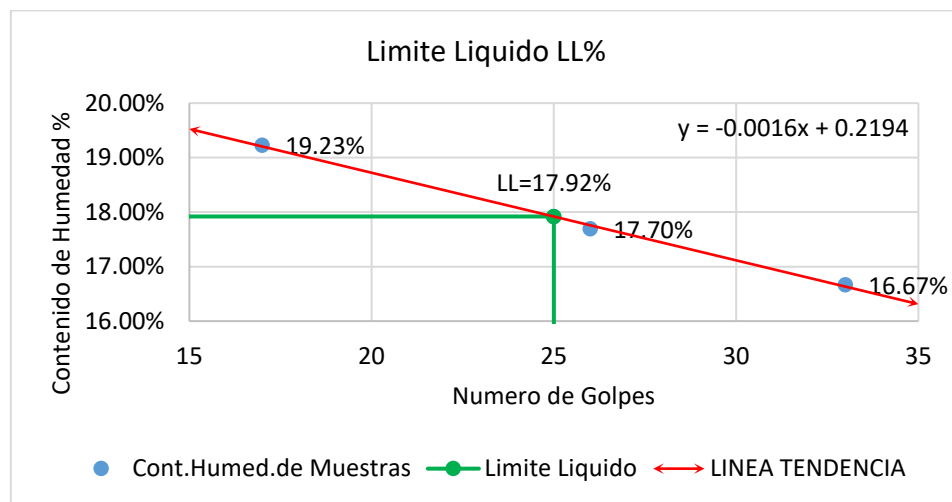
Tabla 34: Análisis de datos de límite líquido C3 adicionado con yeso hidráulico 2%

Suelo 100% YH 2%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	17	26	33
Peso de Capsula (gr)	49.7	49.8	48.2
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	62.1	63.1	58
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	60.1	61.1	56.6
Peso del Agua (gr)	2	2	1.4
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.4	11.3	8.4
Contenido de humedad (W)	19.23%	17.70%	16.67%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 71: Gráfico límite líquido C3 adicionado con Yeso Hidráulico 2%



Fuente: Elaboración propia



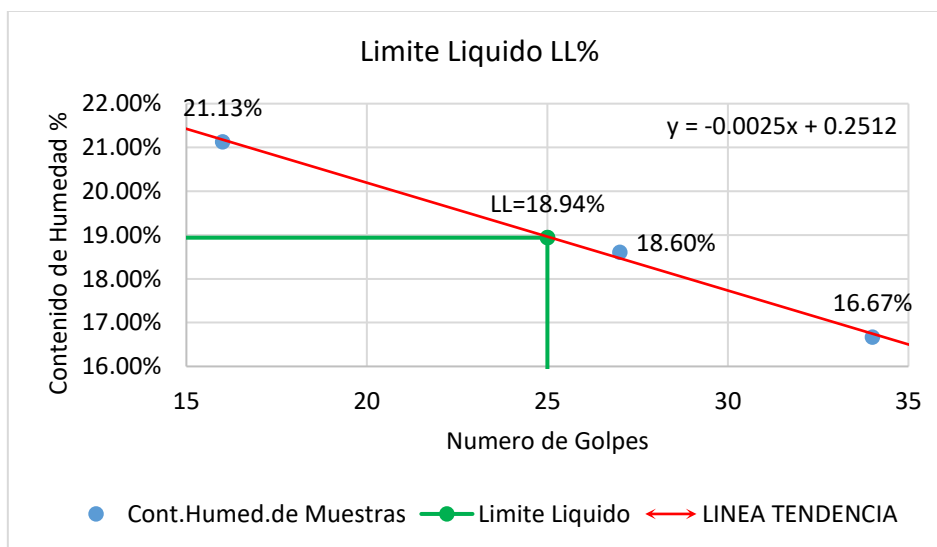
Tabla 35: Análisis de daos de límite líquido C3 adicionado con yeso hidráulico 3%

Suelo 100% YH 3%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	27	16	34
Peso de Capsula (gr)	50.6	49.6	49.2
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	60.8	58.2	63.9
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	59.2	56.7	61.8
Peso del Agua (gr)	1.6	1.5	2.1
Peso de la Muestra Seca (gr)	8.6	7.1	12.6
Contenido de humedad (W)	18.60%	21.13%	16.67%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 72: Gráfico límite líquido C3 adicionado con Yeso Hidráulico 3%



Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Análisis de daos de limite liquido C4 Suelo Natural

Calicata C4

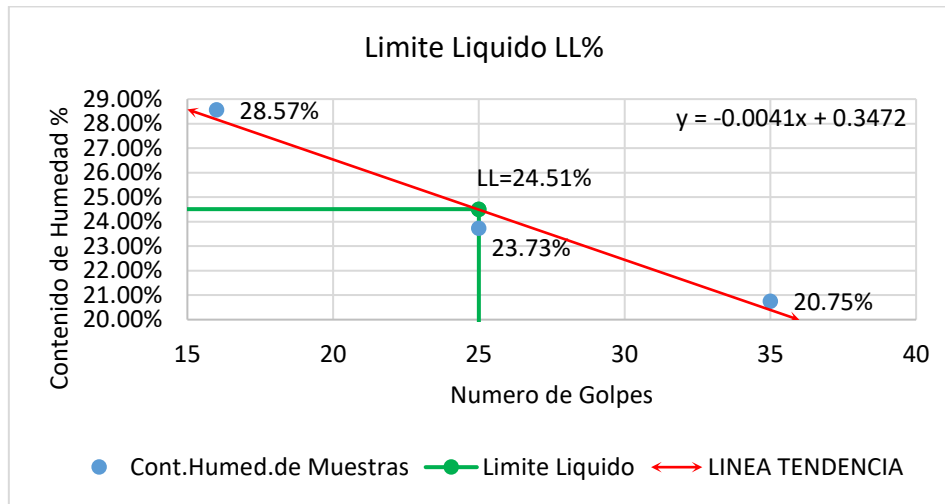
Suelo Natural

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	16	25	35
Peso de Capsula (gr)	16.3	16.5	16.1
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	28	31.1	28.9
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	25.4	28.3	26.7
Peso del Agua (gr)	2.6	2.8	2.2
Peso de la Muestra Seca (gr)	9.1	11.8	10.6
Contenido de humedad (W)	28.57%	23.73%	20.75%

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 73: Gráfico límite líquido C4 adicionado Suelo Natural



Fuente: Elaboración propia

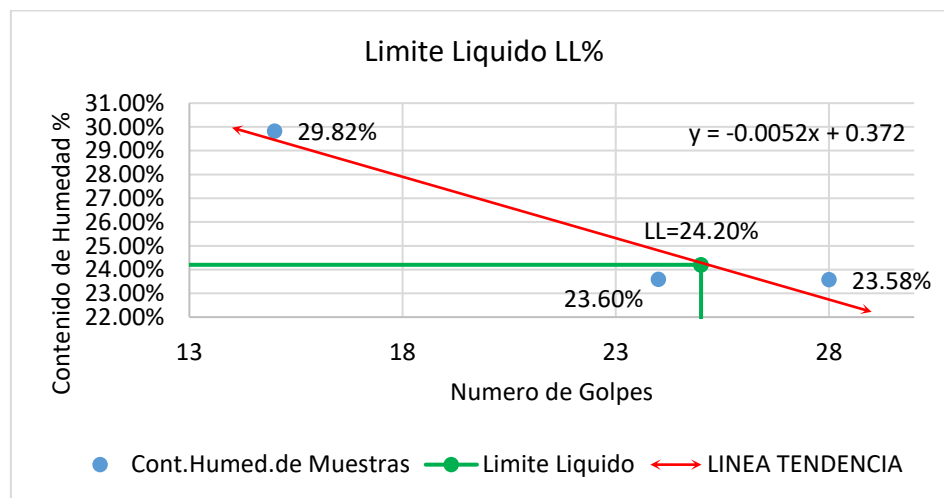
Tabla 37: Análisis de datos de límite líquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 2%

Suelo 100% YH 1%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	15	24	28
Peso de Capsula (gr)	16.2	16.4	16.5
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	23.6	27.4	31.7
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	21.9	25.3	28.8
Peso del Agua (gr)	1.7	2.1	2.9
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.7	8.9	12.3
Contenido de humedad (W)	29.82%	23.60%	23.58%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 74: Gráfico límite líquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 1%



Fuente: Elaboración propia



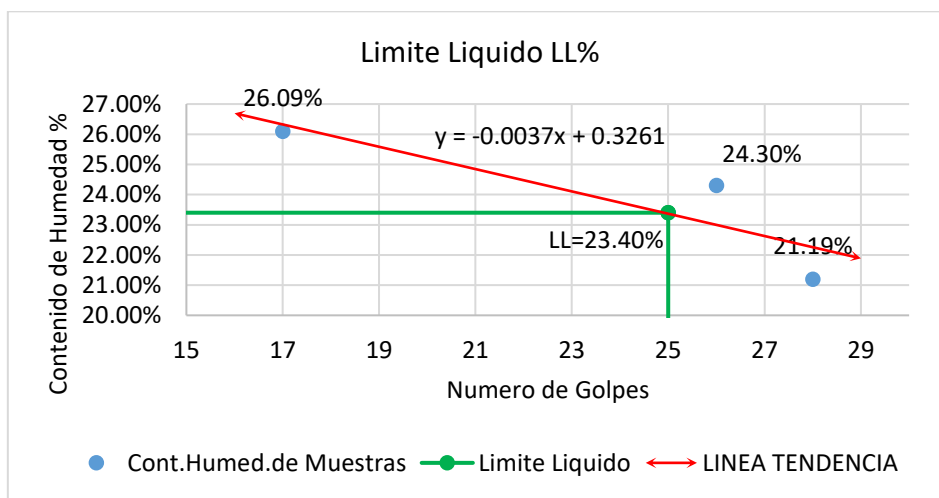
Tabla 38: Análisis de daos de limite liquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 2%

Suelo 100% YH 2%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	17	26	28
Peso de Capsula (gr)	16	15.9	16
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	24.7	29.2	34.3
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	22.9	26.6	31.1
Peso del Agua (gr)	1.8	2.6	3.2
Peso de la Muestra Seca (gr)	6.9	10.7	15.1
Contenido de humedad (W)	26.09%	24.30%	21.19%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 75: Gráfico límite líquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 2%



Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Análisis de daos de limite liquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 3%

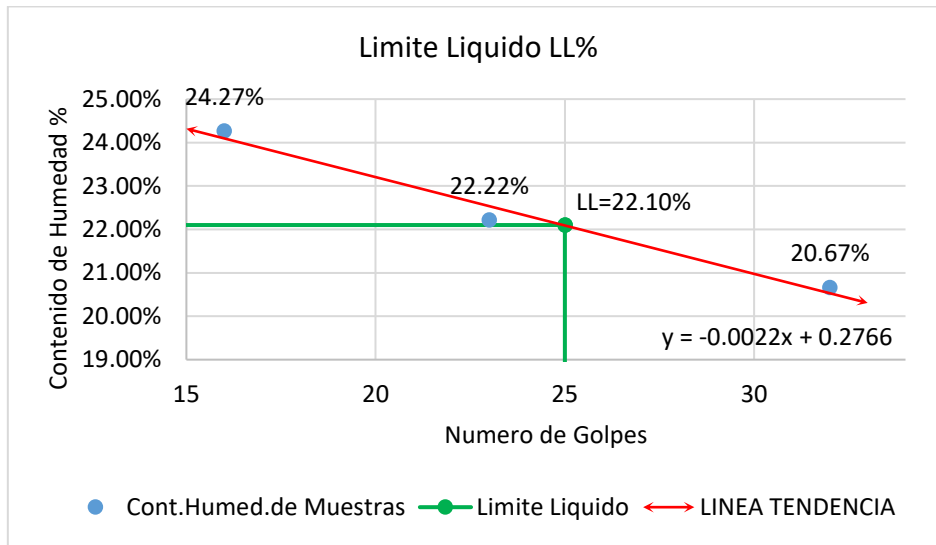
Suelo 100% YH 3%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	16	23	32
Peso de Capsula (gr)	15.9	16.7	16.6
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	28.7	31	34.7
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	26.2	28.4	31.6
Peso del Agua (gr)	2.5	2.6	3.1
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.3	11.7	15
Contenido de humedad (W)	24.27%	22.22%	20.67%

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 76: Gráfico límite líquido C4 adicionado con Yeso Hidráulico 3%



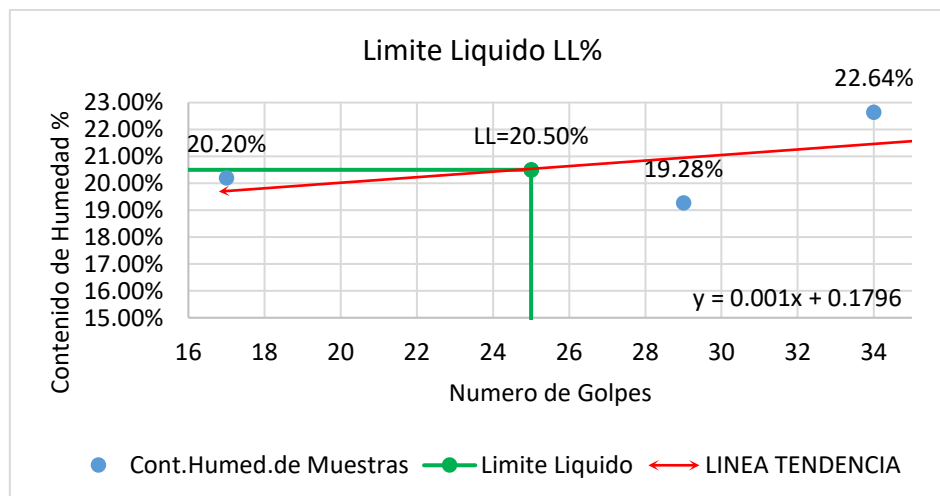
Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Análisis de datos de límite líquido C5 Suelo Natural

Calicata C5			
Suelo Natural			
Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	17	29	34
Peso de Capsula (gr)	36.9	36.8	37.1
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	48.8	46.7	50.1
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	46.8	45.1	47.7
Peso del Agua (gr)	2	1.6	2.4
Peso de la Muestra Seca (gr)	9.9	8.3	10.6
Contenido de humedad (W)	20.20%	19.28%	22.64%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 77: Gráfico límite líquido C5 Suelo Natural



Fuente: Elaboración propia



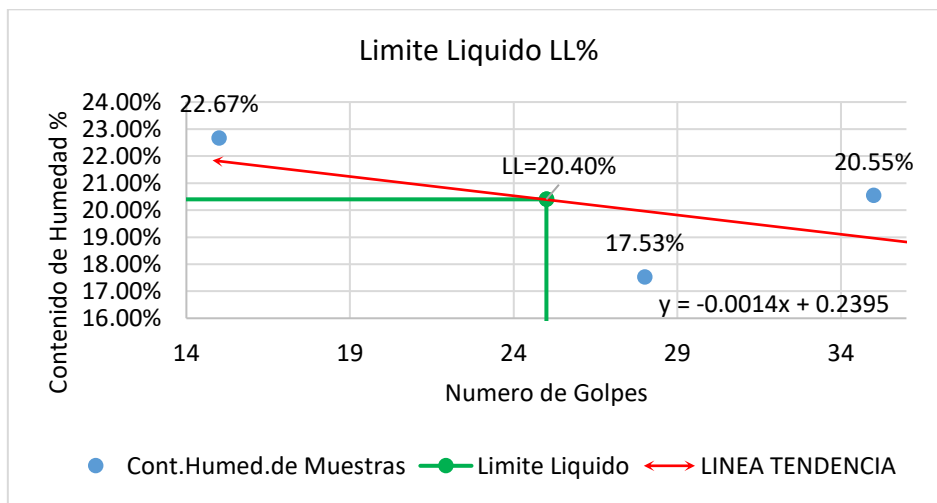
Tabla 41: Análisis de daos de limite liquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 1%

Suelo 100% YH 1%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	15	28	35
Peso de Capsula (gr)	49.5	36.7	16
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	58.7	48.1	24.8
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	57	46.4	23.3
Peso del Agua (gr)	1.7	1.7	1.5
Peso de la Muestra Seca (gr)	7.5	9.7	7.3
Contenido de humedad (W)	22.67%	17.53%	20.55%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 78: Gráfico limite liquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 1%



Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Análisis de daos de limite liquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 2%

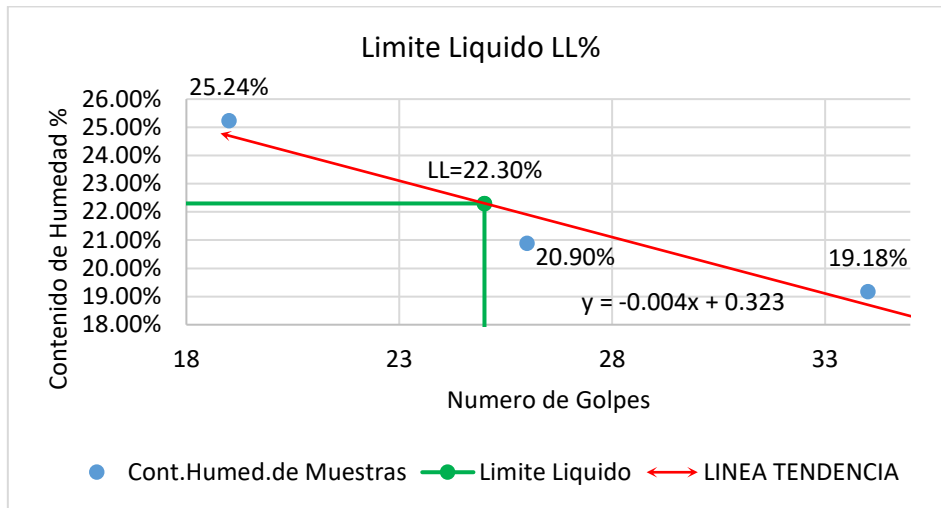
Suelo 100% YH 2%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	34	26	19
Peso de Capsula (gr)	49.8	49.7	48.8
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	58.5	57.8	61.7
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	57.1	56.4	59.1
Peso del Agua (gr)	1.4	1.4	2.6
Peso de la Muestra Seca (gr)	7.3	6.7	10.3
Contenido de humedad (W)	19.18%	20.90%	25.24%

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 79: Gráfico límite líquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 2%



Fuente: Elaboración propia

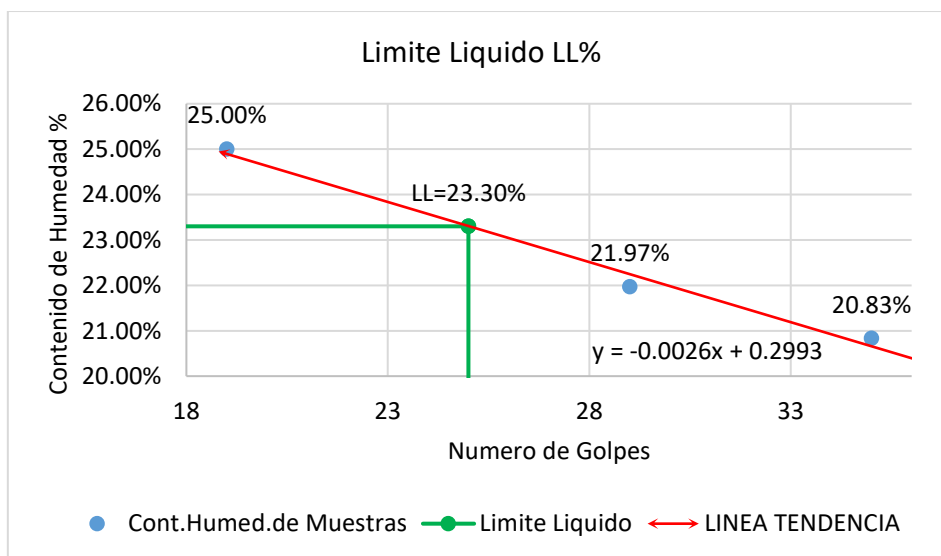
Tabla 43: Análisis de daos de limite liquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 3%

Suelo 100% YH 3%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	35	29	19
Peso de Capsula (gr)	50.6	49.7	49.2
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	65.1	65.8	60.2
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	62.6	62.9	58
Peso del Agua (gr)	2.5	2.9	2.2
Peso de la Muestra Seca (gr)	12	13.2	8.8
Contenido de humedad (W)	20.83%	21.97%	25.00%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 80: Gráfico límite líquido C5 adicionado con Yeso Hidráulico 3%



Fuente: Elaboración propia

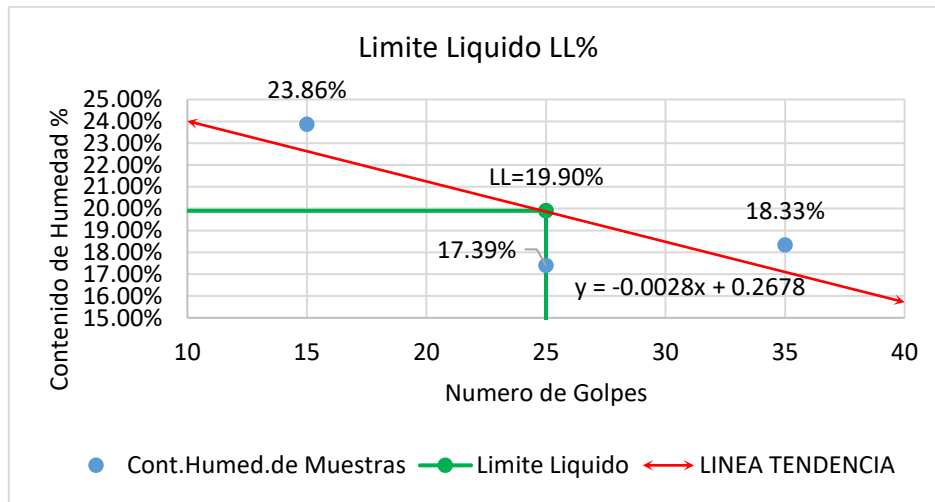


Tabla 44: Análisis de daos de limite liquido C6 Suelo Natural

Calicata C6			
Suelo Natural			
Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	25	15	35
Peso de Capsula (gr)	16	16.3	15.7
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	32.2	27.2	29.9
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	29.8	25.1	27.7
Peso del Agua (gr)	2.4	2.1	2.2
Peso de la Muestra Seca (gr)	13.8	8.8	12
Contenido de humedad (W)	17.39%	23.86%	18.33%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 81: Gráfico límite líquido C6 Suelo Natural



Fuente: Elaboración propia

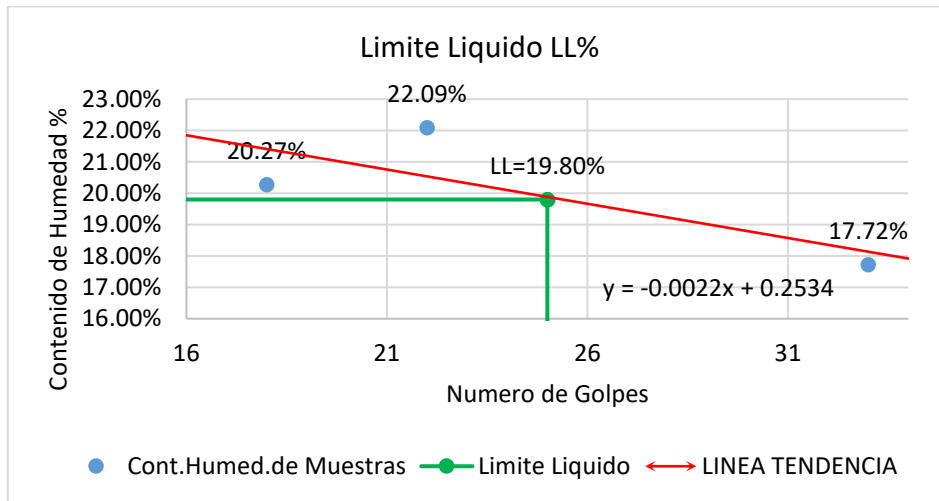
Tabla 45: Análisis de daos de limite liquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 1%

Suelo100% YH 1%			
Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	33	18	22
Peso de Capsula (gr)	15.8	15.8	16.1
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	25.1	24.7	26.6
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	23.7	23.2	24.7
Peso del Agua (gr)	1.4	1.5	1.9
Peso de la Muestra Seca (gr)	7.9	7.4	8.6
Contenido de humedad (W)	17.72%	20.27%	22.09%

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 82: Gráfico límite líquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 1%



Fuente: Elaboración propia

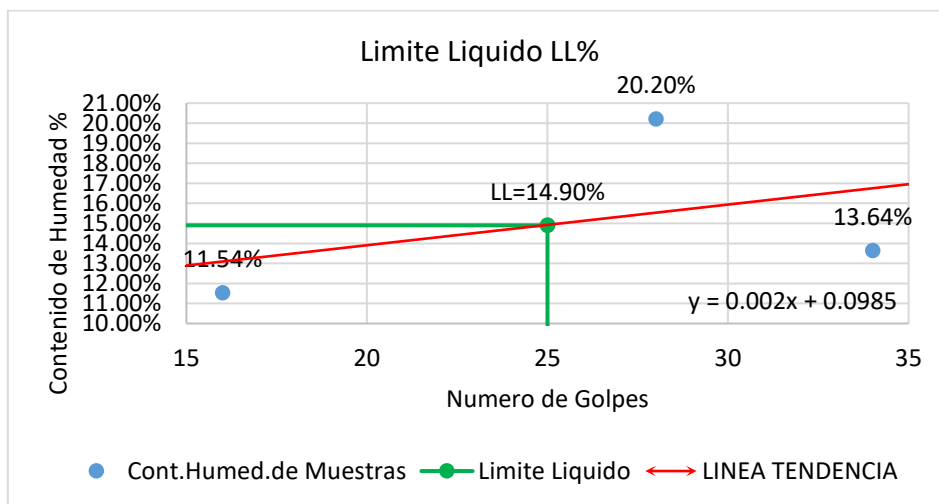
Tabla 46: Análisis de datos de límite líquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 2%

Suelo 100% YH 2%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	28	16	34
Peso de Capsula (gr)	16	15.9	16.1
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	27.9	30.4	28.6
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	25.9	28.9	27.1
Peso del Agua (gr)	2	1.5	1.5
Peso de la Muestra Seca (gr)	9.9	13	11
Contenido de humedad (W)	20.20%	11.54%	13.64%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 83: Gráfico límite líquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 2%



Fuente: Elaboración propia



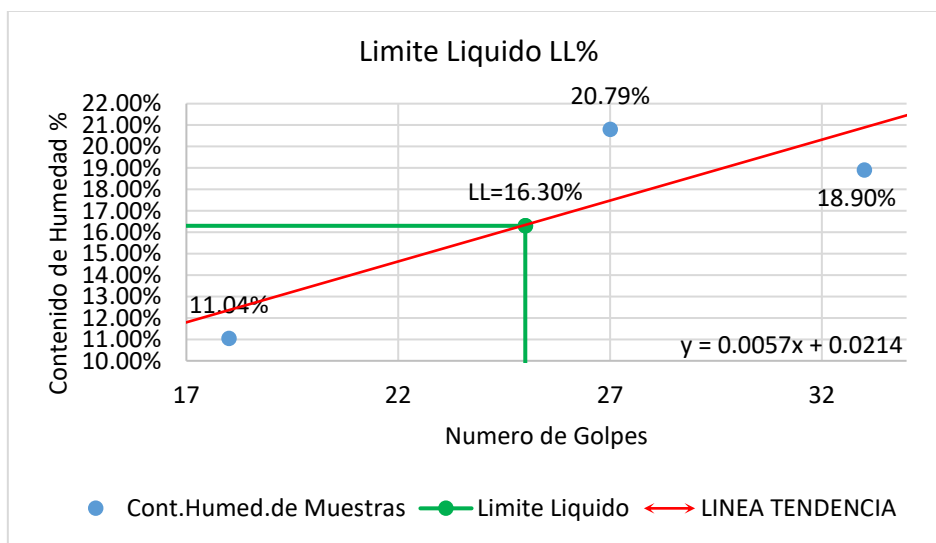
Tabla 47: Análisis de daos de limite liquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 3%

Suelo 100% YH 3%

Descripción	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	33	27	18
Peso de Capsula (gr)	15.8	16.7	16.3
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	30.9	28.9	33.4
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	28.5	26.8	31.7
Peso del Agua (gr)	2.4	2.1	1.7
Peso de la Muestra Seca (gr)	12.7	10.1	15.4
Contenido de humedad (W)	18.90%	20.79%	11.04%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 84: Gráfico limite líquido C6 adicionado con Yeso Hidráulico 3%



Fuente: Elaboración propia

c) Análisis de prueba

Se obtuvo que las calicatas C2, C3, C5, y C6 tienen un límite líquido con valores que se consideran bajos. Caso contrario pasa con las calicatas C1 y C4 que tienen un límite líquido alto.

Al momento de adicionar el aditivo de Yeso Hidráulico las calicatas C1, C3, C4 y C6 disminuyen su límite líquido, en cambio las calicatas C2 y C5 aumentan su límite líquido.

- **Límite plástico**

a) Procesamiento

Se procesa los datos de igual manera que el ensayo de determinación de contenido de humedad, luego se determina el promedio de contenido de humedad de las dos muestras, y este dicho promedio es el límite plástico.



b) Diagramas y tablas

Tabla 48: Análisis de datos de límite plástico de CI Suelo Natural

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	21.80	22.4
Suelo Seco + Recipiente (gr)	21.21	21.2525
Recipiente Metálico (gr)	15.50	15.8
Peso suelo seco (gr)	5.7136	5.4525
Peso Agua (gr)	0.5864	1.1475
Contenido de humedad %	10.26	21.05
Límite Plástico	15.65	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Análisis de datos de límite plástico de CI adicionado con Yeso Hidráulico 1%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	22.20	21.6
Suelo Seco + Recipiente (gr)	21.10	20.7
Recipiente Metálico (gr)	16.00	15.9
Peso suelo seco (gr)	5.1	4.8
Peso Agua (gr)	1.1	0.9
Contenido de humedad %	21.57	18.75
Límite Plástico	20.16	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Análisis de datos de límite plástico de CI adicionado con Yeso Hidráulico 2%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	21.70	23.1
Suelo Seco + Recipiente (gr)	20.70	21.9
Recipiente Metálico (gr)	16.00	16.3
Peso suelo seco (gr)	4.7	5.6
Peso Agua (gr)	1	1.2
Contenido de humedad %	21.28	21.43
Límite Plástico	21.35	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51: Análisis de datos de límite plástico de CI adicionado con Yeso Hidráulico 3%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	21.40	21.1
Suelo Seco + Recipiente (gr)	20.60	20.4
Recipiente Metálico (gr)	15.90	16.8
Peso suelo seco (gr)	4.7	3.6
Peso Agua (gr)	0.8	0.7
Contenido de humedad %	17.02	19.44
Límite Plástico	18.23	

Fuente: Elaboración propia



Tabla 52: Análisis de datos de límite plástico de C2 Suelo Natural

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	22.40	26.2
Suelo Seco + Recipiente (gr)	21.60	24.9
Recipiente Metálico (gr)	15.50	15.8
Peso suelo seco (gr)	6.1	9.1
Peso Agua (gr)	0.8	1.3
Contenido de humedad %	13.11	14.29
Límite Plástico	13.70	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53: Análisis de datos de límite plástico de C2 adicionado con Yeso Hidráulico 1%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	19.00	20.3
Suelo Seco + Recipiente (gr)	18.40	19.6
Recipiente Metálico (gr)	16.00	15.9
Peso suelo seco (gr)	2.4	3.7
Peso Agua (gr)	0.6	0.7
Contenido de humedad %	25.00	18.92
Límite Plástico	21.96	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54: Análisis de datos de límite plástico de C2 adicionado con Yeso Hidráulico 2%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	20.60	20.3
Suelo Seco + Recipiente (gr)	19.90	19.9
Recipiente Metálico (gr)	16.00	16.3
Peso suelo seco (gr)	3.9	3.6
Peso Agua (gr)	0.7	0.4
Contenido de humedad %	17.95	11.11
Límite Plástico	14.53	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55: Análisis de datos de límite plástico de C2 adicionado con Yeso Hidráulico 3%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	19.20	23.3
Suelo Seco + Recipiente (gr)	18.50	22.3
Recipiente Metálico (gr)	15.90	16.8
Peso suelo seco (gr)	2.6	5.5
Peso Agua (gr)	0.7	1
Contenido de humedad %	26.92	18.18
Límite Plástico	22.55	

Fuente: Elaboración propia



Tabla 56: Análisis de datos de límite plástico de C3 Suelo Natural

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	22.80	22.7
Suelo Seco + Recipiente (gr)	22.04	21.91
Recipiente Metálico (gr)	15.90	16
Peso suelo seco (gr)	6.14	5.91
Peso Agua (gr)	0.76	0.79
Contenido de humedad %	12.38	13.37
Límite Plástico	12.87	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57: Análisis de datos de límite plástico de C3 adicionado con Yeso Hidráulico 1%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	23.00	20.3
Suelo Seco + Recipiente (gr)	22.00	19.8
Recipiente Metálico (gr)	16.00	15.8
Peso suelo seco (gr)	6	4
Peso Agua (gr)	1	0.5
Contenido de humedad %	16.67	12.50
Límite plástico	14.58	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58: Análisis de datos de límite plástico de C3 adicionado con Yeso Hidráulico 2%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	52.90	54.3
Suelo Seco + Recipiente (gr)	52.30	53.7
Recipiente Metálico (gr)	49.00	49.5
Peso suelo seco (gr)	3.3	4.2
Peso Agua (gr)	0.6	0.6
Contenido de humedad %	18.18	14.29
Límite plástico	16.23	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59: Análisis de datos de límite plástico de C3 adicionado con Yeso Hidráulico 3%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	50.70	21.5
Suelo Seco + Recipiente (gr)	50.40	20.7
Recipiente Metálico (gr)	47.30	15.7
Peso suelo seco (gr)	3.1	5
Peso Agua (gr)	0.3	0.8
Contenido de humedad %	9.68	16.00
Límite plástico	12.84	

Fuente: Elaboración propia



Tabla 60: Análisis de datos de límite plástico de C4 Suelo Natural

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	22.30	22.8
Suelo Seco + Recipiente (gr)	21.49	21.64
Recipiente Metálico (gr)	15.90	15.9
Peso suelo seco (gr)	5.59	5.74
Peso Agua (gr)	0.81	1.16
Contenido de humedad %	14.49	20.21
Límite plástico	17.35	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61: Análisis de datos de límite plástico de C4 adicionado con Yeso Hidráulico 1%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	20.50	20.4
Suelo Seco + Recipiente (gr)	19.60	19.7
Recipiente Metálico (gr)	16.00	15.9
Peso suelo seco (gr)	3.6	3.8
Peso Agua (gr)	0.9	0.7
Contenido de humedad %	25.00	18.42
Límite plástico	21.71	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62: Análisis de datos de límite plástico de C4 adicionado con Yeso Hidráulico 2%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	20.10	20.6
Suelo Seco + Recipiente (gr)	19.30	19.7
Recipiente Metálico (gr)	15.70	15.8
Peso suelo seco (gr)	3.6	3.9
Peso Agua (gr)	0.8	0.9
Contenido de humedad %	22.22	23.08
Límite plástico	22.65	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63: Análisis de datos de límite plástico de C4 adicionado con Yeso Hidráulico 3%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	20.80	20.7
Suelo Seco + Recipiente (gr)	19.90	19.9
Recipiente Metálico (gr)	16.00	15.9
Peso suelo seco (gr)	3.9	4
Peso Agua (gr)	0.9	0.8
Contenido de humedad %	23.08	20.00
Límite plástico	21.54	

Fuente: Elaboración propia



Tabla 64: Análisis de datos de límite plástico de C5 Suelo Natural

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	43.20	56.4
Suelo Seco + Recipiente (gr)	42.31	55.3
Recipiente Metálico (gr)	37.10	49.6
Peso suelo seco (gr)	5.2075	5.7
Peso Agua (gr)	0.8925	1.1
Contenido de humedad %	17.14	19.30
Límite plástico	18.22	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65: Análisis de datos de límite plástico de C5 adicionado con Yeso Hidráulico 1%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	42.70	15.1
Suelo Seco + Recipiente (gr)	42.00	14.5
Recipiente Metálico (gr)	37.50	11.5
Peso suelo seco (gr)	4.5	3
Peso Agua (gr)	0.7	0.6
Contenido de humedad %	15.56	20.00
Límite plástico	17.78	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66: Análisis de datos de límite plástico de C5 adicionado con Yeso Hidráulico 2 %

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	52.30	54
Suelo Seco + Recipiente (gr)	51.70	53.3
Recipiente Metálico (gr)	49.20	49.6
Peso suelo seco (gr)	2.5	3.7
Peso Agua (gr)	0.6	0.7
Contenido de humedad %	24.00	18.92
Límite plástico	21.46	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67: Análisis de datos de límite plástico de C5 adicionado con Yeso Hidráulico 3%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	52.20	20
Suelo Seco + Recipiente (gr)	51.40	19.4
Recipiente Metálico (gr)	47.40	15.8
Peso suelo seco (gr)	4	3.6
Peso Agua (gr)	0.8	0.6
Contenido de humedad %	20.00	16.67
Límite plástico	18.33	

Fuente: Elaboración propia



Tabla 68: Análisis de datos de límite plástico de C6 Suelo Natural

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	22.40	22.5
Suelo Seco + Recipiente (gr)	21.46	21.84
Recipiente Metálico (gr)	15.90	15.8
Peso suelo seco (gr)	5.56	6.04
Peso Agua (gr)	0.94	0.66
Contenido de humedad %	16.91	10.93
Límite plástico	13.92	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69: Análisis de datos de límite plástico de C6 adicionado con Yeso Hidráulico 1%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	20.30	20.3
Suelo Seco + Recipiente (gr)	19.80	19.5
Recipiente Metálico (gr)	16.00	16.1
Peso suelo seco (gr)	3.8	3.4
Peso Agua (gr)	0.5	0.8
Contenido de humedad %	13.16	23.53
Límite plástico	18.34	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70: Análisis de datos de límite plástico de C6 adicionado con Yeso Hidráulico 2%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	20.50	20.6
Suelo Seco + Recipiente (gr)	20.00	19.8
Recipiente Metálico (gr)	15.80	15.8
Peso suelo seco (gr)	4.2	4
Peso Agua (gr)	0.5	0.8
Contenido de humedad %	11.90	20.00
Límite plástico	15.95	

Fuente: Elaboración propia

: Análisis de datos de límite plástico de C6 adicionado con Yeso Hidráulico 3%

Numero de Recipiente Metálico	R-4	R-5
Suelo Húmedo + Recipiente (gr)	20.70	20.1
Suelo Seco + Recipiente (gr)	20.10	19.3
Recipiente Metálico (gr)	15.80	15.8
Peso suelo seco (gr)	4.3	3.5
Peso Agua (gr)	0.6	0.8
Contenido de humedad %	13.95	22.86
Límite plástico	18.41	

Fuente: Elaboración propia



c) Análisis de prueba

Con los resultados obtenidos, podemos observar que las calicatas C2, C3, C6 tienen el límite plástico bajo, caso contrario, las calicatas C1, C4, C5. También se puede observar que a medida que se le aumenta el aditivo de Yeso Hidráulico, el límite plástico se aumenta, pero en las calicatas C3 y C4, cuando se le aumenta Yeso Hidráulico al 3%, vuelve al límite plástico del principio.

3.5.2.4. Análisis de Índice de plasticidad

a) Procesamiento

Para el cálculo del Índice de Plasticidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

- IP: Índice de plasticidad
- LL: Límite líquido
- LP: Límite plástico

b) Diagramas y tablas

Tabla 71: Resumen de LL, LP e Índice de Plasticidad

Muestra Ensayada	LL	LP	IP
C1	22	15.65	6.35
C1 + 1% YH	20.8	20.16	0.64
C1 + 2% YH	17.1	21.35	NP
C1 + 3% YH	19.28	18.23	1.05
C2	19.13	13.7	5.43
C2 + 1% YH	22.1	21.96	0.14
C2 + 2% YH	24.25	14.53	9.72
C2 + 3% YH	24.8	22.55	2.25
C3	19.15	12.87	6.28
C3 + 1% YH	21.62	14.58	7.04
C3 + 2% YH	17.92	16.23	1.69
C3 + 3% YH	18.94	12.84	6.1
C4	24.51	17.35	7.16
C4 + 1% YH	24.2	21.71	2.49
C4 + 2% YH	23.4	22.65	0.75
C4 + 3% YH	22.1	21.54	0.56
C5	20.5	18.22	2.28
C5 + 1% YH	20.4	17.78	2.62
C5 + 2% YH	22.3	21.46	0.84
C5 + 3% YH	23.3	18.33	4.97
C6	19.9	13.92	5.98
C6 + 1% YH	19.8	18.34	1.46
C6 + 2% YH	14.9	15.95	NP
C6 + 3% YH	16.3	18.41	NP

Fuente: Elaboración propia



c) Análisis de prueba

Se puede observar que la calicata C5 posee un índice de plasticidad bajo, a comparación de las demás calicatas que poseen un índice de plasticidad alto a comparación de la calicata C5.

También se puede observar que a medida que se le aumenta el aditivo de Yeso Hidráulico, las calicatas C1, C2, C4 y C6, disminuye el valor de índice de plasticidad, en cambio la calicata C5 aumenta su valor de IP; y en la calicata C3, con 2% de YH disminuye su valor de Ip, pero con 3% vuelve a su valor inicial.

3.5.2.5. Análisis de clasificación de suelos

a) Procesamiento

Para este análisis se utilizó dos metodologías de clasificación: AASTHO y SUCS, estos dependiendo a los resultados obtenidos en los ensayos de granulometría, límite líquido y límite plástico.

Para la metodología AASTHO se necesita que se especifique el Índice de Grupo (IG) y este se da mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

- F : Porcentaje de suelo que pasa por el tamiz N° 200
- LL: Límite líquido
- IP : Índice de plasticidad

Respecto a la ecuación para hallar el IG, tenemos que considerar:

- Si el IG da un valor negativo, se considera como 0.
- El IG calculado se redondea al entero más próximo.
- No hay límite superior para el índice de grupo.
- El índice de grupo para los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre será 0.
- El IG para los suelos de grupo A-2-6 y A-2-7 se debe de calcular utilizando solo una porción del IP:

$$IG = 0.01 * (F - 15) * (IP - 10)$$

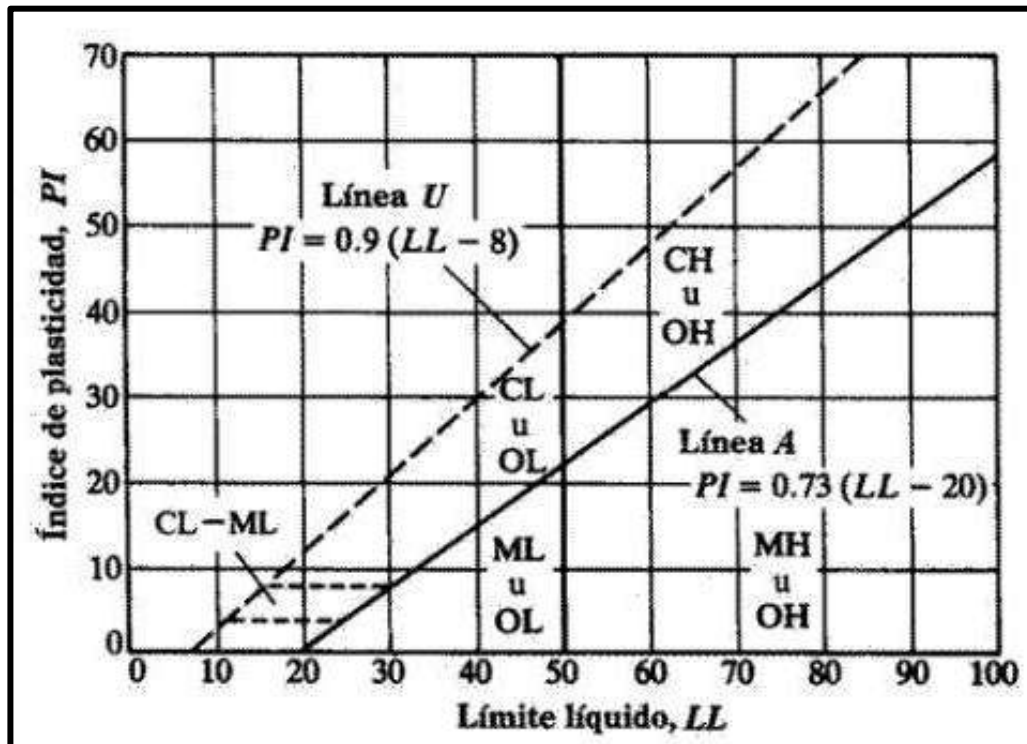


Tabla 72: Criterio de clasificación SUCS

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

Fuente: SUCS

Ilustración 85: Carta de Plasticidad de Casagrande para suelos finos



Fuente: Duque Escobar & Escobar Portes, 2002



Tabla 73: Criterio de clasificación AASTHO

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares							Materiales limo - arcillosos				
	(pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							(más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
GRUPO	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20			
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos Arcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Fuente: AASTHO



b) Diagramas y tablas

Para C1:

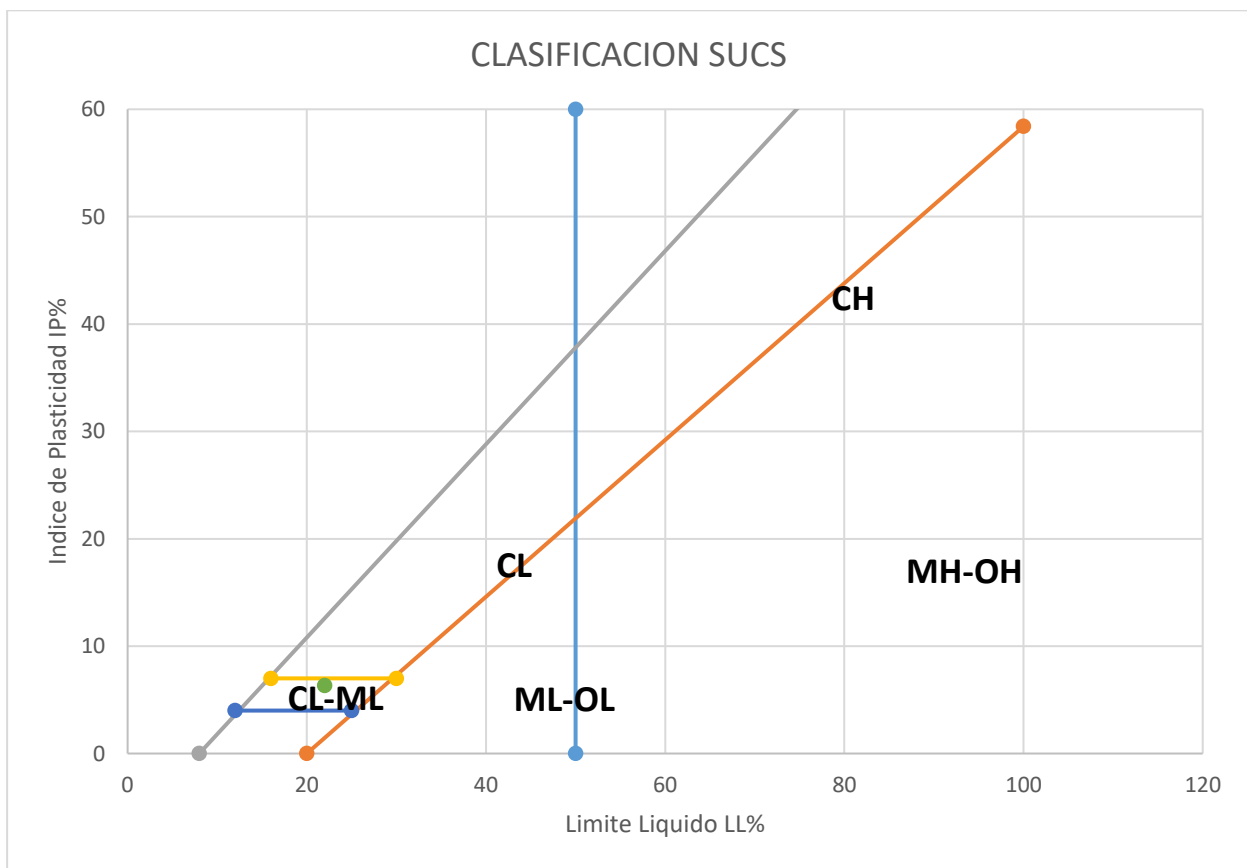
1. Clasificación SUCS

Tabla 74: Resumen de Límites de Atterberg e Índice de plasticidad C1

LL	22.00
LP	15.65
IP	6.35

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 86: Carta de Casagrande para C1



Fuente: Elaboración propia

Clasificación SUCS para C1: CL (Arcilla Limosa)



2. Clasificación AASHTO

Tabla 75: Valores para ecuación de IG C1

IG:	0
F:	24.99
LL:	22.00
IP:	6.35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76: Clasificación de Suelos por AASHTO para C1

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares						Materiales limo - arcillosos					
	(pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						(más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4			≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20		
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos Arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Fuente: AASHTO

Clasificación AASHTO para C1: Suelo A-2-4



Para C2:

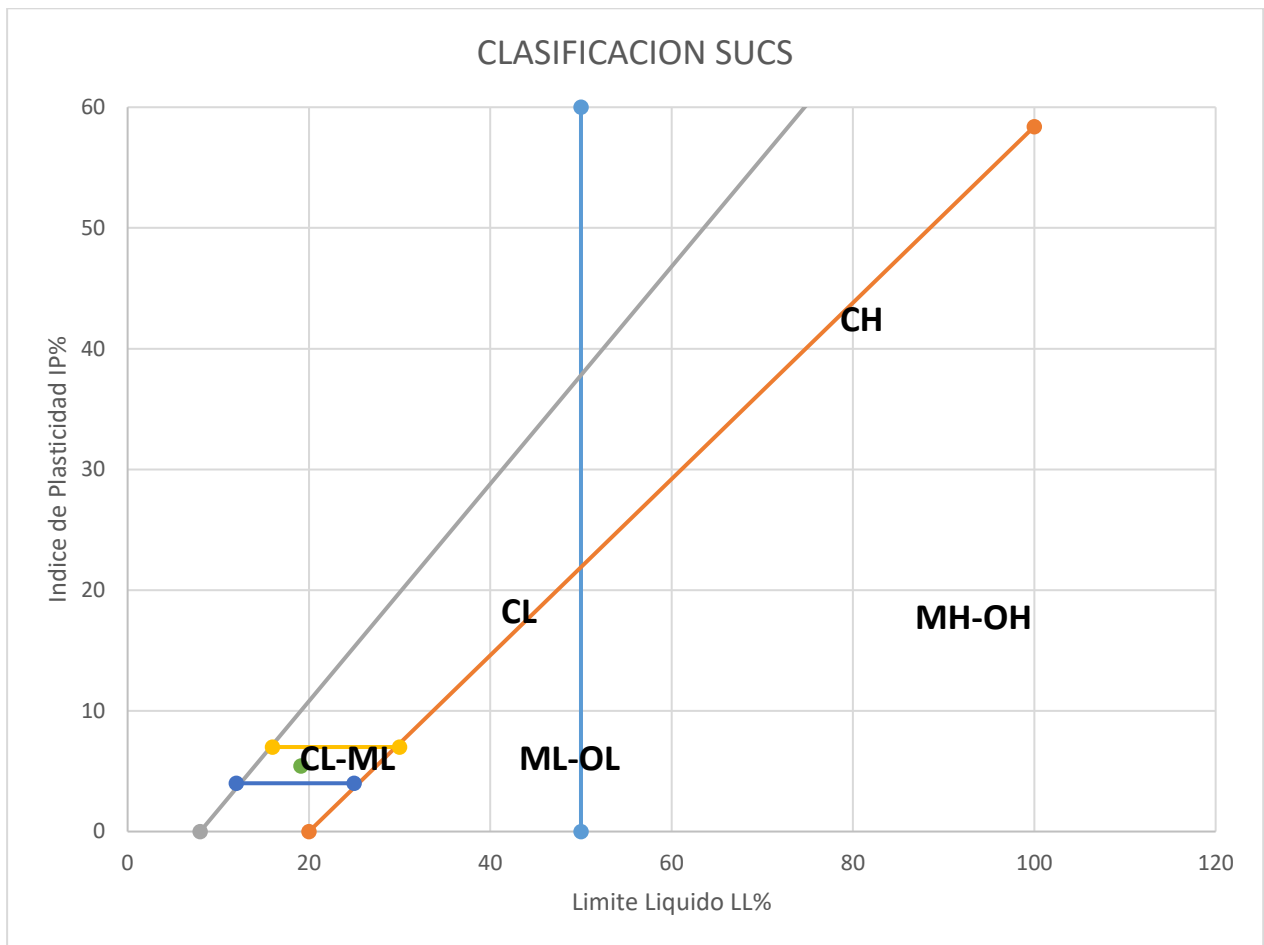
1. Clasificación SUCS

Tabla 77: Resumen de Límites de Atterberg e Índice de plasticidad C2

LL	19.13
LP	13.70
IP	5.43

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 87: Carta de Casagrande para C2



Fuente: Elaboración propia

Clasificación SUCS para C2: CL (Arcilla Limosa)



3. Clasificación AASHTO

Tabla 78: Valores para ecuación de IG C2

IG:	0
F:	23.05
LL:	19.13
IP:	5.43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79: Clasificación de Suelos por AASHTO para C2

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares							Materiales limo - arcillosos				
	(pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							(más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
GRUPO	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20			
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos Arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Fuente: AASHTO

Clasificación AASHTO para C2: Suelo A-2-4



Para C3:

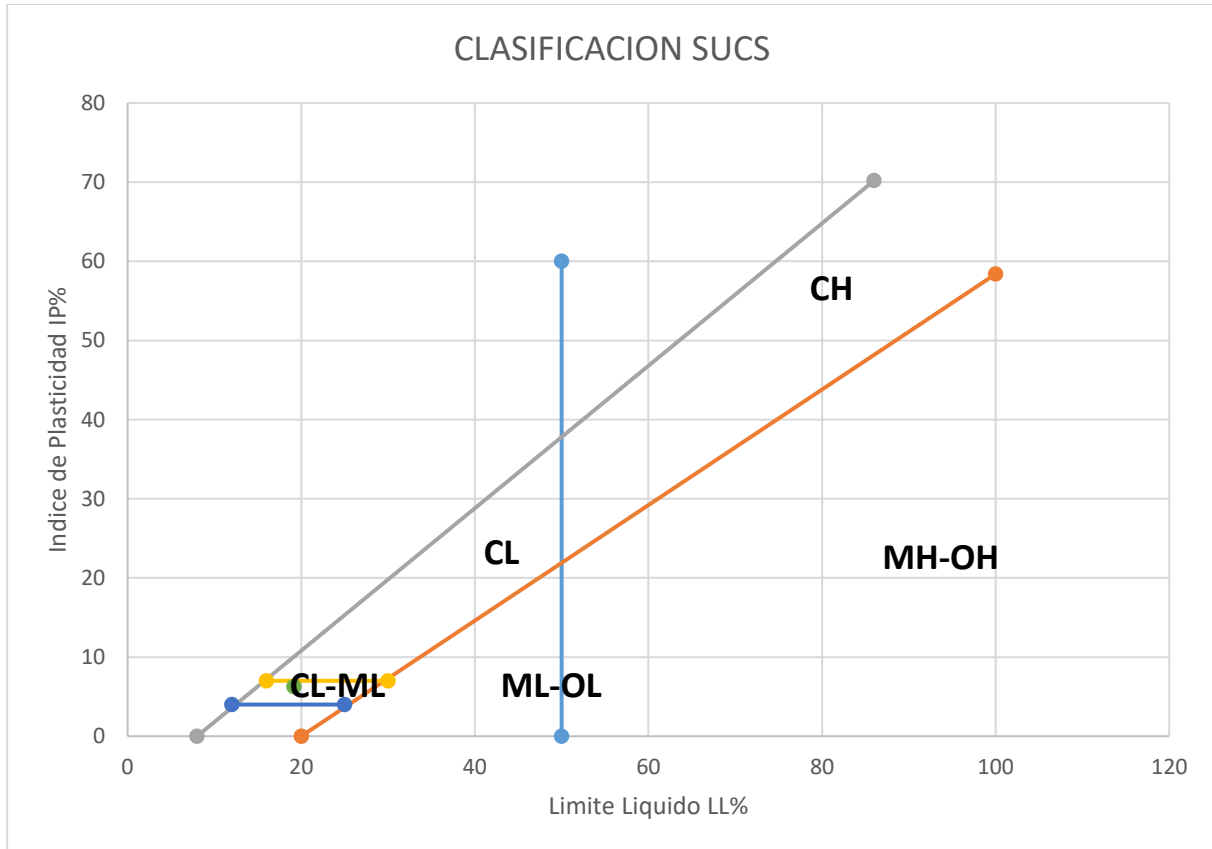
1. Clasificación SUCS

Tabla 80: Resumen de Límites de Atterberg e Índice de plasticidad C3

LL	19.15
LP	12.87
IP	6.28

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 88: Carta de Casagrande para C3



Fuente: Elaboración propia

Clasificación SUCS para C3: CL (Arcilla Limosa)



2. Clasificación AASHTO

Tabla 81: Valores para ecuación de IG C3

IG:	0
F:	17.97
LL:	19.15
IP:	6.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82: Clasificación de Suelos por AASHTO para C3

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales limo - arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo												
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20	
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos Arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Fuente: AASHTO

Clasificación AASHTO para C3: Suelo A-2-4



Para C4:

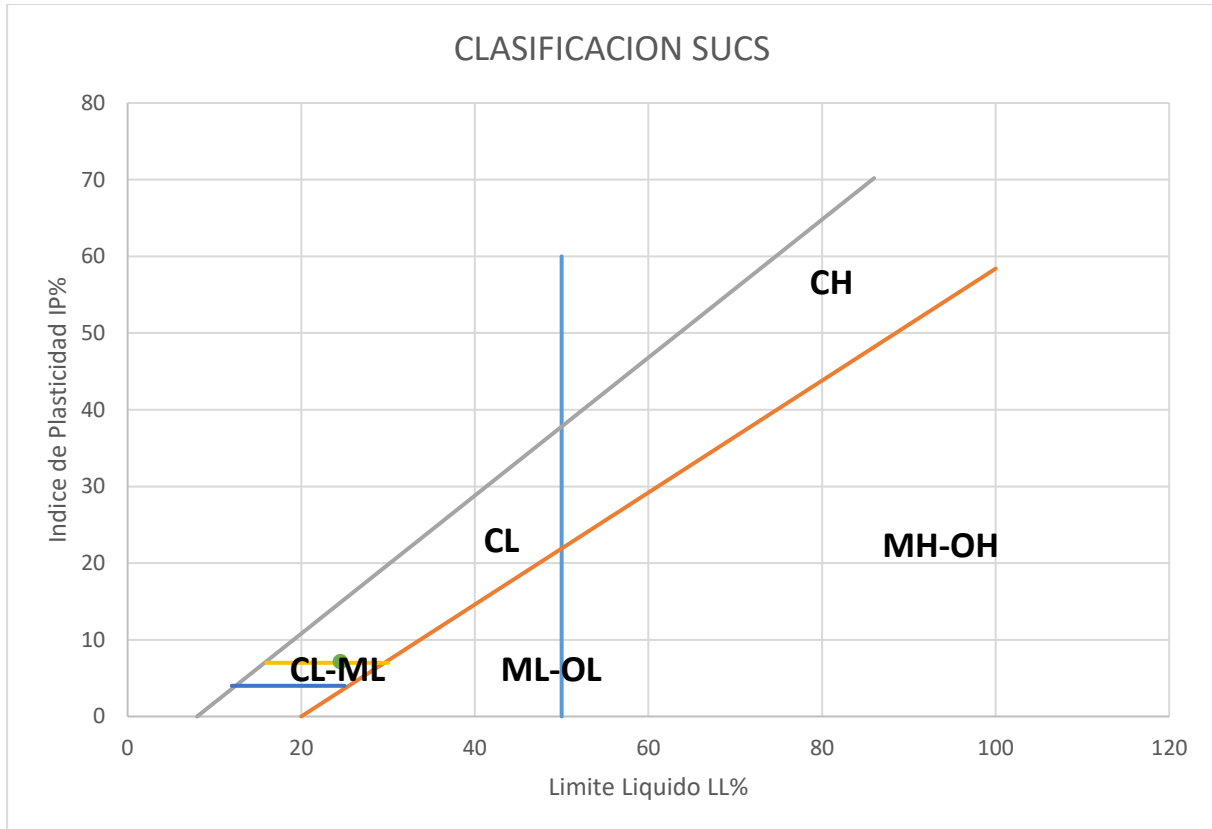
1. Clasificación SUCS

Tabla 83: Resumen de Límites de Atterberg e Índice de plasticidad C4

LL	24.51
LP	17.35
IP	7.16

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 89: Carta de Casagrande para C4



Fuente: Elaboración propia

Clasificación SUCS para C4: CL (Arcilla Limosa)



2. Clasificación AASHTO

Tabla 84: Valores para ecuación de IG C4

IG:	0
F:	21.35
LL:	24.51
IP:	7.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85: Clasificación de Suelos por AASHTO para C4

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales limo - arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo												
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20	
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos Arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Fuente: AASHTO

Clasificación AASHTO para C4: Suelo A-2-4



Para C5:

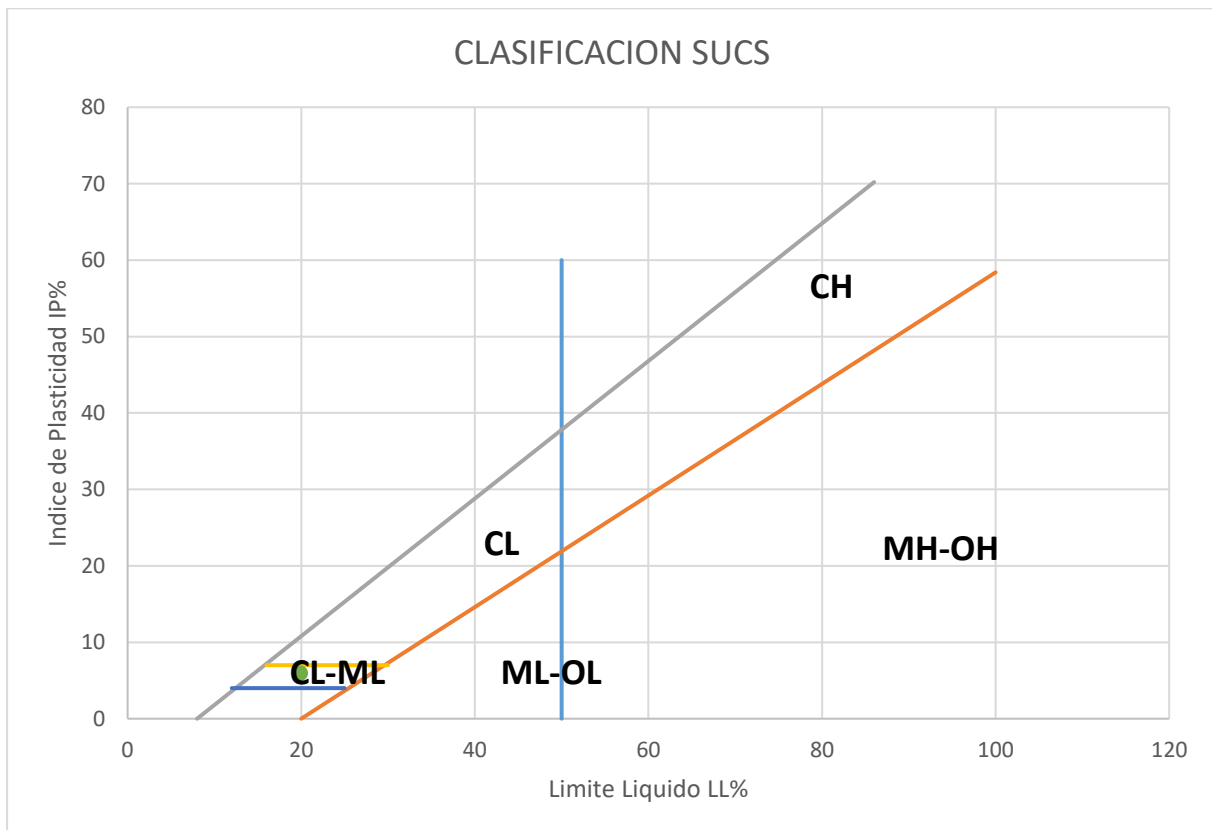
1. Clasificación SUCS

Tabla 86: Resumen de Límites de Atterberg e Índice de plasticidad C5

LL	19.90
LP	13.92
IP	5.98

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 90: Carta de Casagrande para C5



Fuente: Elaboración propia

Clasificación SUCS para C5: CL (Arcilla Limosa)



2. Clasificación AASHTO

Tabla 87: Valores para ecuación de IG C4

IG:	0
F:	18.02
LL:	19.90
IP:	5.98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 88: Clasificación de Suelos por AASHTO para C4

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales limo - arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo												
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20	
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos Arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Fuente: AASHTO

Clasificación AASHTO para C5: Suelo A-2-4



Para C6:

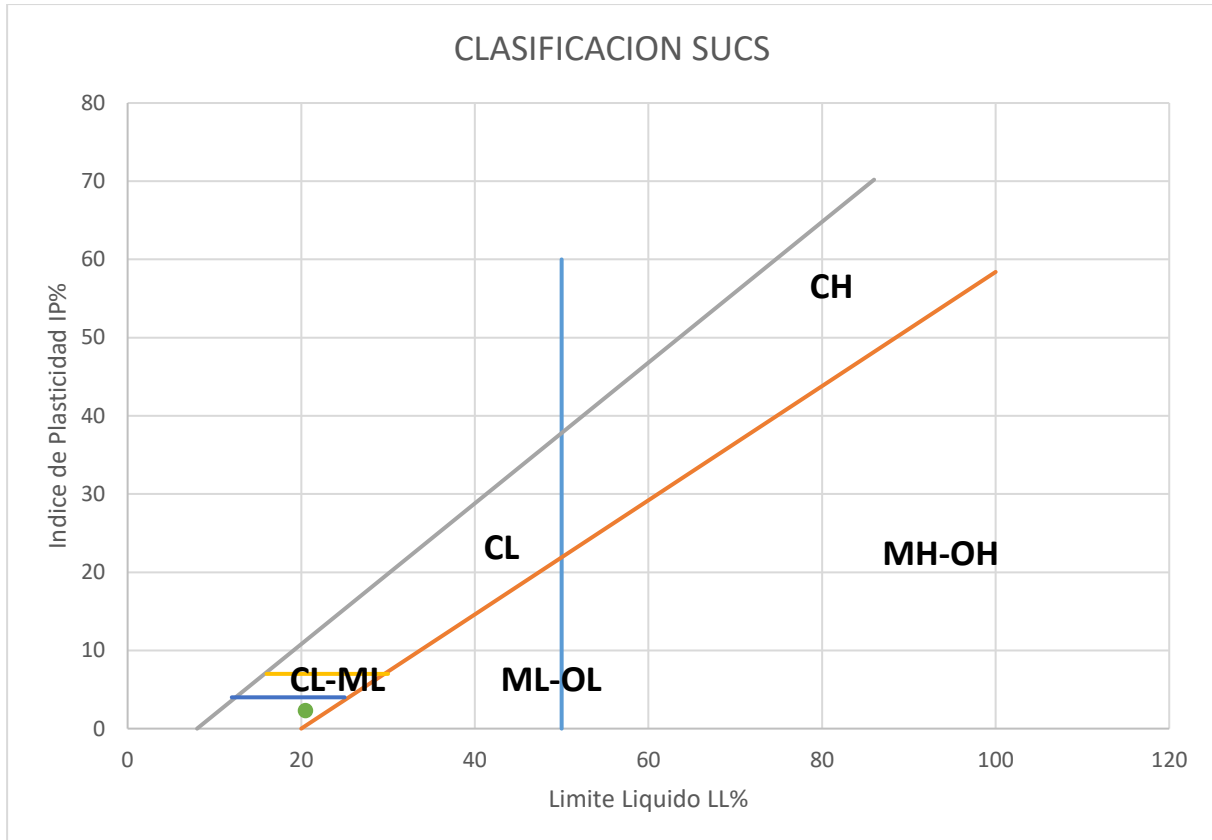
1. Clasificación SUCS

Tabla 89: Resumen de Límites de Atterberg e Índice de plasticidad C6

LL	20.50
LP	18.22
IP	2.28

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 91: Carta de Casagrande para C6



Fuente: Elaboración propia

Clasificación SUCS para C6: ML (Limo de baja plasticidad)



2. Clasificación AASHTO

Tabla 90: Valores para ecuación de IG C4

IG:	0
F:	25.74
LL:	20.50
IP:	2.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91: Clasificación de Suelos por AASHTO para C4

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales limo - arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo												
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20	
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos Arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Fuente: AASHTO

Clasificación AASHTO para C6: Suelo A-2-4

c) Análisis de prueba

Se determinó que todas las calicatas C1, C2, C3, C4 y C5 según SUCS son clasificadas con CL (arcilla limosa), a excepción de la C6 que se clasifico como ML (Limo de baja plasticidad).

Según AASHTO, todas las calicatas son clasificadas en el grupo A-2-4.

3.5.2.6. Análisis de datos obtenidos en el ensayo de compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada

a) Procesamiento



Se determina el contenido de humedad de las diferentes taras de suelo compactado, y se calcula el contenido de humedad promedio. Se utilizará la siguiente formula:

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

- W= Contenido de humedad en porcentaje (%)
- Ww= Peso de agua (gr)
- Ws= Peso de material (gr)

Se determina la el peso específico húmedo y seco mediante la siguiente formula:

Peso específico húmedo:

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

Donde:

- ρ_m = Peso específico húmedo de muestra compactada (gr/cm^3)
- M_t = Masa de muestra humeda y molde (gr)
- M_{md} = Masa del molde de compactación (gr)
- V = Volumen del molde de compactación (cm^3)

Peso específico seco:

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

Donde:

- ρ_m = Peso específico de la muestra compactada (gr/cm^3)
- ρ_d = Peso específico seco de la muestra compactada (gr/cm^3)
- W = Contenido de humedad en porcentaje (%)
- V = Volumen de molde de compactación (cm^3)



b) Diagramas y tablas

Tabla 92: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de CI

MATERIAL Y MOLDE A UTILIZAR SEGÚN EL MÉTODO			
1	Molde	4	Pulg
2	Material a usar	2300	gr
3	Capas	5	capas
4	Golpes por capa	25	golpes

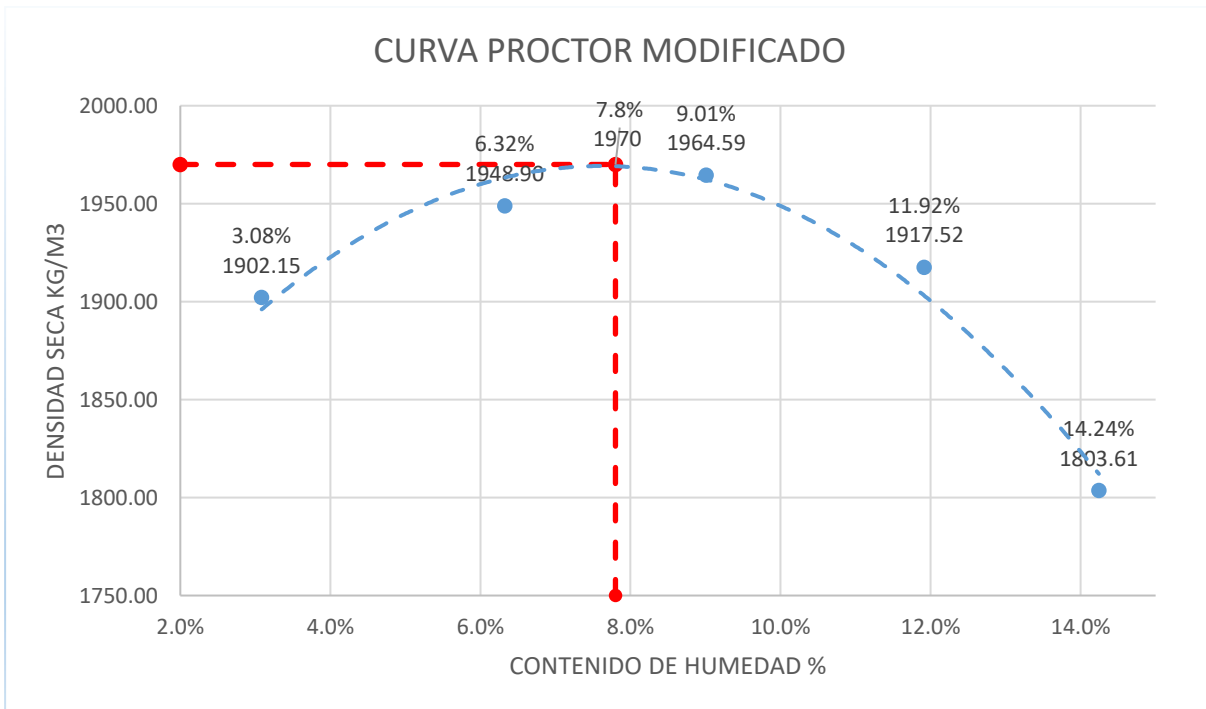
Fuente: Elaboración propia

Tabla 93: Contenido de humedad y densidad seca CI suelo natural

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	6	9	12	15					
Peso de muestra (gr)	2300	2300	2300	2300	2300					
Peso del agua para la muestra	69	138	207	276	345					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6170.1	6235.1	6301.7	6305.4	6224					
Peso suelo Humedo (gr)	1800.6	1972.6	2036.7	2042.9	1961.5					
Peso específico Humedo (gr/cm ³)	1.96	2.07	2.14	2.15	2.06					
Peso específico seco (gr/cm ³)	1.90	1.95	1.96	1.92	1.80					
DENSIDAD SECA KG/M ³	1902.15	1948.90	1964.59	1917.52	1803.61					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	35.7	37.6	36.8	37.4	37.1	37.5	37.3	36.7	36.8	37.3
Peso de envase + suelo humedo	99.5	117.8	129.3	139.9	133.9	140.4	136.8	157.5	165.5	162
Peso de envase + Suelo seco	97.7	115.3	123.8	133.8	125.8	132	120.7	145.3	149.8	172.3
Peso del agua	1.8	2.5	5.5	6.1	8.1	8.4	10.2	12.6	15.7	15.7
Peso suelo humedo	62.9	80.2	92.5	102.5	96.8	102.9	99.6	121.2	128.7	154.7
Peso del suelo seco	61	77.7	87	96.4	88.7	94.5	83.4	108.6	113	135
Contenido de humedad	2.95%	3.22%	6.32%	6.33%	9.13%	8.89%	12.23%	11.60%	13.89%	14.59%
Contenido de humedad promedio (%)	3.08%		6.37%		9.01%		11.92%		14.74%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 92: Grafica de densidad seca y contenido de humedad CI suelo natural



Fuente: Elaboración propia

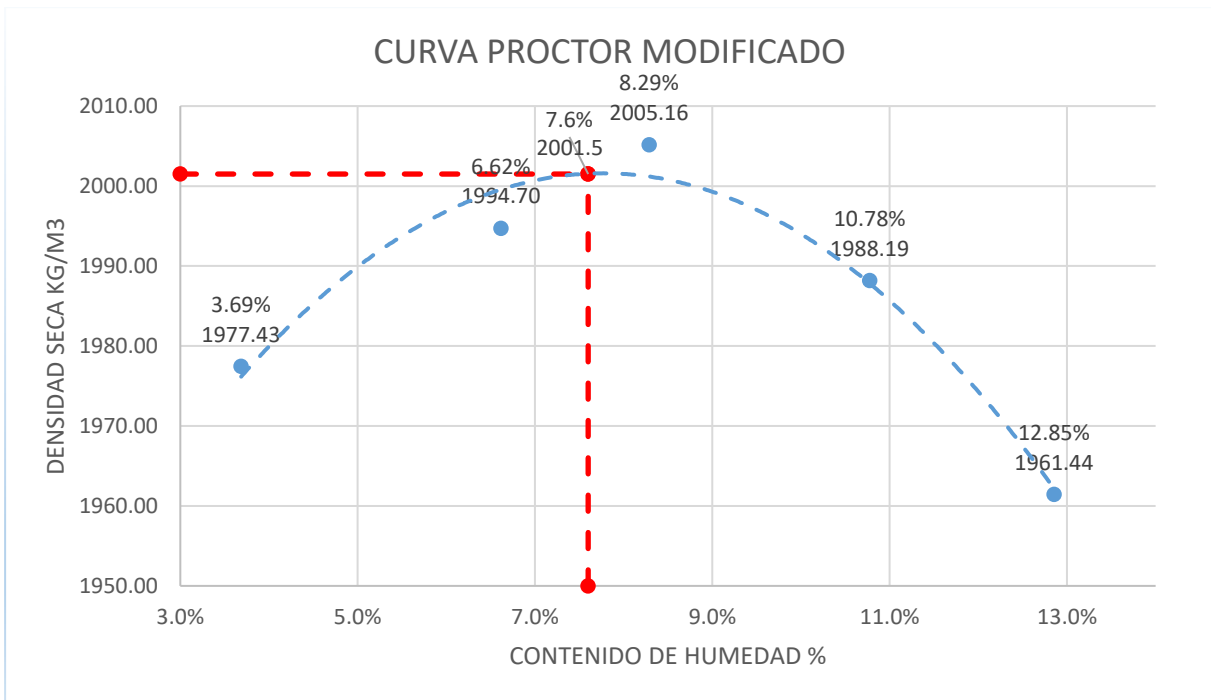


Tabla 94: Contenido de humedad y densidad seca CI suelo natural + 1% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4203.2	4203.2	4203.2	4203.2	4203.2					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	6	9	12	15					
Peso de muestra (gr)	2323	2323	2323	2323	2323					
Peso del agua para la muestra	69.69	130.38	209.07	278.76	348.45					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6215	6287.7	6330.2	6399.8	6370.4					
Peso suelo Humedo (gr)	1051.8	2024.5	2067	2096.6	2107.2					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.05	2.13	2.17	2.23	2.21					
Peso específico seco (gr/cm ³)	1.98	1.99	2.01	1.99	1.96					
DENSIDAD SECA KG/M ³	1977.43	1994.70	2005.16	1988.19	1961.44					
Envasa N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	50.6	49.7	49.7	48.3	48.8	47.3	37.3	37.7	37.3	37.4
Peso de envase + suelo humedo	111.2	115.8	110.8	104.7	126.3	130.9	156.1	138.2	150.2	175.1
Peso de envase + suelo seco	109	113.5	106.9	101.3	121.1	123.8	145.8	127.4	140.4	155.9
Peso del agua	2.2	2.3	3.9	3.4	5.2	7.1	10.3	10.8	9.8	19.2
Peso suelo humedo	61.6	66.1	61.1	56.4	76.5	83.6	118.6	100.5	112.0	137.7
Peso del suelo seco	58.4	63.8	57.2	53	71.3	76.5	108.3	89.7	103.1	118.5
Contenido de humedad	3.77%	3.61%	6.82%	6.42%	7.19%	9.28%	9.51%	12.04%	9.51%	16.20%
Contenido de humedad promedio (%)	3.69%		6.62%		8.29%		10.78%		12.85%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 93: Grafica de densidad seca y contenido de humedad CI suelo natural + 1 % YH



Fuente: Elaboración propia

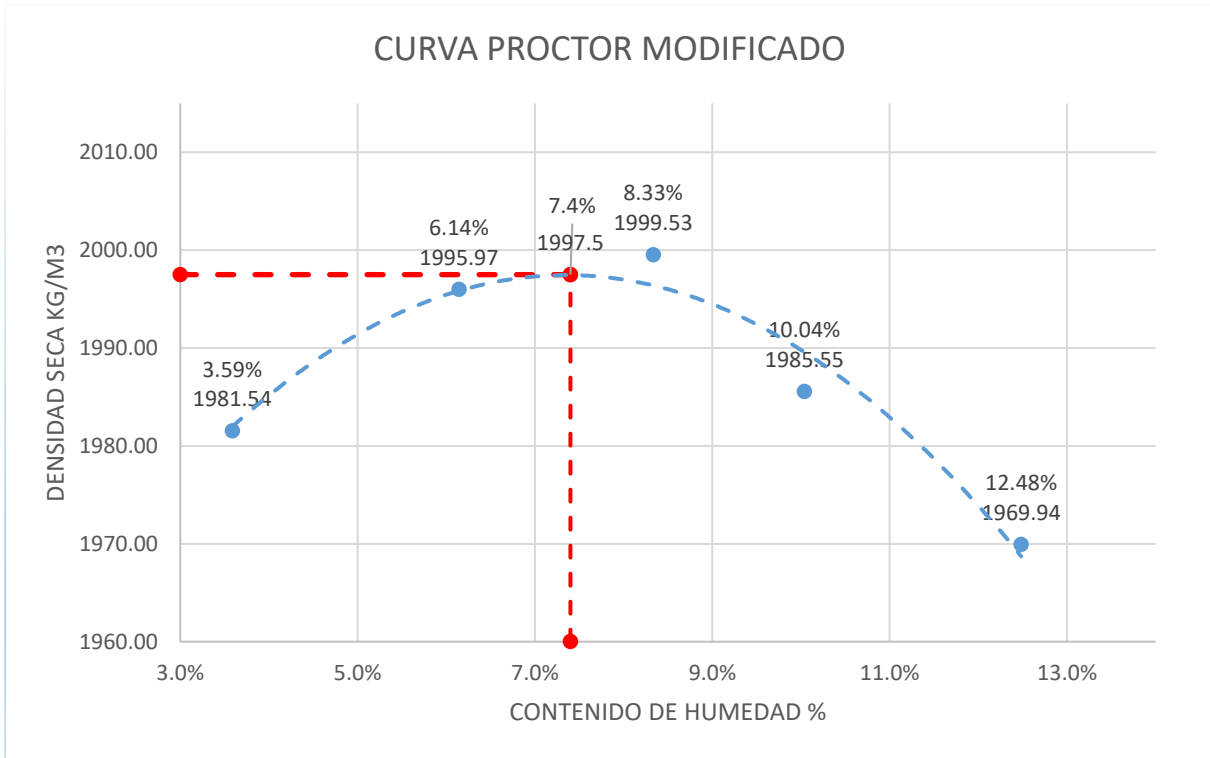


Tabla 95: Contenido de humedad y densidad seca CI suelo natural +2% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	6	9	12	15					
Peso de muestra (gr)	2346	2346	2346	2346	2346					
Peso del agua para la muestra	70.98	140.76	211.14	281.52	351.9					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6217.2	6280	6325.3	6343.1	6372.6					
Peso suelo Humedo (gr)	1954	2016.8	2062.1	2079.9	2109.4					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.05	2.12	2.17	2.18	2.22					
Peso específico seco (gr/cm ³)	1.98	2.00	2.00	1.99	1.97					
DENSIDAD SECA KG/M ³	1081.54	1995.67	1999.53	1985.55	1969.94					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del envase	36.7	40.8	37.4	37.2	50.7	37.5	50.6	40.7	36.8	46.7
Peso de envase + suelo humedo	121.2	120.8	132.2	124	150.8	152.4	156.1	135.6	128.5	160.4
Peso del envase + Suelo seco	118.7	124.2	145	119.4	148.6	143.6	146.8	127.5	118.5	147.9
Peso del agua	3	2.6	7.2	4.6	8.2	8.8	9.3	8.1	10	12.5
Peso suelo humedo	84.5	77	114.8	86.8	105.1	114.8	105.5	85.8	91.7	110.7
Peso del suelo seco	81.3	74.4	107.6	82.2	97.9	105.1	96.2	77.8	81.7	98.2
Contenido de humedad	3.68%	3.49%	6.59%	5.60%	8.38%	8.29%	9.67%	10.41%	12.24%	12.73%
Contenido de humedad promedio (%)	3.58%		6.14%		8.33%		10.04%		12.48%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 94: Grafica de densidad seca y contenido de humedad CI suelo natural + 2 % YH



Fuente: Elaboración propia

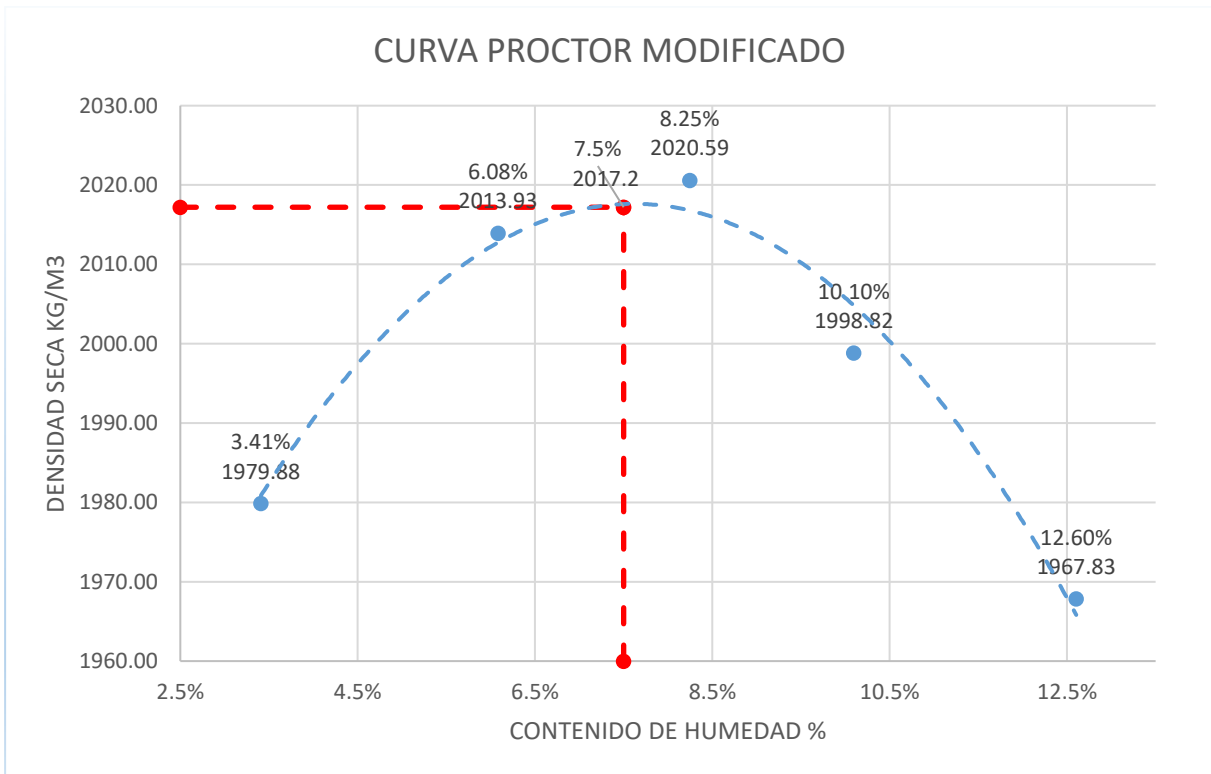


Tabla 96: Contenido de humedad y densidad seca CI suelo natural + 3% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2	4263.2
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	6	9	12	15					
Peso de muestra (gr)	2369	2369	2369	2369	2369	2369	2369	2369	2369	2369
Peso del agua para la muestra	71.07	142.14	213.21	284.28	355.35					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6212.2	6297	6345.3	6358.1	6372.6					
Peso suelo Humedo (gr)	1949	2083.8	2082.1	2094.9	2109.4					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.05	2.14	2.19	2.20	2.22					
Peso específico seco (gr/cm ³)	1.98	2.01	2.02	2.00	1.97					
DENSIDAD SECA KG/M ³	1979.88	2013.93	2020.59	1998.82	1967.83					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	50.6	49.7	37.5	37.1	49.8	37.1	37.3	37.4	37.4	48.3
Peso de envase + suelo humedo	122	124.5	145	132	135.6	140	152.9	134.6	146.6	165.6
Peso de envase +Suelo seco	119.3	122.4	138.9	126.5	129.2	132	144	124.3	135.2	151.6
Peso del agua	2.7	2.1	6.1	5.5	6.4	8	8.9	10.3	11.4	14
Peso suelo humedo	71.4	74.8	107.5	94.9	85.8	102.9	115.8	97.2	109.2	117.3
Peso del suelo seco	68.7	72.7	101.4	86.4	79.4	94.9	106.7	86.9	97.8	103.3
Contenido de humedad	3.93%	2.89%	6.02%	6.13%	8.09%	8.43%	8.34%	11.85%	11.60%	13.55%
Contenido de humedad promedio (%)	3.41%		6.08%		8.25%		10.10%		12.60%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 95: Grafica de densidad seca y contenido de humedad CI suelo natural + 3% YH



Fuente: Elaboración propia



Tabla 97: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C2

MATERIAL Y MOLDE A UTILIZAR SEGÚN EL MÉTODO			
1	Molde	4	Pulg
2	Material a usar	2300	gr
3	Capas	5	capas
4	Golpes por capa	25	golpes

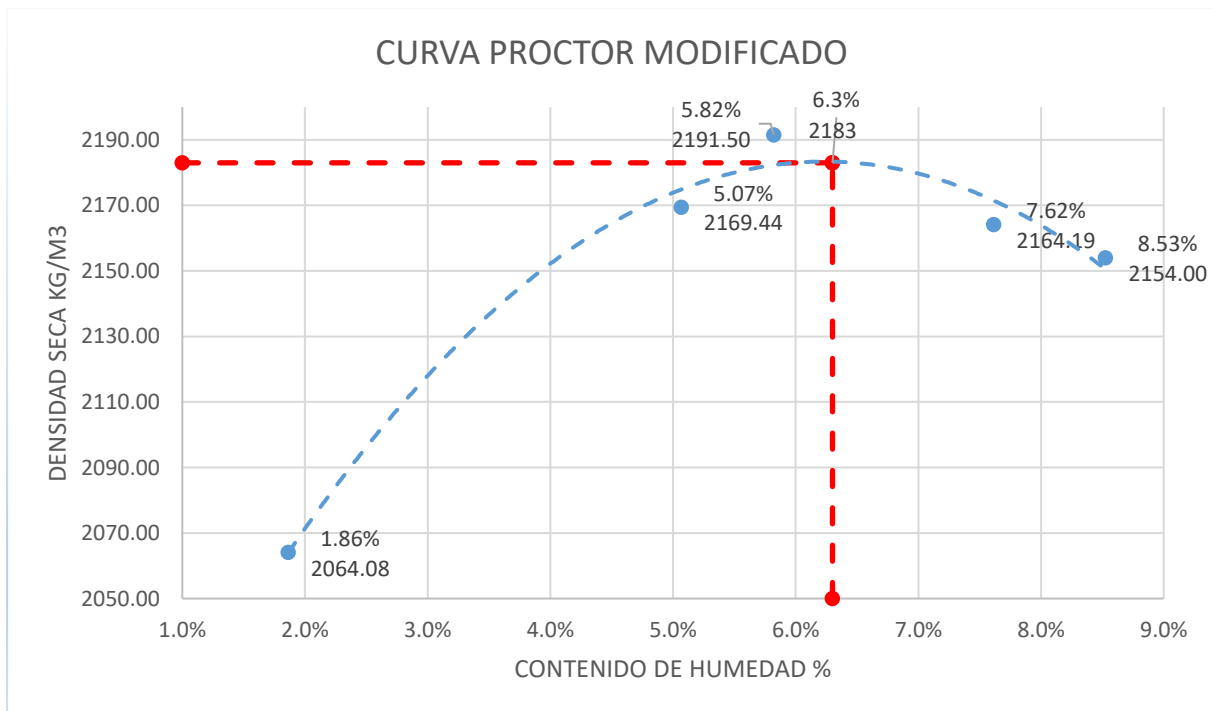
Fuente: Elaboración propia

Tabla 98: Contenido de humedad y densidad seca C2 suelo natural

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	10					
Peso de muestra (gr)	2300	2300	2300	2300	2300					
Peso del agua para la muestra	46	92	138	184	230					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6227.4	6297.7	6338.7	6322.7	6263					
Peso suelo Humedo (gr)	1964.9	2055.2	2076.2	2060.2	2000.5					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.06	2.14	2.18	2.16	2.10					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.01	2.05	2.07	2.02	1.91					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2064.08	2137.93	2181.00	2164.19	2101.48					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.4	37.3	37.6	37.4	37.5	36.7	37.5	35.8	36.8	37.6
Peso de envase + suelo humedo	134.8	145.1	120	101.2	118.4	110.3	160	135.2	154.2	129.7
Peso de envase +suelo seco	132.4	145.6	116.2	98.8	114.5	105.2	152.2	128.2	149.9	121.4
Peso del agua	2.4	3.5	3.8	2.4	3.9	4.1	7.8	7	10.3	8.3
peso suelo humedo	97.4	111.8	82.4	69.8	80.9	73.6	122.5	99.4	117.4	92.1
Peso del suelo seco	95	108.3	78.6	61.4	77	69.5	114.7	91.4	107.1	83.8
Contenido de humedad	2.53%	3.23%	4.85%	3.91%	5.90%	5.90%	6.80%	7.60%	9.62%	9.90%
Contenido de humedad promedio (%)	2.88%		4.37%		5.48%		7.23%		9.76%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 96: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C2 suelo natural



Fuente: Elaboración propia

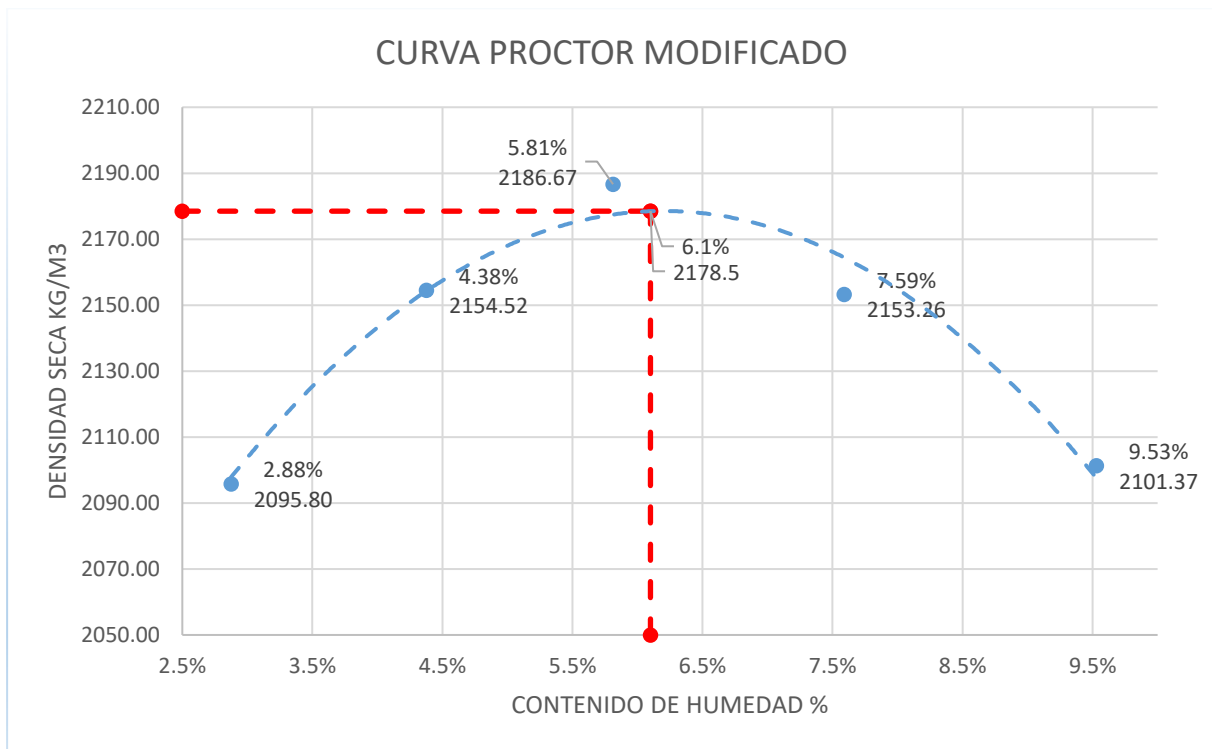


Tabla 99: Contenido de humedad y densidad seca C2 suelo natural + 1% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	10					
Peso de muestra (gr)	2323	2323	2323	2323	2323	2323	2323	2323	2323	2323
Peso del agua para la muestra	46.46	92.92	139.38	185.84	232.3					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6227.4	6307.7	6338.7	6312.7	6263					
Peso suelo Humedo (gr)	1964.9	2045.2	2076.2	2050.2	2000.5					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.06	2.15	2.18	2.15	2.10					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.00	2.04	2.04	1.98	1.91					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2064.06	2148.43	2181.00	2153.68	2101.48					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.5	37.3	37.3	37.6	36.8	36.7	37.5	37.3	37.4	37.5
Peso de envase + suelo humedo	145.2	132.8	138.4	135.4	148.2	142.8	135.9	146.2	138.1	145.2
Peso de envase + Suelo seco	141.7	130.1	134.1	130.1	141.7	135.7	128.2	137.6	128.6	136.7
Peso del agua	3.5	2.7	4.3	5.3	6.5	7.1	7.7	8.6	9.5	9.5
peso suelo humedo	107.7	95.5	101.1	97.8	111.4	106.1	98.4	108.9	100.7	108.7
Peso del suelo seco	104.2	92.8	96.8	92.5	104.9	99	90.7	100.3	91.2	99.2
Contenido de humedad	3.35%	2.91%	4.44%	5.73%	6.20%	7.17%	8.48%	9.57%	10.42%	9.58%
Contenido de humedad promedio (%)	3.13%		5.03%		6.68%		8.53%		10.00%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 97: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C2 suelo natural + 1% YH



Fuente: Elaboración propia

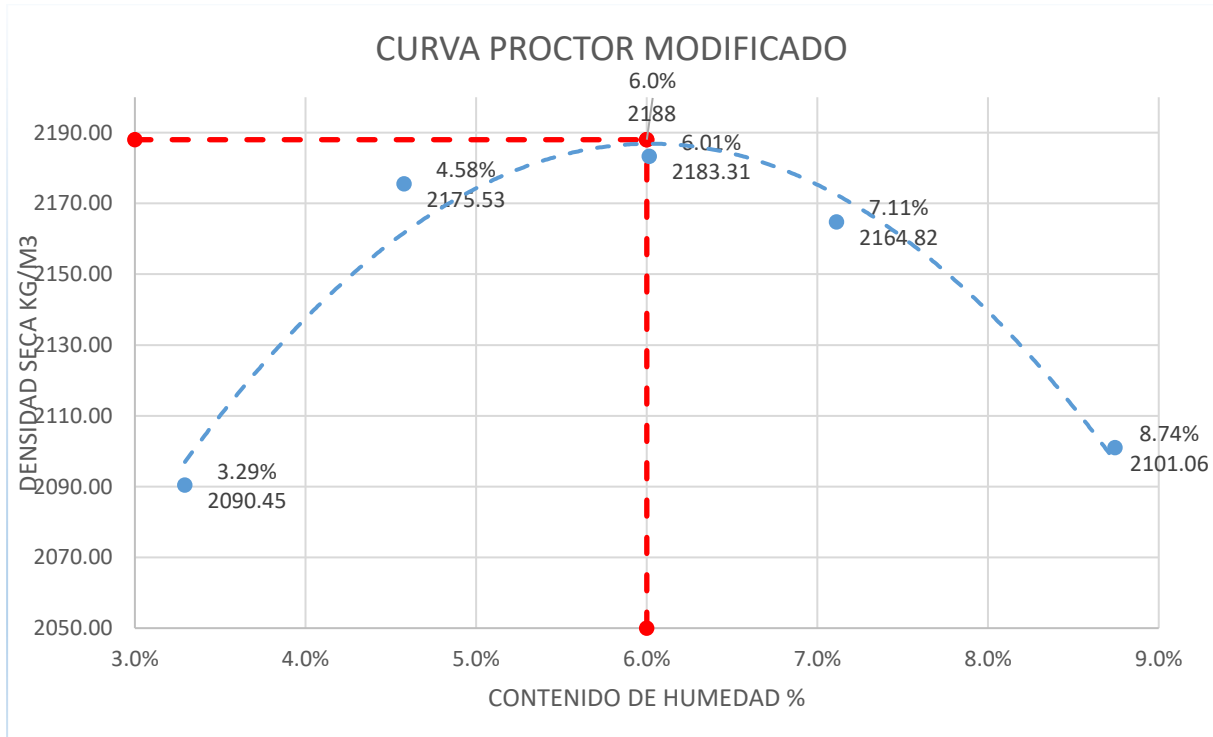


Tabla 100: Contenido de humedad y densidad seca C2 suelo natural + 2% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	10					
Peso de muestra (gr)	2346	2346	2346	2346	2346					
Peso del agua para la muestra	46.92	93.84	140.76	187.68	234.6					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6227.4	6297.7	6338.7	6322.7	6263					
Peso suelo Humedo (gr)	1964.9	2035.2	2076.2	2060.2	2000.5					
Peso específica humeda (gr/cm ³)	2.06	2.14	2.18	2.16	2.10					
Peso específico seco (gr/cm ³)	1.89	2.06	2.00	2.03	1.93					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2064.08	2137.93	2181.00	2164.19	2101.48					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	36.7	37.4	36.8	37.6	37.6	37.4	37.4	37.6	36.6	37.5
Peso de envase + suelo humeda	140.2	145.1	135.2	145.8	123.9	130.8	126.9	132.5	134.9	140.6
Peso de envase + Suelo seco	136.3	141.8	132.1	141	115.4	125.0	120.2	127.7	127.4	133.6
Peso del agua	3.9	3.3	3.1	4.8	4.5	5	6.7	4.8	7.5	7.3
peso suelo humedo	103.5	107.7	98.4	108.2	83.3	93.4	89.5	94.9	84.3	103.4
Peso del suelo seco	99.6	104.4	95.3	103.4	78.8	88.4	82.8	90.1	76.8	96.1
Contenido de humedad	3.92%	3.10%	3.25%	4.64%	5.71%	5.66%	8.06%	5.33%	9.77%	7.00%
Contenido de humedad promedio (%)	3.54%		3.95%		5.68%		6.71%		8.68%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 98: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C2 suelo natural + 2 % YH



Fuente: Elaboración propia

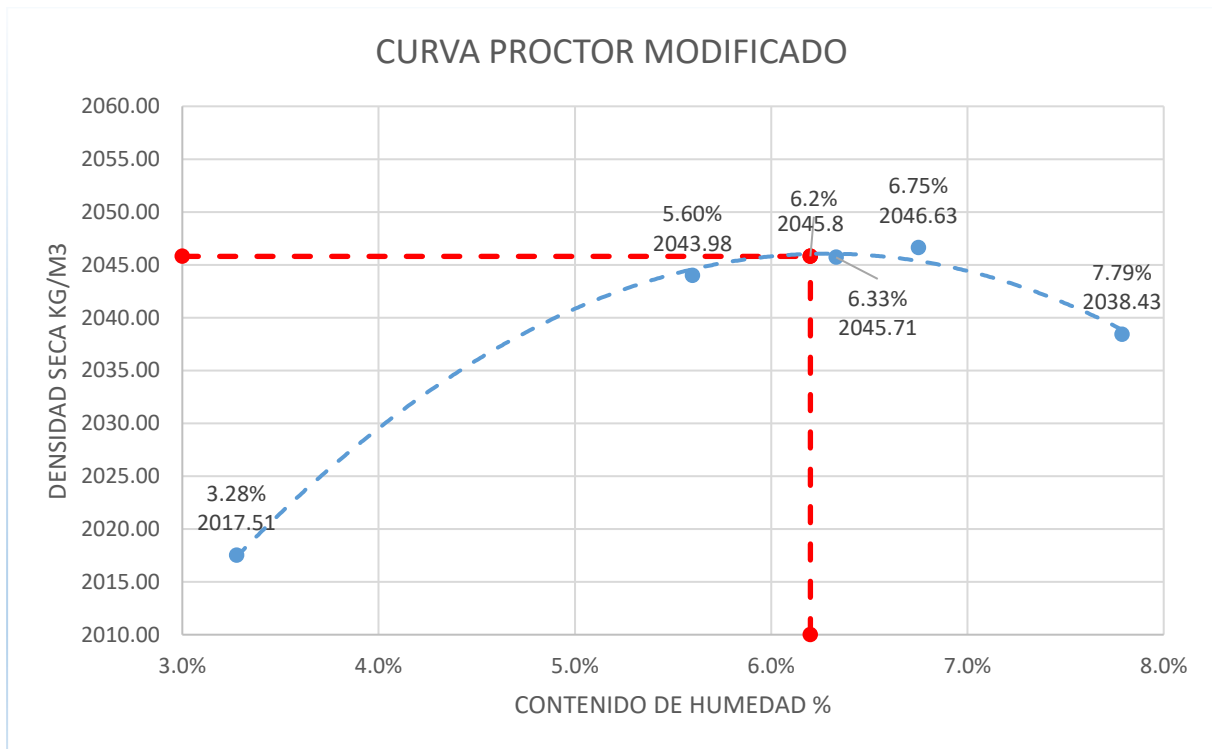


Tabla 101: Contenido de humedad y densidad seca C2 suelo natural +3% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	10					
Peso de muestra (gr)	2369	2369	2369	2369	2369	2369	2369	2369	2369	2369
Peso del agua para la muestra	47.39	94.76	142.14	189.52	236.9					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6206	6262.2	6319.7	6372.5	6379.1					
Peso suelo Humedo (gr)	1943.5	1999.7	2057.2	2110	2116.5					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.04	2.10	2.16	2.22	2.22					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.02	2.04	2.06	2.06	2.04					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2017.83	2038.86	2061.93	2066.22	2044.44					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.1	37.4	37.4	36.8	37.3	36.8	36.8	37.1	36.8	37.4
Peso de envase + suelo humedo	159.5	197.8	148.3	153.0	130.3	142.8	147.5	184.8	140.4	133.5
Peso de envase +Suelo seco	158.1	195.6	145.2	150.2	131.8	138.1	139.8	127.9	131.7	126.1
Peso del agua	1.4	1.9	3.2	3.4	4.7	4.7	7.8	6.9	8.7	7.4
Peso suelo humedo	122.4	160.4	111.1	116.8	95.2	106	110.8	97.7	103.6	96.1
Peso del suelo seco	121	158.5	107.8	113.4	94.5	101.3	103	90.8	94.9	88.7
Contenido de humedad	1.16%	1.20%	3.06%	3.00%	4.97%	4.64%	7.57%	7.60%	9.17%	8.34%
Contenido de humedad promedio (%)	1.18%	3.03%	4.81%	7.58%	8.76%					

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 99: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C2 suelo natural + 3 % YH



Fuente: Elaboración propia



Tabla 102: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C3

MATERIAL Y MOLDE A UTILIZAR SEGÚN EL MÉTODO			
1	Molde	4	Pulg
2	Material a usar	2300	gr
3	Capas	5	capas
4	Golpes por capa	25	golpes

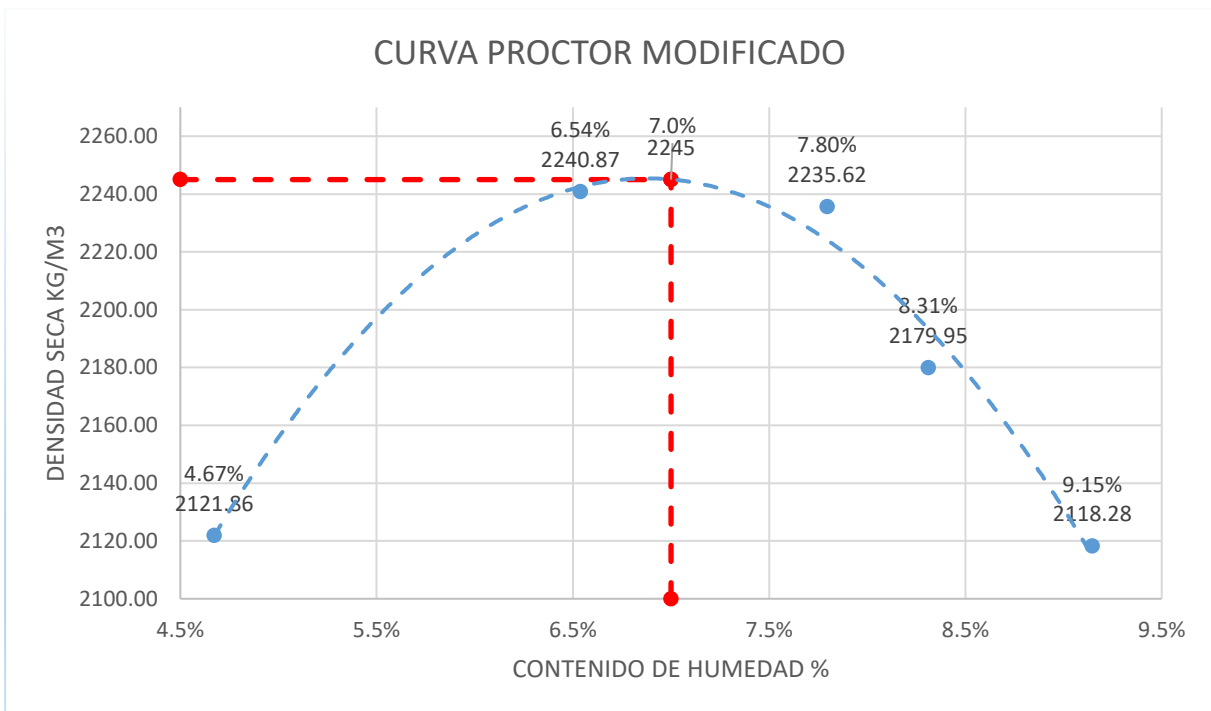
Fuente: Elaboración propia

Tabla 103: Contenido de humedad y densidad seca C3 suelo natural

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	12					
Peso de muestra (gr)	2300	2300	2300	2300	2300					
Peso del agua para la muestra	46	92	138	184	276					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6287.4	6395.7	6395.7	6337.7	6279					
Peso suelo Humedo (gr)	2019.9	2133.2	2128.2	2075.2	2015.5					
Peso específico Humedo (g/cm ³)	2.12	2.24	2.24	2.18	2.12					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.03	2.10	2.07	2.01	1.94					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2121.86	2240.87	2235.62	2179.95	2118.28					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	15.8	15.8	17.5	15.7	16.5	17.5	14.8	17.3	18.4	17.4
Peso de envase + suelo humedo	34.8	26.4	34.1	26.9	48.0	42.7	51.0	49.5	48.5	42.5
Peso de envase + Suelo seco	34	25.4	53.1	26.7	47.8	41.9	50.4	48.5	47.6	42.1
Peso del agua	0.8	0.5	1	0.7	0.8	0.8	1.2	1	0.9	0.4
peso suelo humedo	19	10.6	16.6	11.2	12.1	10.2	16.8	12.2	10.1	5.1
Peso del suelo seco	18.2	10.1	15.6	10.5	11.3	9.4	15.6	11.2	9.2	4.7
Contenido de humedad	4.40%	4.95%	6.41%	6.67%	7.08%	8.51%	7.69%	8.93%	8.78%	8.51%
Contenido de humedad promedio (%)	4.67%		6.54%		7.80%		8.31%		9.15%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 100: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C3 suelo natural



Fuente: Elaboración propia

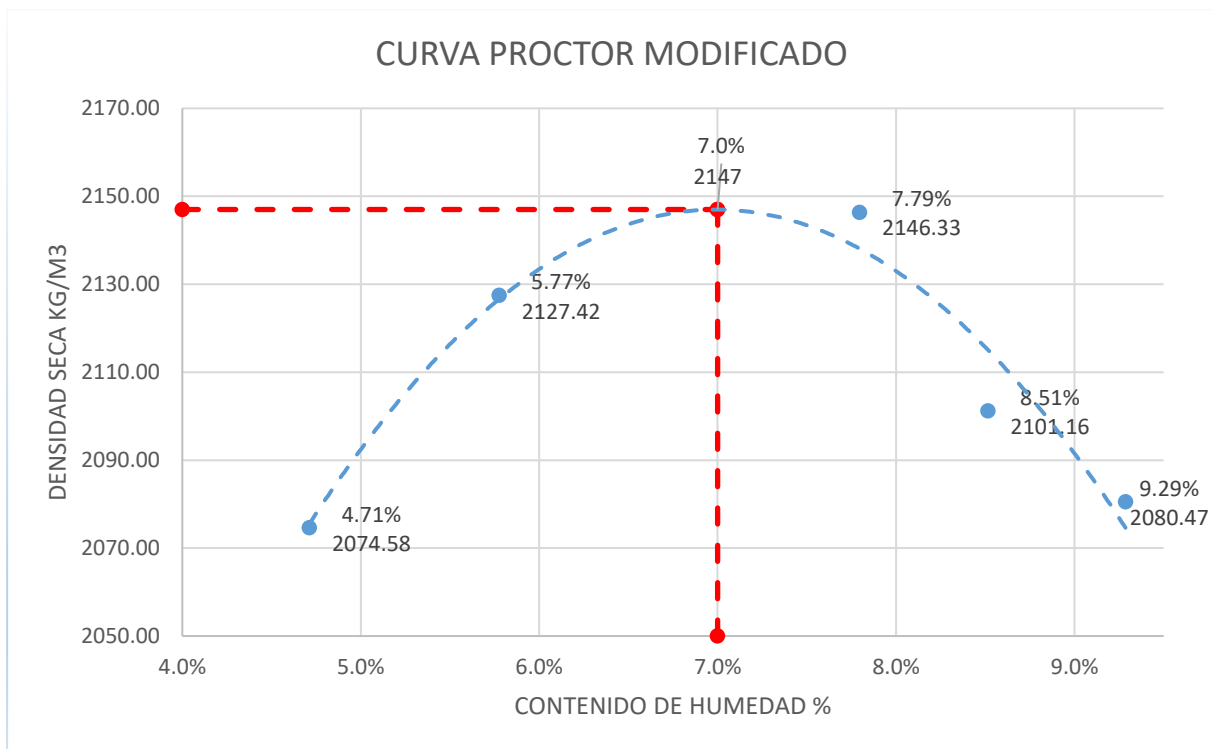


Tabla 104: Contenido de humedad y densidad seca C3 suelo natural + 1% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	12					
Peso de muestra (gr)	2323	2323	2323	2323	2323					
Peso del agua para la muestra	46.46	92.92	139.38	185.84	278.70					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6237.4	6282.7	6305.7	6262.7	6243					
Peso suelo Humedo (gr)	1974.9	2025.2	2048.2	2000.2	1980.5					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.07	2.13	2.15	2.10	2.08					
Peso específico seco (gr/cm ³)	1.98	2.01	1.99	1.94	1.93					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2074.58	2127.42	2146.33	2101.16	2080.47					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.6	36.7	37.5	37.6	37.4	37.5	37.3	37.3	36.8	36.7
Peso de envase + suelo humedo	151.2	135.6	142.5	138.5	146.2	151.1	132.2	154.7	146.7	135.8
Peso de envase +Suelo seco	147.2	130.2	136.8	132.90	142.9	142.1	124.5	118.1	136.9	127.9
Peso del agua	4	5.4	5.7	5.54	7.3	9	7.7	6.6	9.8	8
Peso suelo humedo	113.6	98.9	106	106.9	111.8	113.6	94.9	87.1	109.9	99.1
Peso del suelo seco	109.6	93.5	99.3	95.36	104.5	104.6	87.2	80.5	100.1	91.1
Contenido de humedad	3.65%	5.78%	5.74%	5.81%	6.99%	8.60%	8.83%	8.20%	8.79%	8.78%
Contenido de humedad promedio (%)	4.71%	5.77%	7.79%				8.51%		9.29%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 101: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C3 suelo natural + 1% YH



Fuente: Elaboración propia

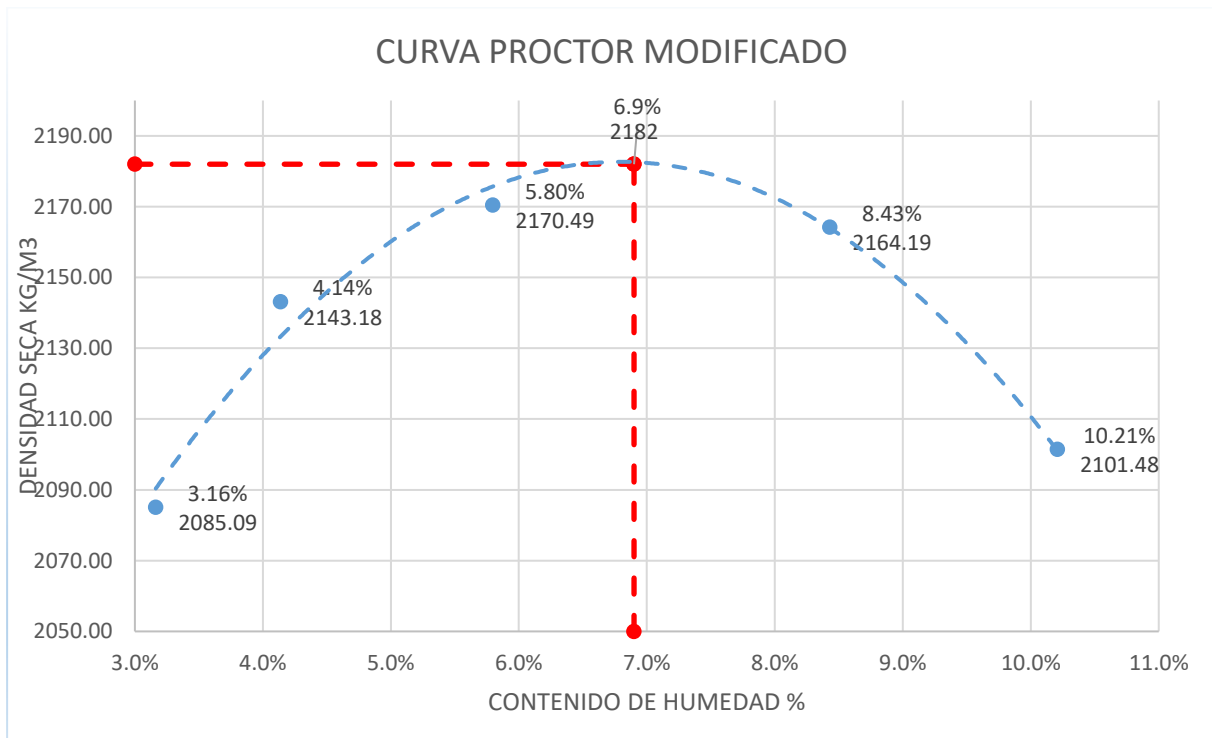


Tabla 105: Contenido de humedad y densidad seca C3 suelo natural + 2% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	12					
Peso de muestra (gr)	2346	2346	2346	2346	2346	2346	2346	2346	2346	2346
Peso del agua para la muestra	46.92	93.84	140.76	187.69	281.52					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6247.4	6302.7	6378.7	6522.7	6263					
Peso suelo Humedo (gr)	1984.9	2040.2	2066.2	2090.2	2000.5					
Peso específica húmeda (gr/cm ³)	2.09	2.14	2.17	2.16	2.10					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.02	2.06	2.05	2.03	1.91					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2085.09	2143.18	2170.49	2164.19	2101.48					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.3	37.6	37.1	37.6	37.4	36.8	36.7	37.5	36.8	36.7
Peso de envase + suelo húmedo	137.8	142.6	148.2	150.4	135.2	146.3	134.8	134.9	142.8	150.4
Peso de envase + Suelo seco	134.7	139.4	144.5	145.2	130.1	140.2	127.1	127.4	132.4	140.5
Peso del agua	3.1	3.2	3.7	5.2	5.1	6.3	7.7	7.5	10.4	9.9
peso suelo húmedo	100.5	105	111.1	112.8	97.8	109.7	98.1	97.4	106	113.7
Peso del suelo seco	97.4	101.8	107.4	107.6	92.7	103.4	90.4	89.9	95.6	103.8
Contenido de humedad	3.18%	3.14%	3.45%	4.82%	5.50%	6.09%	8.52%	8.34%	10.88%	9.54%
Contenido de humedad promedio (%)	3.16%		4.14%		5.80%		8.43%		10.21%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 102: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C3 suelo natural + 2% YH



Fuente: Elaboración propia

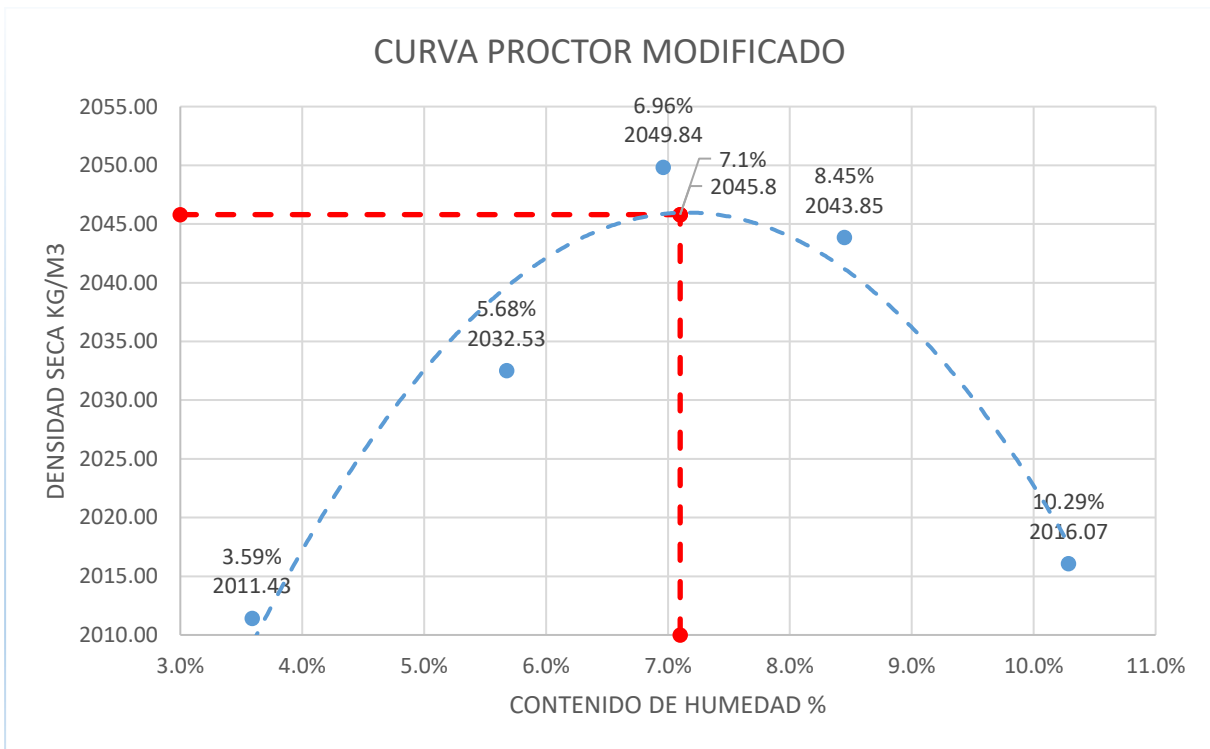


Tabla 106: Contenido de humedad y densidad seca C3 suelo natural + 3% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	12					
Peso de muestra (gr)	2369	2369	2369	2369	2369					
Peso del agua para la muestra	47.38	94.76	142.14	189.52	284.28					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6246	6307.2	6349.7	6372.5	6379.1					
Peso suelo Humedo (gr)	1983.5	2044.7	2067.2	2110	2116.6					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.08	2.15	2.19	2.22	2.22					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.01	2.09	2.09	2.04	2.02					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2011.43	2032.53	2049.84	2043.85	2016.07					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	36.8	37.6	36.7	37.6	37.6	36.7	36.7	36.8	37.5	37.4
Peso de envase + suelo humedo	133.4	134.8	151.8	158.9	160.1	145.7	152.7	155.8	157.8	159.4
Peso de envase + Suelo seco	149.7	150.4	145.9	150.2	152.7	138.1	143.5	146.7	147.1	147.5
Peso del agua	3.7	4.4	5.9	6.7	7.4	7.6	9.2	9.1	10.7	11.9
Peso suelo humedo	116.6	117.2	115.1	119.3	122.5	108	116	119	120.3	122
Peso del suelo seco	112.9	112.8	109.2	112.6	115.1	101.4	106.8	108.9	109.9	110.1
Contenido de humedad	3.28%	3.90%	5.40%	5.95%	6.43%	7.50%	8.61%	8.18%	9.76%	10.81%
Contenido de humedad promedio (%)	3.59%		5.68%		6.96%		8.45%		10.29%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 103: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C3 suelo natural + 3% YH



Fuente: Elaboración propia



Tabla 107: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C4

MATERIAL Y MOLDE A UTILIZAR SEGÚN EL MÉTODO			
1	Molde	4	Pulg
2	Material a usar	3000	gr
3	Capas	5	capas
4	Golpes por capa	25	golpes

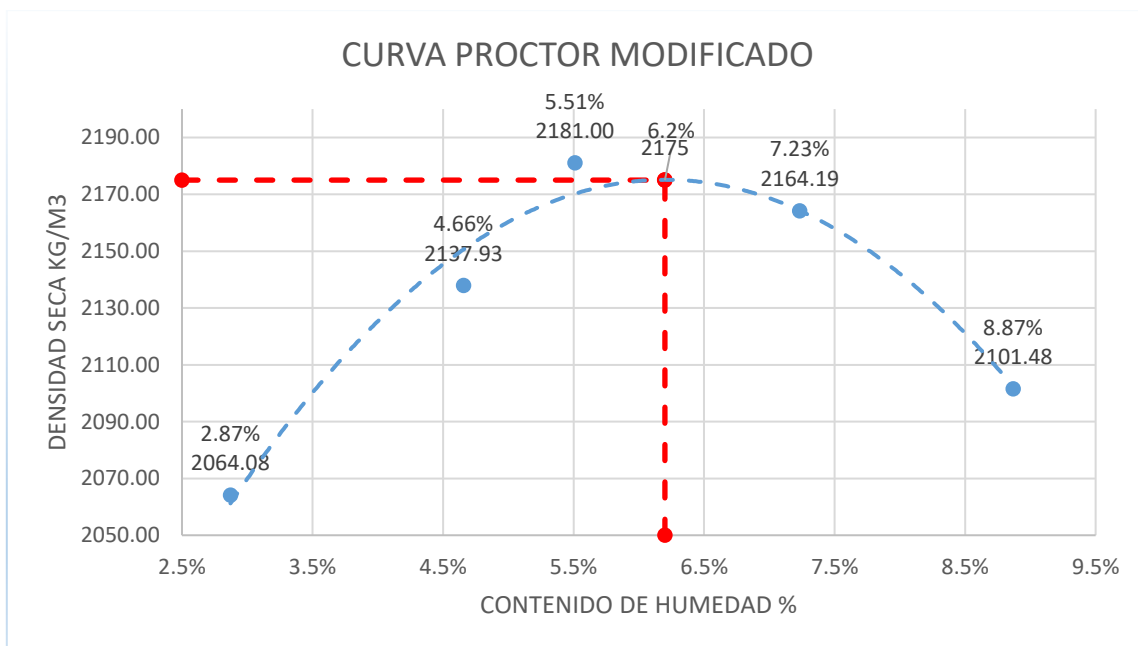
Fuente: Elaboración propia

Tabla 108: Contenido de humedad y densidad seca C4 suelo natural

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	5	7	9	11					
Peso de muestra (gr)	2300	2300	2300	2300	2300					
Peso del agua para la muestra	99	115	161	207	253					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6227.4	6297.7	6338.7	6322.7	6263					
Peso suelo Humedo (gr)	1964.9	2035.2	2079.2	2060.2	2000.5					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.05	2.14	2.18	2.16	2.10					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.01	2.04	2.07	2.02	1.93					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2064.08	2137.93	2181.00	2164.19	2101.48					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	35.8	37.3	36.7	36.8	37.3	37.5	37.1	35.8	35.9	35.7
Peso de envase + suelo humedo	134.8	149.1	126	161.2	118.4	110.3	160	47.5	52.5	51.4
Peso de envase +suelo seco	132.4	145.6	115.7	98.8	114.5	106.2	150.8	45.0	49.2	48.8
Peso del agua	2.4	3.5	4.3	2.4	3.0	4.1	9.2	1.9	3.3	2.6
peso suelo humedo	98	111.8	89.3	64.4	81.1	72.8	122.9	31.7	86.7	35.7
Peso del suelo seco	95.6	108.3	79	62	72.2	68.7	113.7	29.8	33.4	33.1
Contenido de humedad	2.51%	3.23%	5.44%	3.87%	5.03%	3.97%	8.09%	0.98%	9.88%	7.85%
Contenido de humedad promedio (%)	2.87%		4.66%		5.51%		7.23%		8.87%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 104: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C4 suelo natural



Fuente: Elaboración propia

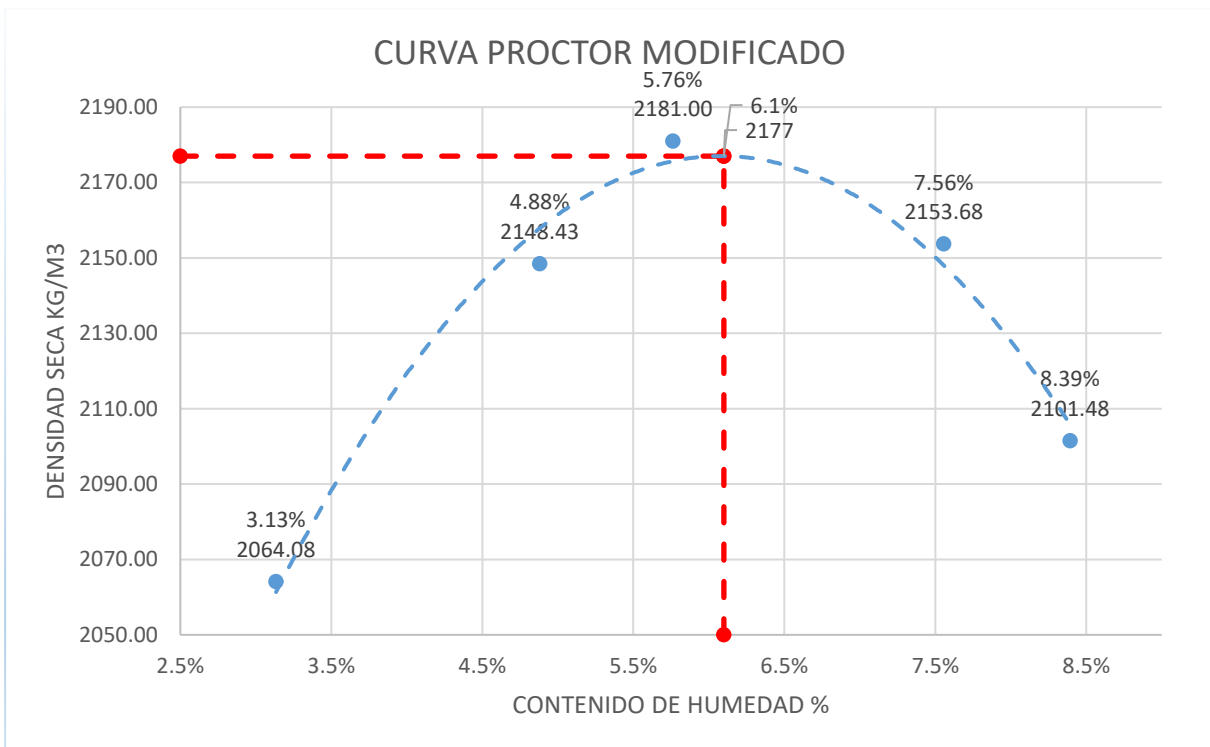


Tabla 109: Contenido de humedad y densidad seca C4 suelo natural + 1% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	5	7	9	11					
Peso de muestra (gr)	2323	2323	2323	2323	2323					
Peso del agua para la muestra	69.09	116.25	162.61	209.07	255.53					
Peso suelo Humeda + Molde (gr)	6327.4	6307.7	6338.7	6312.7	6263					
Peso suelo Humeda (gr)	2964.9	2045.2	2076.2	2030.2	2000.5					
Peso específico Humeda (gr/cm ³)	2.05	2.15	2.18	2.15	2.10					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.00	2.05	2.00	2.00	1.94					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2064.08	2148.43	2181.00	2153.68	2101.48					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.4	49.7	49.8	36.7	49.8	37.3	37.5	37.6	37.3	37.4
Peso de envase + suelo humeda	142.5	145.6	145.3	120.1	143.8	135.6	128.5	132.2	135.4	126.6
Peso de envase + Suelo seco	139.4	142.6	141.6	116.4	139.7	129.2	121.4	126.3	125.5	121.9
Peso del agua	3.1	3	4.7	3.7	4.1	6.4	7.1	5.9	9.9	4.7
peso suelo humedo	105.1	95.9	95.5	83.4	94	98.3	91	94.6	98.1	89.2
Peso del suelo seco	102	92.9	91.8	79.7	89.9	91.5	83.5	88.7	88.2	84.5
Contenido de humedad	3.04%	3.23%	5.12%	4.64%	4.50%	6.90%	8.40%	6.02%	11.22%	5.50%
Contenido de humedad promedio (%)	3.13%		4.88%		5.76%		7.56%		8.15%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 105: Gráfica de densidad seca y contenido de humedad C4 suelo natural + 1% YH



Fuente: Elaboración propia

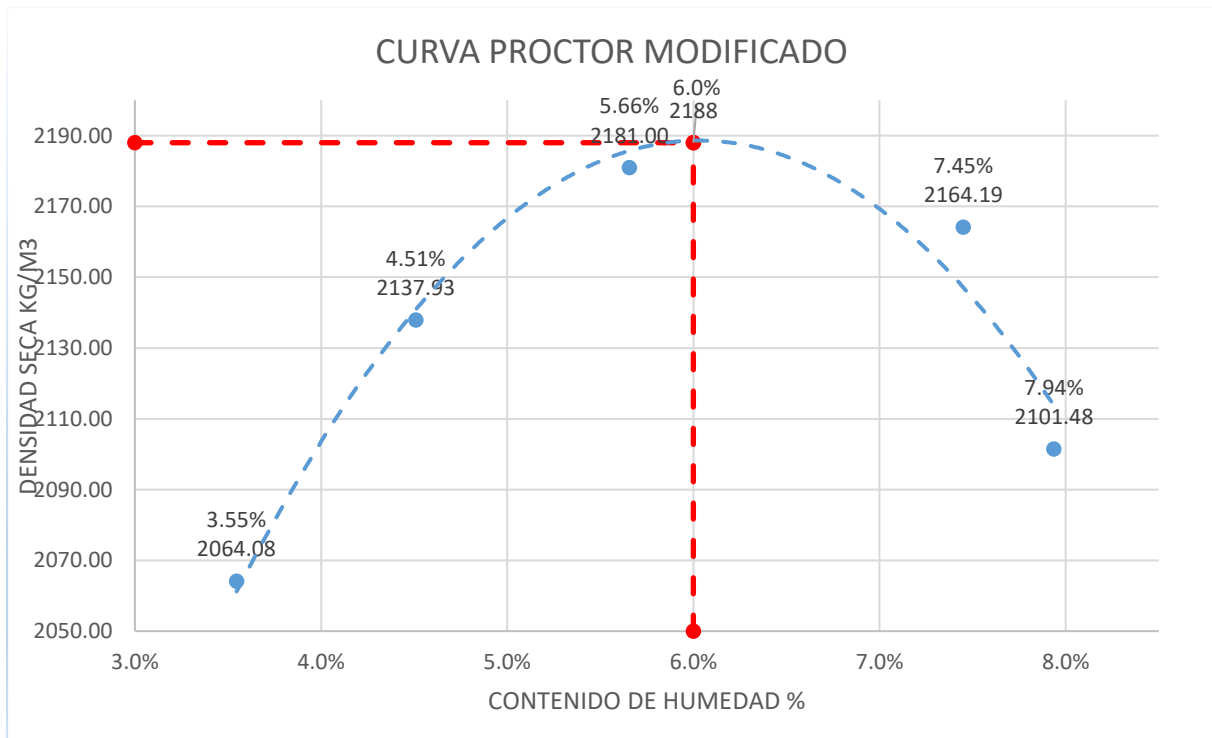


Tabla 110: Contenido de humedad y densidad seca C4 suelo natural + 2% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	5	7	9	11					
Peso de muestra (gr)	2340	2340	2340	2340	2340					
Peso del agua para la muestra	70.38	117.3	164.17	211.14	258.06					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6227.4	6297.7	6338.7	6322.7	6263					
Peso suelo Humedo (gr)	1964.9	2035.2	2076.2	2060.2	2000.5					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.06	2.14	2.18	2.15	2.10					
Peso específico seco (gr/cm ³)	1.99	2.05	2.06	2.01	1.95					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2064.08	2137.93	2181.00	2164.19	2101.48					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.1	37.4	40.7	40.7	37.4	36.8	50.6	36.7	37.4	36.8
Peso de envase + suelo humedo	140.2	143.1	135.2	145.9	120.9	130.8	126.9	132.5	134.9	140.9
Peso de envase + Suelo seco	136.3	141.8	132.1	141	116.4	125.8	120.2	127.7	127.4	133.6
Peso del agua	3.9	3.3	3.1	4.8	4.5	5	6.7	4.8	7.5	7.3
peso suelo humedo	103.1	107.7	85.5	96.1	83.5	84	76.3	95.8	97.5	104.1
Peso del suelo seco	99.2	104.4	82.4	91.3	79	89	69.6	91	90	96.8
Contenido de humedad	3.93%	3.16%	3.76%	5.26%	5.70%	5.62%	6.63%	5.27%	8.33%	7.54%
Contenido de humedad promedio (%)	3.55%		4.51%		5.66%		7.45%			7.64%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 106: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C4 suelo natural + 2% YH



Fuente: Elaboración propia

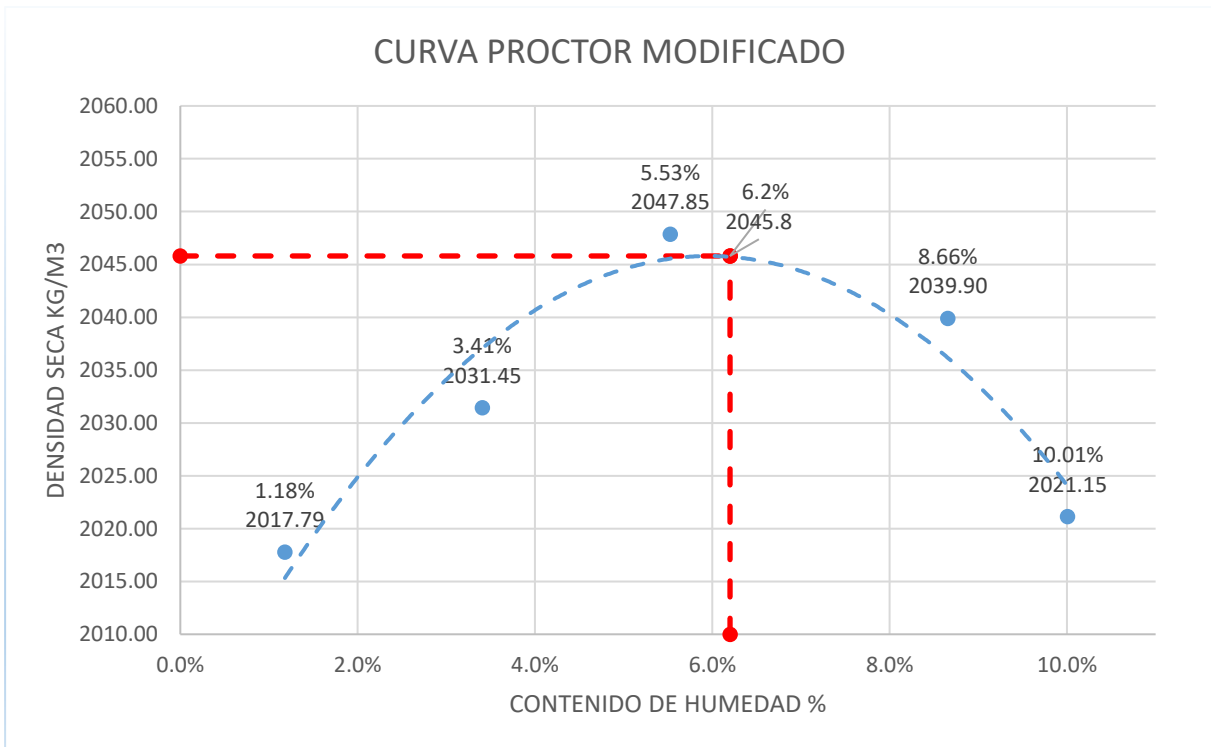


Tabla 111: Contenido de humedad y densidad seca C4 suelo natural +3% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	5	7	9	11					
Peso de muestra (gr)	2309	2309	2309	2309	2309					
Peso del agua para la muestra	71.07	118.45	165.83	213.21	260.59					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6206	6262.2	6329.7	6372.5	6379.1					
Peso suelo Humedo (gr)	1943.5	1998.7	2057.2	2110	2116.6					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.04	2.10	2.16	2.22	2.22					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.02	2.03	2.05	2.04	2.02					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2017.79	2031.45	2047.85	2039.90	2021.15					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.4	37.5	40.6	40	40.8	40.8	50.7	47.3	48.2	45
Peso de envase + suelo humedo	159.5	197.8	149.5	153.6	136.5	142.8	147.6	134.8	140.4	133.5
Peso de envase + Suelo seco	158.1	195.9	145.2	150.2	131.8	138.1	139.8	127.6	131.7	126.1
Peso del agua	1.4	1.9	3.3	3.4	4.7	4.7	7.8	6.9	8.7	7.4
Peso suelo humedo	122.1	163.3	98.9	104.6	86.7	93	96.6	87.5	92.2	84.5
Peso del suelo seco	120.7	138.4	95.6	101.2	82	88.3	89.1	80.6	83.5	77.1
Contenido de humedad	1.16%	1.20%	3.45%	3.36%	5.73%	5.32%	8.75%	8.56%	10.42%	9.60%
Contenido de humedad promedio (%)	1.18%		3.41%		5.53%		8.66%		10.01%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 107: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C4 suelo natural + 3% YH



Fuente: Elaboración propia



Tabla 112: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C5

MATERIAL Y MOLDE A UTILIZAR SEGÚN EL MÉTODO			
1	Molde	4	Pulg
2	Material a usar	2300	gr
3	Capas	5	capas
4	Golpes por capa	25	golpes

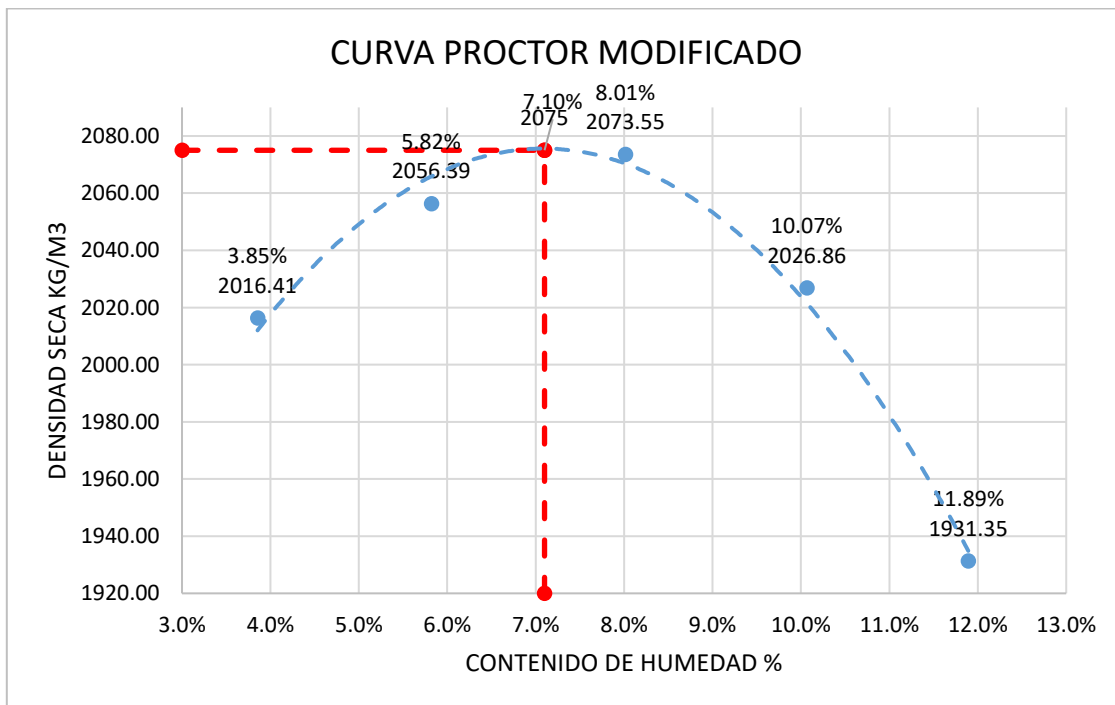
Fuente: Elaboración propia

Tabla 113: Contenido de humedad y densidad seca C5 suelo natural

Punto N°	DATOS								
	5	1	2	3	4	9	10	1	2
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5				
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95				
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	10				
Peso de muestra (gr)	2300	2300	2300	2300	2300				
Peso del agua para la muestra	46	92	138	184	230				
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6256	6394	6394.6	6386.2	6519.7				
Peso suelo Humedo (gr)	1993.5	2071.5	2132.1	2123.7	2057.2				
Peso específico húmedo (gr/cm ³)	2.09	2.18	2.24	2.23	2.16				
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.02	2.06	2.07	2.03	1.93				
DENSIDAD SECA KG/M ³	2016.41	2056.39	2073.55	2026.86	1981.35				
Envase N°	9	10	1	2	3	4	5	6	7
Peso de envase	36.8	37.3	36.7	37.9	36.8	37.4	37.1	37.5	37.3
Peso de envase + suelo húmedo	163.4	164.4	154.7	156	128.6	143	167.3	158.5	160.4
Peso de envase + Suelo seco	158.8	158.6	148.1	149.6	121.5	135.5	155	147.8	147.5
Peso del agua	3.6	5.8	6.6	6.4	7.1	7.5	12.3	10.7	12.9
peso suelo húmedo	126.6	127.1	118	118.4	91.8	105.6	130.2	121	123.1
Peso del suelo seco	123	121.3	111.4	112	84.7	98.1	117.9	110.3	110.2
Contenido de humedad	2.93%	4.78%	5.92%	5.71%	8.38%	7.65%	10.43%	9.76%	11.71%
Contenido de humedad promedio (%)	3.85%		5.82%		8.01%		10.07%		11.89%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 108: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C5 suelo natural



Fuente: Elaboración propia

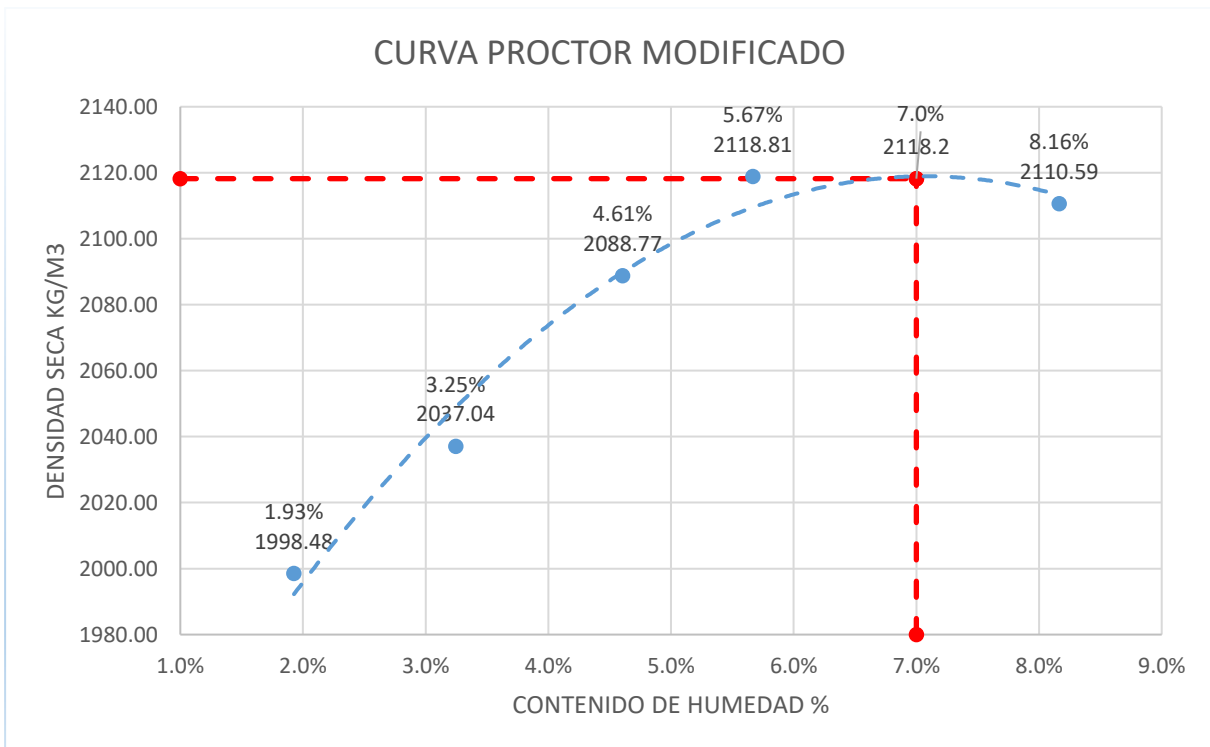


Tabla 114: Contenido de humedad y densidad seca C5 suelo natural + 1% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	10					
Peso de muestra (gr)	2323	2323	2323	2323	2323					
Peso del agua para la muestra	46.46	92.92	139.39	185.84	232.3					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	5201.6	5264.6	5342.5	6393.8	5435.7					
Peso suelo Humedo (gr)	1999.1	2002.1	2000	2131.3	2173.2					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.04	2.10	2.18	2.24	2.28					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.00	2.04	2.09	2.12	2.11					
DENSIDAD SECA KG/M ³	1998.48	2037.04	2088.77	2118.81	2110.59					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.5	49.8	49.7	36.8	49.7	36.7	37.3	37.3	37.5	37.3
Peso de envase + suelo humedo	150.2	160	159.4	138.9	156.9	145.2	142.6	146.2	159.4	165.8
Peso de envase + Suelo seco	148.5	157.5	155.2	136.4	152.4	140.2	137.5	139.8	148.1	158.4
Peso del agua	1.7	2.5	4.2	2.5	4.5	5	5.1	6.4	11.3	7.4
peso suelo humedo	112.7	110.2	109.7	102.1	107.2	108.5	105.4	108.9	121.9	128.5
Peso del suelo seco	111	107.7	105.5	99.6	102.7	103.5	100.2	102.5	110.6	121.1
Contenido de humedad	1.53%	2.32%	3.98%	2.51%	4.39%	4.83%	5.09%	6.24%	10.22%	6.11%
Contenido de humedad promedio (%)	1.93%		3.25%		4.61%		5.67%		8.16%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 109: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C5 suelo natural + 1% YH



Fuente: Elaboración propia

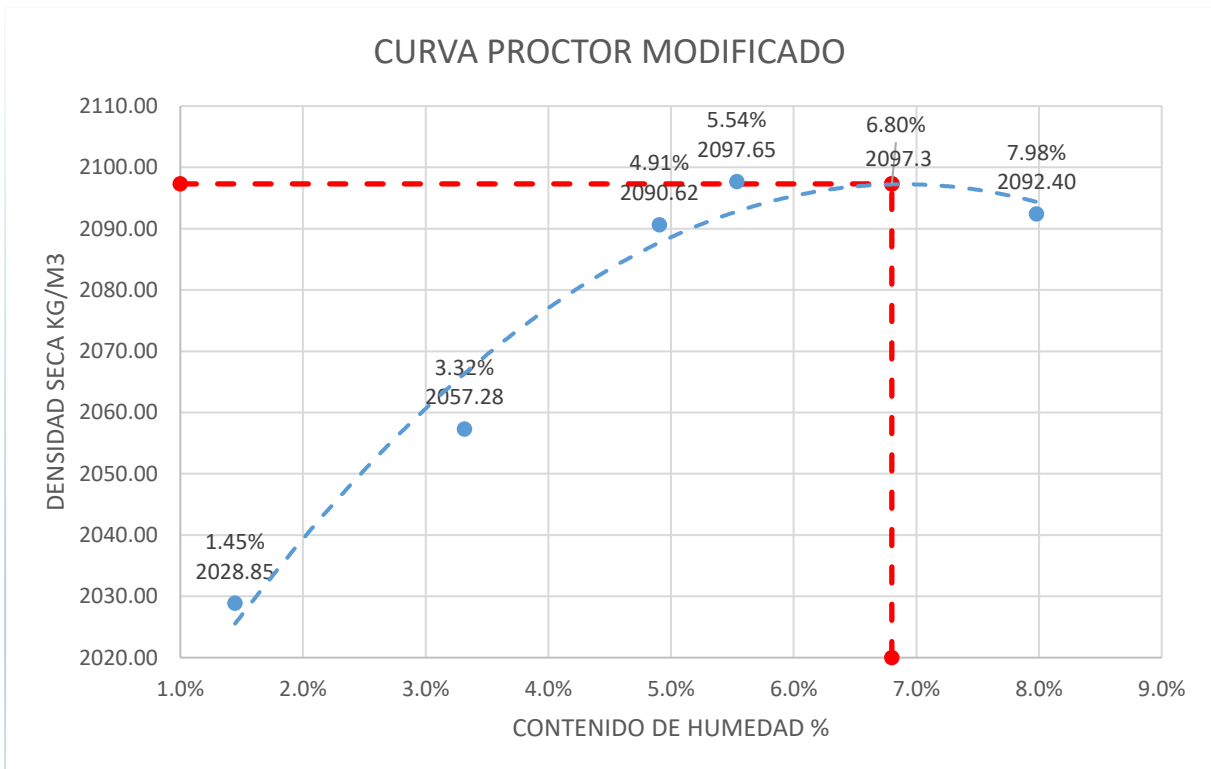


Tabla 115: Contenido de humedad y densidad seca C5 suelo natural + 2% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4262,5	4262,5	4262,5	4262,5	4262,5					
Volumen del molde (cm ³)	951,95	951,95	951,95	951,95	951,95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	10					
Peso de muestra (gr)	2346	2346	2346	2346	2346					
Peso del agua para la muestra	46,92	93,84	140,76	187,68	234,6					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6221,8	6285,9	6350,3	6369,5	6413,3					
Peso suelo Humedo (gr)	1959,3	2023,4	2097,8	2107,4	2150,8					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2,06	2,13	2,19	2,21	2,26					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2,03	2,06	2,09	2,10	2,09					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2028,85	2057,28	2090,62	2097,65	2092,40					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del envase	37,7	37,8	36,8	37,5	37,1	37,3	36,7	36,8	37,6	37,1
Peso de envase + suelo humedo	133,3	138,3	138,8	144,2	139,3	147	144,3	158	141,6	141,5
Peso del envase + Suelo seco	132,1	137,1	135,3	140,8	134,4	142	138,8	151,8	133,8	133,9
Peso del agua	1,4	1,4	3,3	3,4	4,9	5	5,8	9,2	7,8	7,6
Peso suelo humedo	95,8	100,7	107	106,7	102,2	109,7	107,9	121,2	104	104,4
Peso del suelo seco	94,4	99,3	98,7	103,3	97,3	104,7	102,1	115	96,2	96,8
Contenido de humedad	1,48%	1,41%	3,34%	3,29%	5,04%	4,78%	5,60%	5,39%	8,11%	7,85%
Contenido de humedad promedio (%)	1,45%		3,32%		4,91%		5,54%		7,98%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 110: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C5 suelo natural + 2% YH



Fuente: Elaboración propia

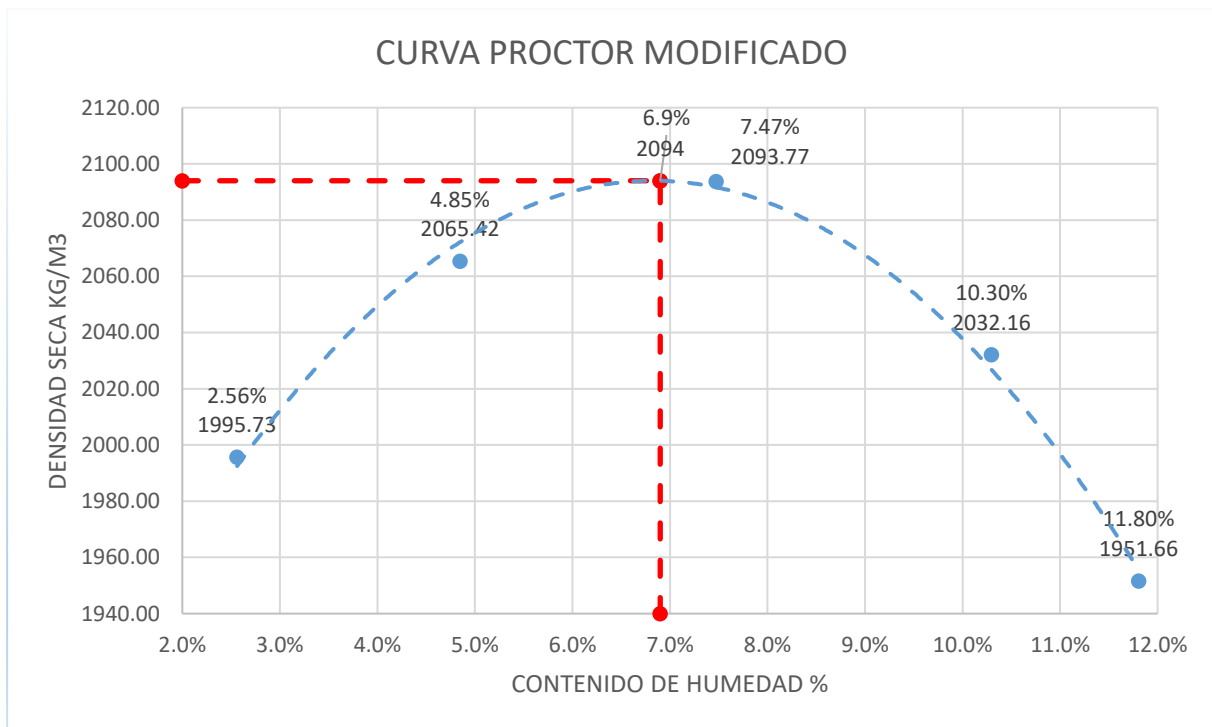


Tabla 116: Contenido de humedad y densidad seca C5 suelo natural + 3% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	10					
Peso de muestra (gr)	2309	2309	2309	2309	2309					
Peso del agua para la muestra	47.38	94.76	142.14	189.52	236.9					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	5211	5824	6404.6	6896.2	7389.7					
Peso suelo Humedo (gr)	1948.5	2061.5	2142.1	2133.7	2077.2					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.05	2.17	2.25	2.24	2.18					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.00	2.07	2.09	2.03	1.95					
DENSIDAD SECA KG/M ³	1995.73	2065.42	2093.77	2032.16	1951.66					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	49.7	36.7	37.4	37.6	36.8	37.5	36.7	50.6	37.3	40.8
Peso de envase + suelo humedo	169.4	164.4	154.7	150	128.6	143	107.9	158.5	160.4	173.1
Peso de envase + Suelo seco	161.2	160.5	148.9	150.3	132.1	135.8	154.0	148.6	148.4	153.1
Peso del agua	2.2	9.9	5.2	5.7	6.5	7.2	12.4	9.9	12	14
Peso suelo humedo	113.7	127.7	117.3	118.4	91.8	105.5	130.6	107.9	123.1	123.3
Peso del suelo seco	111.5	123.8	112.1	112.7	85.3	98.3	118.2	98	111.1	109.3
Contenido de humedad	1.97%	3.15%	4.64%	5.08%	7.62%	7.32%	10.49%	10.10%	10.80%	12.61%
Contenido de humedad promedio (%)	2.56%		4.85%		7.47%		10.30%		11.80%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 111: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C5 suelo natural + 3% YH



Fuente: Elaboración propia



Tabla 117: Elección de método de ensayo para Proctor Modificado de C6

MATERIAL Y MOLDE A UTILIZAR SEGÚN EL MÉTODO			
1	Molde	4	Pulg
2	Material a usar	2300	gr
3	Capas	5	capas
4	Golpes por capa	25	golpes

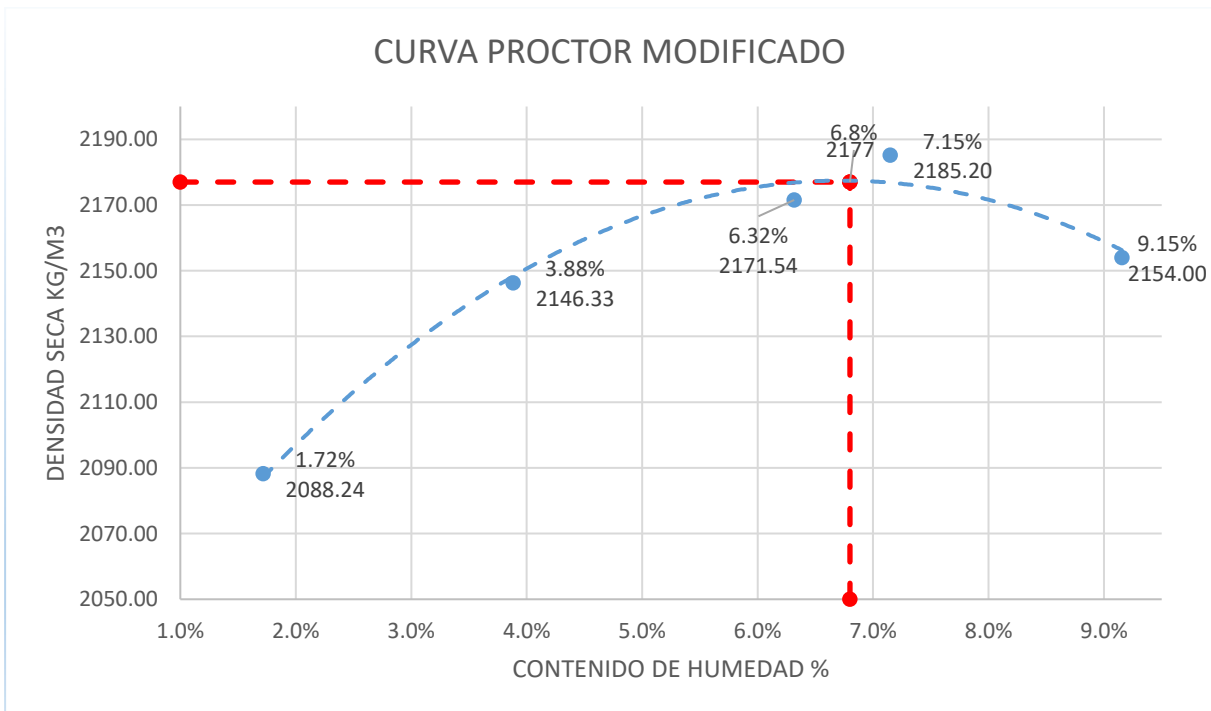
Fuente: Elaboración propia

Tabla 118: Contenido de humedad y densidad seca C6 suelo natural

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	5	7	9	11					
Peso de muestra (gr)	2300	2300	2300	2300	2300					
Peso de agua para la muestra	69	115	161	207	253					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6227.4	6297.7	6338.7	6322.7	6263					
Peso suelo Humedo (gr)	1964.9	2035.2	2076.2	2066.2	2000.5					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.06	2.14	2.18	2.16	2.10					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.01	2.04	2.07	2.54	1.99					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2064.08	2137.93	2181.00	2164.30	2101.48					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.5	37.5	37.6	37.4	37.3	37.6	37.3	50.6	37.4	36.7
Peso de envase + suelo humedo	134.8	149.1	120	101.2	118.4	110.3	160	47.5	52.5	51.4
Peso de envase + Suelo seco	102.4	145.6	115.7	98.8	114.5	106.2	150.8	45.8	49.2	48.8
Peso del agua	2.4	3.5	4.3	2.4	3.9	4.1	9.2	1.9	3.3	2.6
peso suelo humedo	97.3	111.6	82.4	63.8	81.1	72.7	122.7	3.1	15.1	14.7
Peso del suelo seco	94.0	108.1	78.1	61.4	77.2	68.6	113.5	5	11.8	12.1
Contenido de humedad	2.53%	3.24%	5.51%	3.91%	5.05%	5.98%	8.11%	-98.00%	27.97%	21.46%
Contenido de humedad promedio (%)	2.88%		4.71%		5.51%		-14.95%		24.73%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 112: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C6 suelo natural



Fuente: Elaboración propia

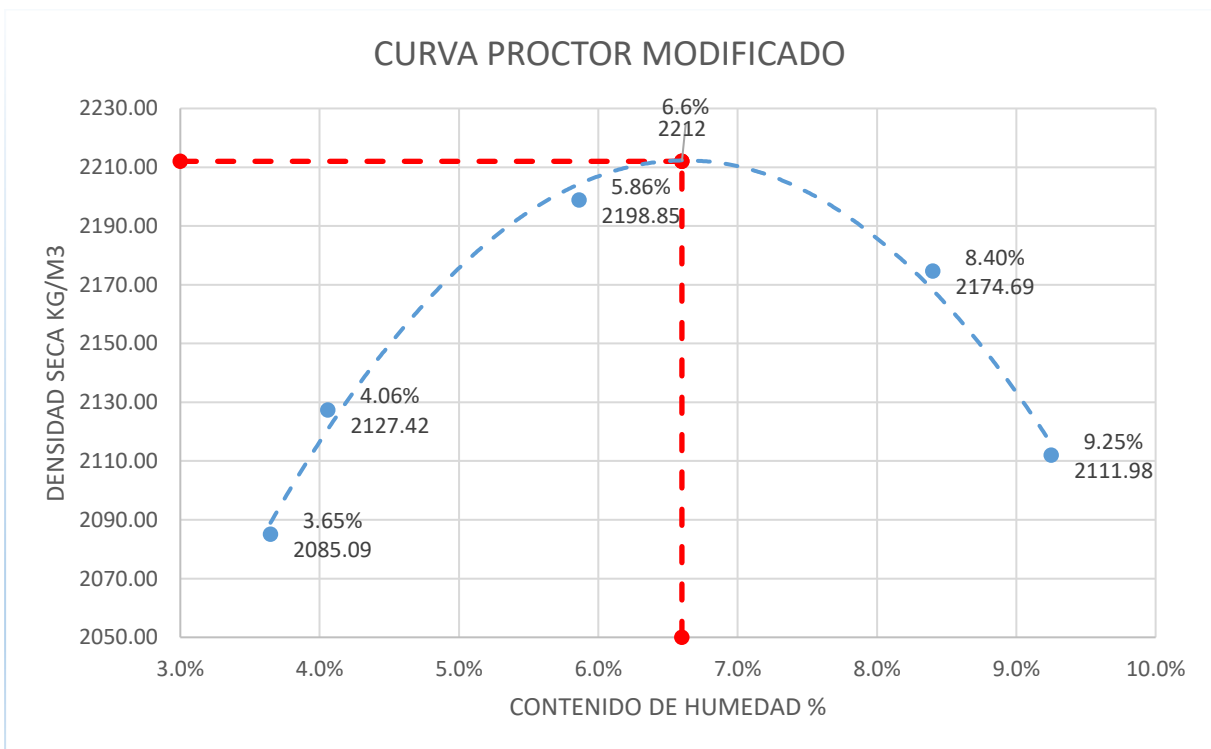


Tabla 119: Contenido de humedad y densidad seca C6 suelo natural + 1% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	5	7	9	11					
Peso de muestra (gr)	2323	2323	2323	2323	2323					
Peso del agua para la muestra	69.69	116.15	162.61	209.07	255.53					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6227.4	6307.7	6338.7	6312.7	6263					
Peso suelo Humedo (gr)	1964.9	2045.2	2076.2	2050.2	2000.5					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.06	2.15	2.18	2.15	2.10					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.00	2.05	2.07	2.00	1.94					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2064.08	2148.43	2181.00	2153.68	2101.48					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.6	37.5	37.3	37.5	36.7	37.4	37.3	37.3	36.8	37.4
Peso de envase + suelo humedo	142.5	145.6	146.3	170.1	143.8	125.6	128.3	132.2	135.4	126.5
Peso de envase + Suelo seco	139.4	142.6	141.6	116.4	139.7	129.2	121.4	126.3	125.5	121.9
Peso del agua	3.1	3	4.7	3.7	4.1	6.4	7.1	5.9	9.9	4.7
peso suelo humedo	104.9	108.1	106	82.6	107.1	98.2	91.2	94.9	99.6	89.2
Peso del suelo seco	101.8	105.1	104.3	78.0	103	91.8	84.1	89	88.7	84.5
Contenido de humedad	3.05%	2.85%	4.51%	4.09%	3.98%	6.97%	8.44%	6.63%	11.16%	5.50%
Contenido de humedad promedio (%)	2.95%		4.53%		5.48%		7.54%		8.36%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 113: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C6 suelo natural + 1% YH



Fuente: Elaboración propia

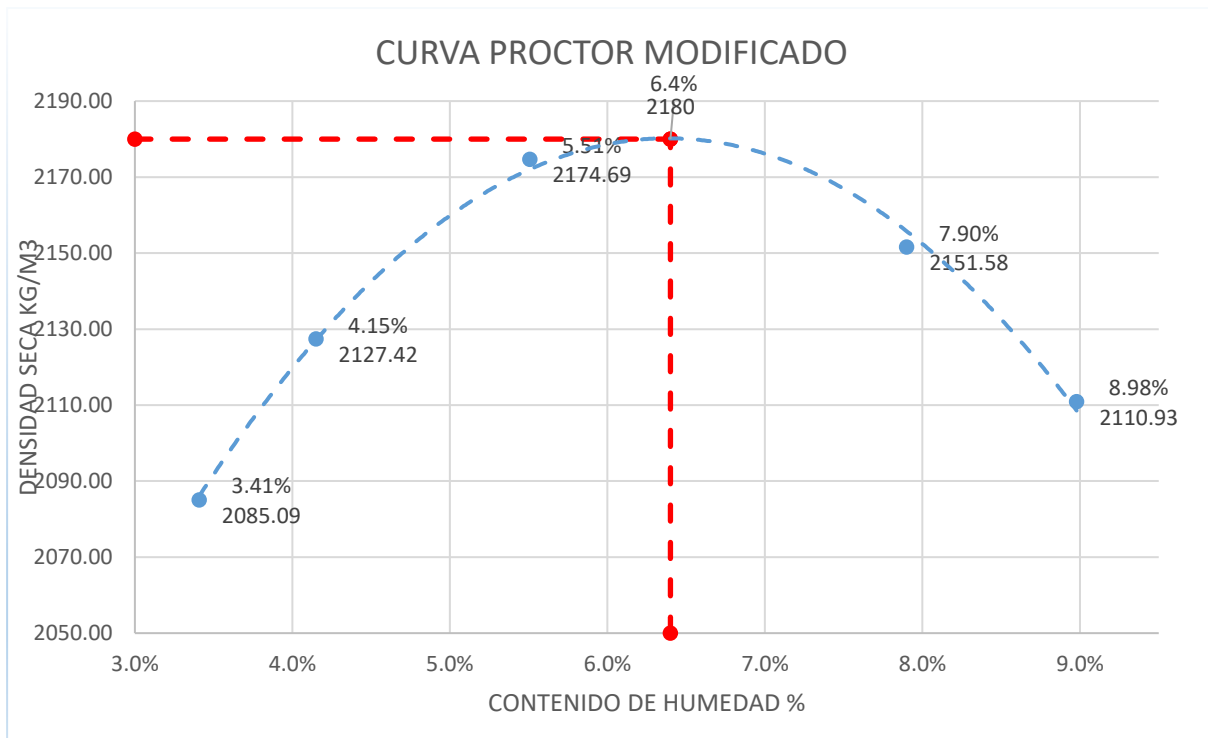


Tabla 120: Contenido de humedad y densidad seca C6 suelo natural + 2% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	3	5	7	9	11					
Peso de muestra (gr)	2346	2346	2346	2346	2346					
Peso del agua para la muestra	70.39	117.3	164.22	211.14	258.06					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6227.4	6257.7	6338.7	6322.7	6263					
Peso suelo Humedo (gr)	2964.9	2095.2	2076.2	2090.2	2000.5					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.05	2.14	2.18	2.16	2.10					
Peso específico seco (gr/cm ³)	1.99	2.05	2.06	2.01	1.95					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2054.08	2137.93	2181.00	2164.19	2101.48					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.1	37.4	40.7	40.7	37.4	36.8	50.6	36.7	37.4	36.8
Peso de envase + suelo humedo	140.2	145.1	135.2	145.8	120.8	130.8	126.9	132.5	134.9	140.9
Peso de envase +Suelo seco	136.3	141.8	132.1	141	116.4	125.8	120.7	127.7	127.4	133.6
Peso del agua	3.9	3.3	3.1	4.8	4.5	5	6.7	4.8	7.5	7.3
Peso suelo humedo	103.1	107.7	85.5	96.1	83.5	94	76.3	95.8	97.5	104.1
Peso del suelo seco	99.2	104.4	82.4	91.3	79	89	68.6	91	90	96.8
Contenido de humedad	3.93%	3.16%	3.76%	5.26%	5.70%	5.62%	9.63%	5.27%	8.33%	7.54%
Contenido de humedad promedio (%)	3.55%		4.51%		5.65%		7.45%		7.94%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 114: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C6 suelo natural + 2% YH



Fuente: Elaboración propia

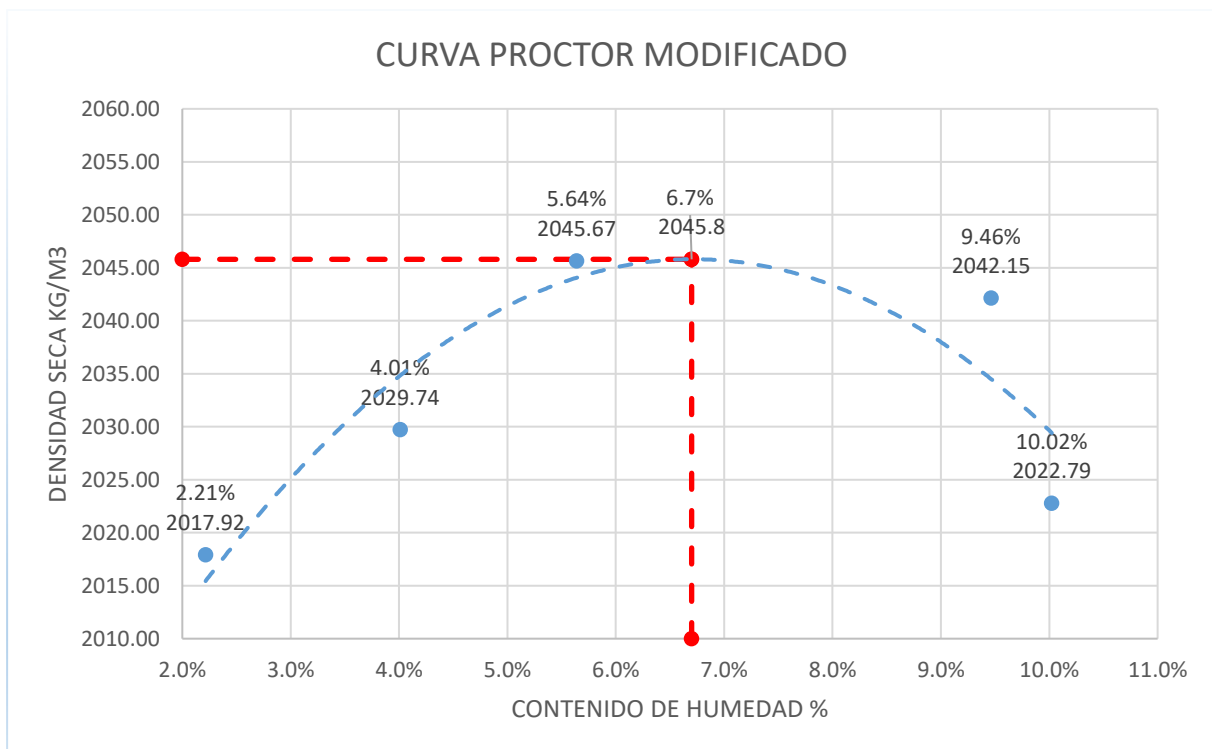


Tabla 121: Contenido de humedad y densidad seca C6 suelo natural + 3% YH

Punto N°	DATOS									
	1	2	3	4	5					
Peso del molde (gr)	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5	4262.5					
Volumen del molde (cm ³)	951.95	951.95	951.95	951.95	951.95					
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	2	4	6	8	10					
Peso de muestra (gr)	2369	2369	2369	2369	2369					
Peso del agua para la muestra	47.39	94.76	142.14	189.52	236.9					
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	6206	6262.2	6319.7	6372.5	6375.1					
Peso suelo Humedo (gr)	1943.5	1999.7	2057.2	2110	2116.6					
Peso específico humedo (gr/cm ³)	2.04	2.10	2.15	2.22	2.23					
Peso específico seco (gr/cm ³)	2.02	2.04	2.06	2.09	2.04					
DENSIDAD SECA KG/M ³	2017.86	2038.93	2061.93	2059.33	2043.80					
Envase N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso de envase	37.3	36.8	36.7	37.1	37.1	36.8	37.6	37.5	37.6	37.3
Peso de envase + suelo humedo	159.5	197.8	149.5	153.0	136.5	142.8	147.0	134.8	140.4	133.5
Peso de envase +Suelo seco	158.1	195.9	145.2	150.2	131.8	138.1	136.8	127.9	131.7	126.1
Peso del agua	1.4	1.9	3.3	3.4	4.7	4.7	7.8	6.9	8.7	7.4
peso suelo humedo	122.2	161	111.8	116.3	99.2	106	110	97.3	102.8	96.2
Peso del suelo seco	120.8	159.1	108.5	112.9	94.5	101.3	102.2	90.4	94.1	88.8
Contenido de humedad	1.16%	1.15%	3.04%	3.01%	4.97%	4.64%	7.63%	7.63%	9.25%	8.33%
Contenido de humedad promedio (%)	1.18%		3.03%		4.81%		7.63%		8.79%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 115: Grafica de densidad seca y contenido de humedad C6 suelo natural + 3% YH



Fuente: Elaboración propia

c) Análisis de prueba

Se obtuvo que en la mayoría de las calicatas se realizó con el método B, excepto la calicata C1 que se realizó con el método A.

El mayor valor de Densidad seca máxima fue de 2.25gr/cm³ de la calicata C3 suelo natural sin aditivo.

El mayor valor de Contenido de humedad óptimo fue de 7.8% de la calicata C1 suelo natural sin aditivo.



Se puede observar que el contenido de humedad óptimo (CHO) disminuye cuando se aumenta el porcentaje de aditivo, excepto al 3% que sube el valor de CHO.

3.5.2.7. Análisis de datos obtenidos en el ensayo de Relación de soporte California (CBR)

a) Procesamiento

Contenido de Humedad:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} * 100$$

- Densidad Húmeda:

$$\rho_m = \left(\frac{1}{VM} \right) * PMH$$

- Donde:
 - ρ_m = Densidad Húmeda (gr/cm³)
 - VM = Volumen de Molde (cm³)
 - PMH = Peso d muestra Húmeda (gr)
- Valor de Relación de Soporte: indicador de CBR en porcentaje (índice resistente)

$$CBR = \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria del Patrón}} * 100$$

Ilustración 116: Características de la muestra patrón

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

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Para calcular el CBR, se procede a graficar las curvas que relacionan las presiones (eje de las ordenadas) vs. Las penetraciones (eje de las abscisas), observando así la ubicación del punto de inflexión.

En el caso que no se encuentre un punto de inflexión, se toma los valores de 2,54 (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración.

En el caso que la curva presente un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortara el eje de las abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones que corresponde a 2,54 mm y 5,08 mm.

Una vez corregida la curva se toma los valores de esfuerzo – penetración para los valores de 0,1" y 0,2" y se calcula los valores de la relación de soporte que corresponden,



dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MN/m² y 10,3MN/m² respectivamente, para luego dichos valores multiplicarlos por 100.

- Expansión del suelo:

$$\%Expansión = \frac{L2 - L1}{127} * 100$$

Donde:

- L1: Lectura inicial en mm
- L2: Lectura final en mm

Los ensayos fueron realizados en base al “Manual de Ensayos de Materiales” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



b) Diagramas y tablas

Tabla 122: Ensayo CBR C1 Suelo Natural – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.08%	6.32%	9.01%	11.92%	14.24%
Densidad seca (gr/cm3)	1.90	1.95	1.96	1.92	1.80

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	7.8	%
2	Densidad Seca Máxima	1.9700	gr/cm3
3	Humedad Natural	5.74%	%
4	% de Agua a añadir	7.8	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	6916.7		8120		6930	
Diametro (cm)	15.25		15.28		15.286	
Altura (cm)	17.79		17.76		17.78	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2129.75		2132.63		2137.98	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	7.8		7.8		7.8	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	390		390		390	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11395		12775		11560	
Peso suelo Humedo (gr)	4478.3		4655		4630	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.10		2.18		2.17	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	37.3	37.6	37.2	36.6	37.3	37.3
Peso de envase + suelo humedo	112.4	132	111.7	131.6	111	124
Peso de envase +Suelo seco	105	123	104.7	122.5	104.2	115.1
Peso del agua	7.4	9	7	9.1	6.8	8.9
peso suelo humedo	75.1	94.4	74.5	95	73.7	86.7
Peso del suelo seco	67.7	85.4	67.5	85.9	66.9	77.8
Contenido de humedad	10.93%	10.54%	10.37%	10.59%	10.16%	11.44%
Contenido de humedad promedio (%)	10.73%		10.48%		10.80%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.90		1.98		1.95	

Muestra	Muestra 01 (12 golpes)					Muestra 02 (26 golpes)					Muestra 03 (56 golpes)				
Tiempo Transcurrido	Dial		Deformación		% de Expans.	Dial		Deformación		% de Expans.	Dial		Deformación		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm			*0.001"	pulg	mm		
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%		0.0	0	0	0.00%	
0.0625	1 hor 30 min	0.5	0.0005	0.0127	0.01%	2.0	0.0020	0.0508	0.04%		1.5	0.0015	0.0381	0.03%	
0.125	3 hor 00 min	1.0	0.0010	0.0254	0.02%	3.5	0.0035	0.0889	0.07%		2.5	0.0025	0.0635	0.05%	
0.25	6 hor 00 min	1.5	0.0015	0.0381	0.03%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%		3.5	0.0035	0.0889	0.07%	
0.5	12 hor 00 min	2.2	0.0022	0.0559	0.04%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%		4.0	0.0040	0.1016	0.08%	
1	24 hor 00 min	2.8	0.0028	0.0711	0.06%	5.5	0.0055	0.1397	0.11%		4.5	0.0045	0.1143	0.09%	
2	48 hor 00 min	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%		5.0	0.0050	0.1270	0.10%	
4	96 hor 00 min	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%		5.5	0.0055	0.1397	0.11%	

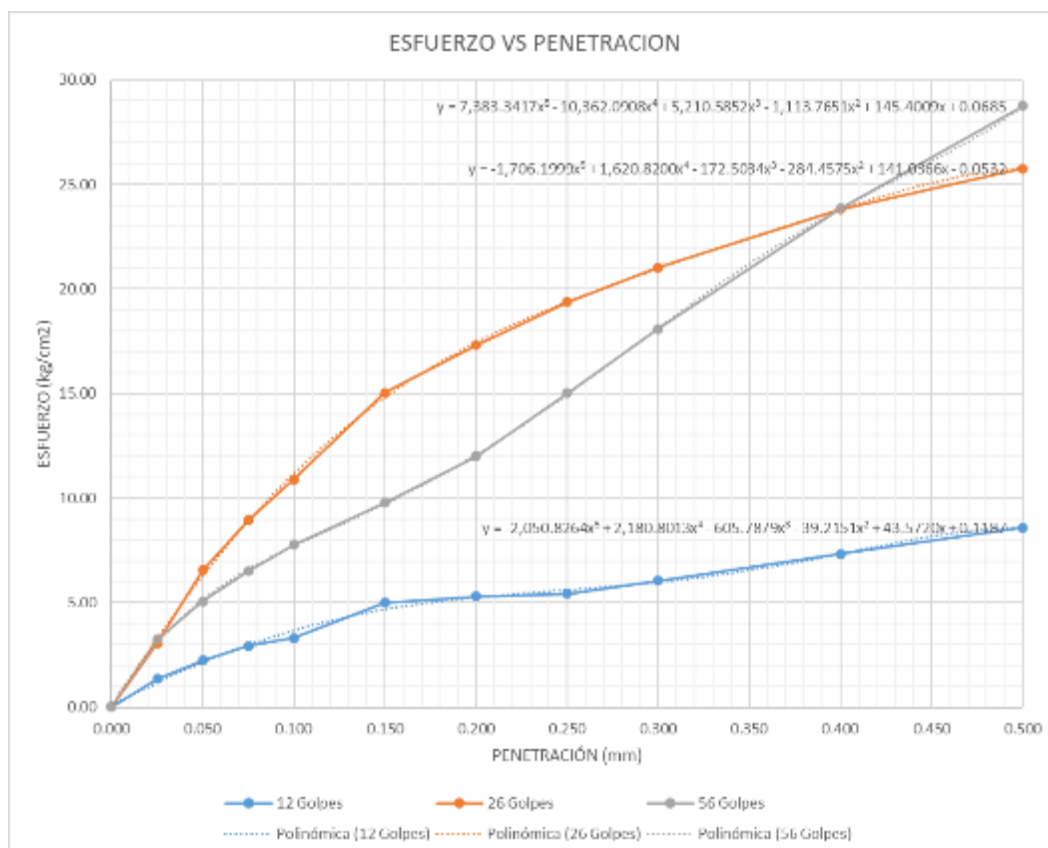




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	UNIDAD
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.0762	0.1524	0.1397	mm
Hinchamiento	0.0762	0.1524	0.1397	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.06%	0.12%	0.11%	%

DATOS DEL PISTON		
Diametro de piston	4.95	cm
Area de piston	19.2442185	cm ² .

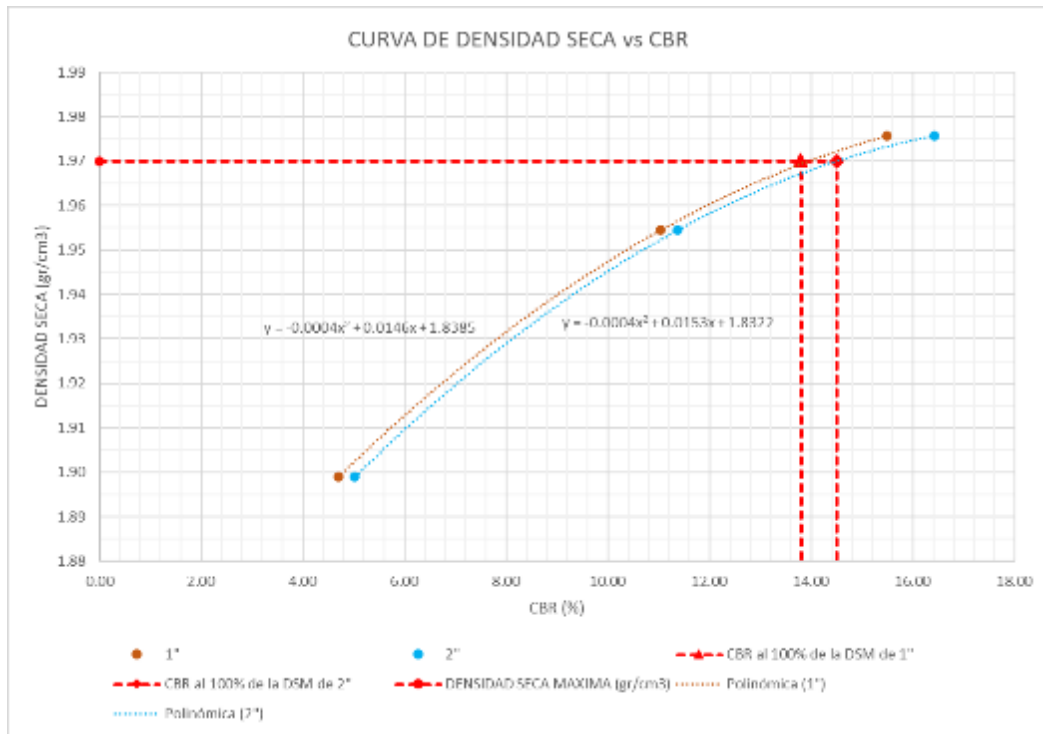
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01 Carga (KN)	Molde 01 Esfuerzo (kg/cm ²)	Molde 02 Carga (KN)	Molde 02 Esfuerzo (kg/cm ²)	Molde 03 Carga (KN)	Molde 03 Esfuerzo (kg/cm ²)
(mm)	(pulg)						
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.256	1.36	0.576	3.05	0.612	3.24
1.27	0.050	0.422	2.24	1.237	6.55	0.956	5.07
1.91	0.075	0.552	2.92	1.688	8.95	1.229	6.51
2.54	0.100	0.623	3.30	2.057	10.90	1.465	7.76
3.81	0.150	0.943	4.99	2.840	15.05	1.845	9.77
5.08	0.200	1.000	5.30	3.270	17.32	2.264	12.00
6.35	0.250	1.024	5.43	3.658	19.38	2.836	15.02
7.62	0.300	1.143	6.06	3.967	21.02	3.417	18.10
10.16	0.400	1.384	7.33	4.495	23.82	4.501	23.85
12.70	0.500	1.621	8.59	4.864	25.77	5.426	28.75





OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.30	5.30	10.90	17.32	7.76	12.00
CBR (%)	4.70	5.02	15.50	16.43	11.04	11.38

OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.30	5.30	10.90	17.32	7.76	12.00
CBR (%)	4.70	5.02	15.50	16.43	11.04	11.38



DENSIDAD SECA MAXIMA	1.9700
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	13.80	14.50

Fuente: Elaboración propia



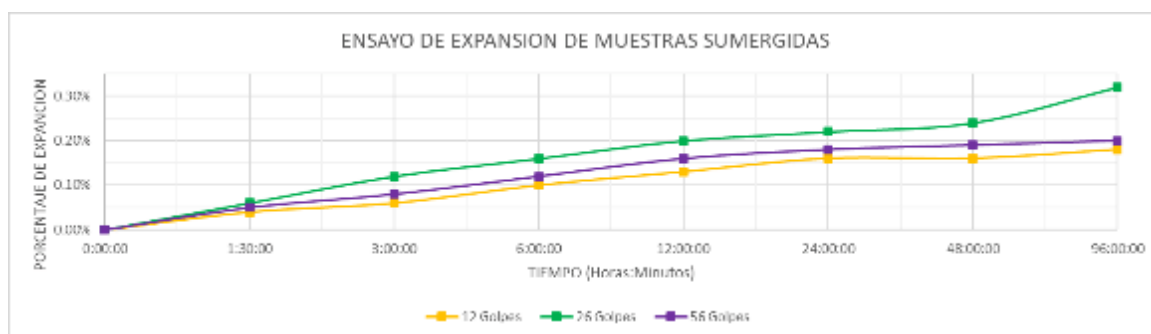
Tabla 123: Ensayo CBR C1 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.69%	6.62%	8.29%	10.78%	12.85%
Densidad seca (gr/cm3)	1.98	1.99	2.01	1.99	1.96

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	7.6	%
2	Densidad Seca Máxima	2.0015	gr/cm3
3	Humedad Natural	5.74%	%
4	% de Agua a añadir	7.6	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	8190		8010		8460	
Diametro (cm)	15.28		15.268		15.282	
Altura (cm)	17.75		17.78		17.765	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2130.80		2132.95		2134.11	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	7.6		7.6		7.6	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	380		380		380	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12505		12335		12748	
Peso suelo Humedo (gr)	4315		4325		4288	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.03		2.03		2.01	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	37.1	37.8	37.4	37.2	37.1	37.2
Peso de envase + suelo humedo	122.1	151.6	164.2	160.3	130.7	143.5
Peso de envase +Suelo seco	112.1	137.8	156.2	151.4	128.2	141.5
Peso del agua	10	13.8	8	8.9	2.5	2
peso suelo humedo	85	113.8	126.8	123.1	93.6	106.3
Peso del suelo seco	75	100	118.8	114.2	91.1	104.3
Contenido de humedad	13.33%	13.80%	6.73%	7.79%	2.74%	1.92%
Contenido de humedad promedio (%)	13.57%		7.26%		2.33%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.78		1.89		1.96	

Muestra	Muestra 01 (12 golpes)					Muestra 02 (26 golpes)					Muestra 03 (56 golpes)				
Tiempo Transcurrido	Dial	Deformación			% de Expans.	Dial	Deformación			% de Expans.	Dial	Deformación			% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm			*0.001"	pulg	mm		
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%		0.0	0	0	0.00%	
0.0625	1 hor 30 min	2.0	0.0020	0.0508	0.04%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%		2.5	0.0025	0.0635	0.05%	
0.125	3 hor 00 min	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%		4.0	0.0040	0.1016	0.08%	
0.25	6 hor 00 min	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%		6.0	0.0060	0.1524	0.12%	
0.5	12 hor 00 min	6.5	0.0065	0.1651	0.13%	10.0	0.0100	0.2540	0.20%		8.0	0.0080	0.2032	0.16%	
1	24 hor 00 min	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	11.0	0.0110	0.2794	0.22%		9.0	0.0090	0.2286	0.18%	
2	48 hor 00 min	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	12.0	0.0120	0.3048	0.24%		9.5	0.0095	0.2413	0.19%	
4	96 hor 00 min	9.0	0.0090	0.2286	0.18%	16.0	0.0160	0.4064	0.32%		10.0	0.0100	0.2540	0.20%	

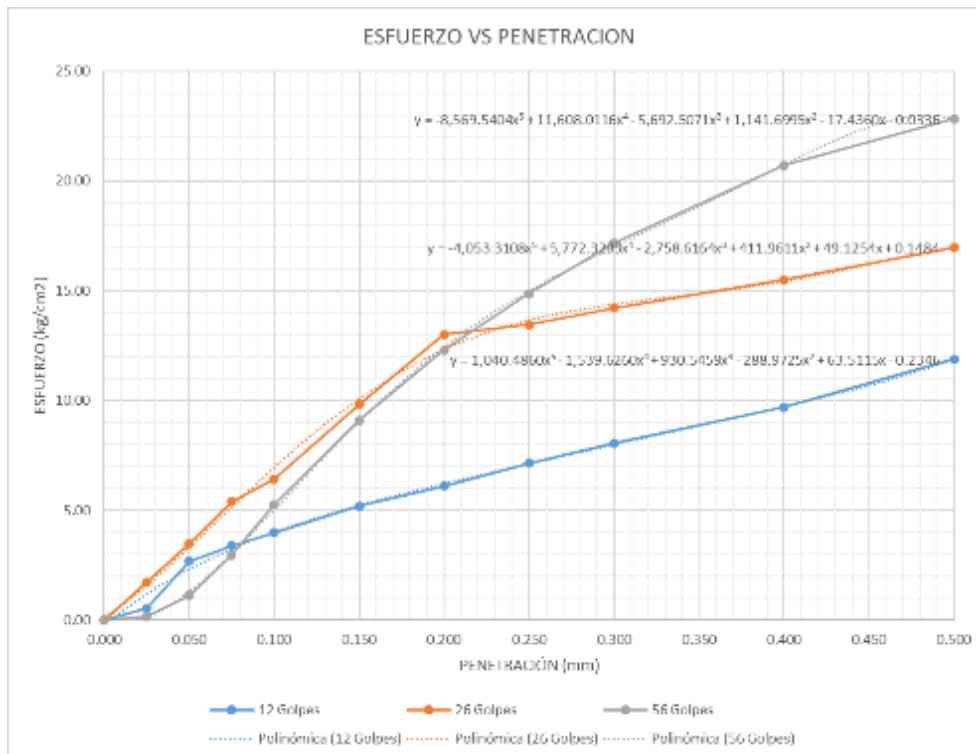




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.2286	0.4064	0.254	mm
Hinchamiento	0.2286	0.4064	0.254	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.18%	0.32%	0.20%	%

DATOS DEL PISTON		
Diametro de piston	4.95	cm
Area de piston	19.2442185	cm ² .

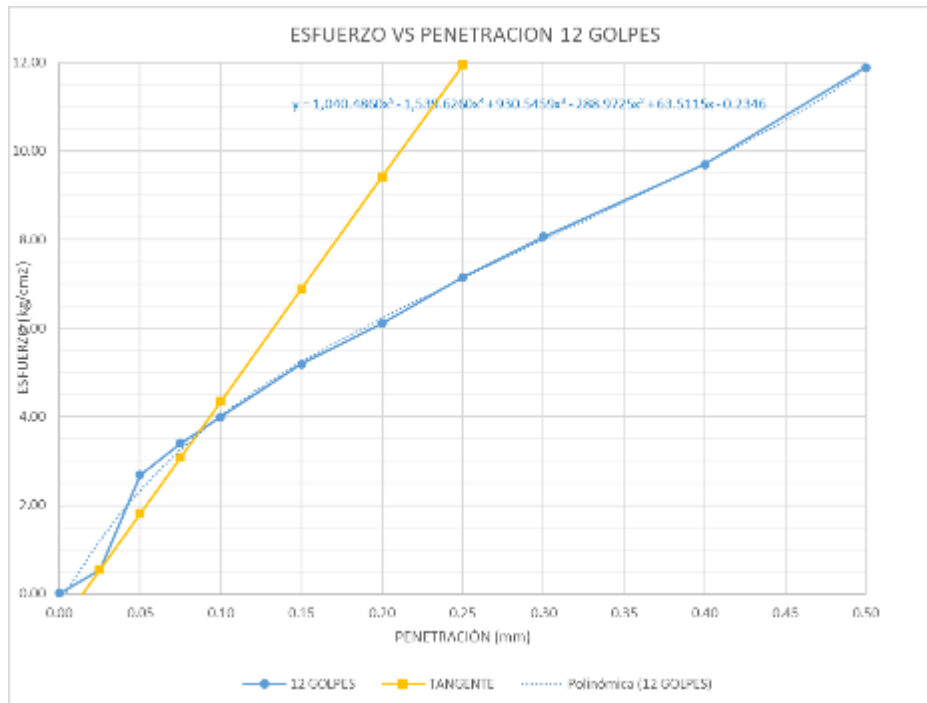
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.102	0.54	0.327	1.73	0.032	0.17
1.27	0.050	0.506	2.68	0.658	3.49	0.214	1.13
1.91	0.075	0.641	3.40	1.020	5.40	0.560	2.97
2.54	0.100	0.754	4.00	1.213	6.43	0.993	5.26
3.81	0.150	0.979	5.19	1.855	9.83	1.719	9.11
5.08	0.200	1.153	6.11	2.456	13.01	2.322	12.30
6.35	0.250	1.350	7.15	2.540	13.46	2.805	14.86
7.62	0.300	1.522	8.06	2.684	14.22	3.242	17.18
10.16	0.400	1.830	9.70	2.926	15.50	3.908	20.71
12.70	0.500	2.244	11.89	3.202	16.97	4.307	22.82



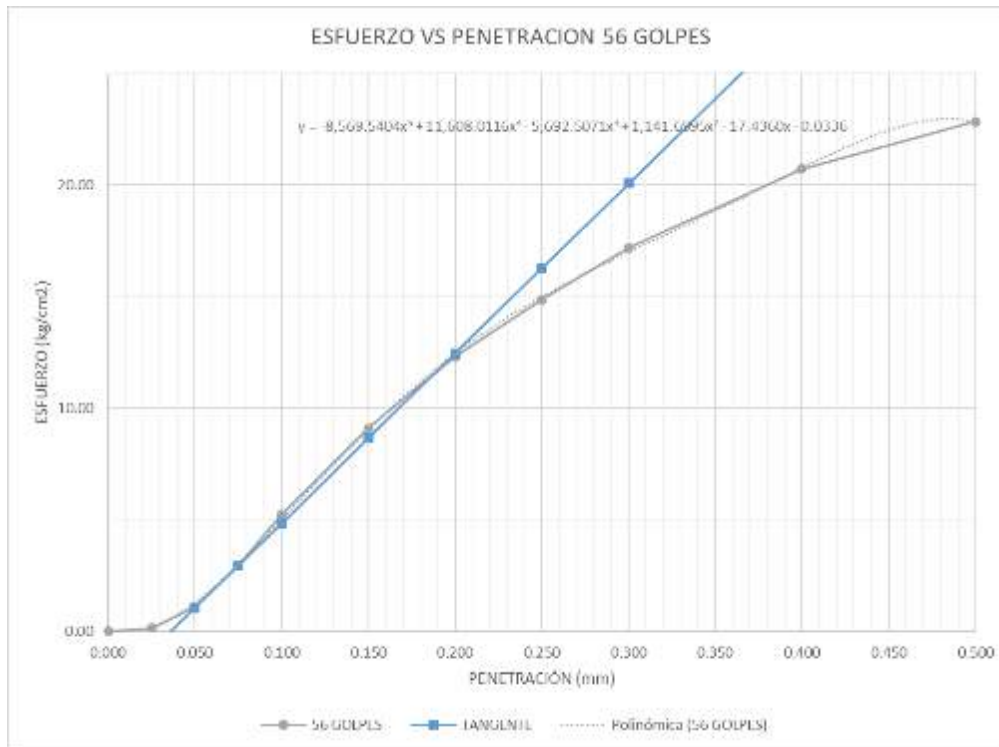
OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)						
Presión (kg/cm ²)	4.00	6.11	6.43	13.01	5.26	12.30
CBR (%)	5.68	5.79	9.14	12.34	7.48	11.67



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)							
$f(x) =$	1040.4860	$x^5 +$	-1539.6260 $x^4 +$	930.5459 $x^3 +$	-288.9725 $x^2 +$	63.5115 $x +$	-0.2346
$d/dx f(x) =$	5202.4300	$x^4 +$	-6158.5040 $x^3 +$	2791.6377 $x^2 +$	-577.9450 $x +$	63.5115	
Pendiente para la recta tangente		$x =$	0.03	$y =$	0.54		
$m =$	50.71	$x_1 =$	0.03	$y_1 =$	0.54		
Ecuacion de la Recta				$y = m*(x-x_1)+y_1$			
$y = 50.7135 x +$				-0.7274			
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.01	pulgadas				
		0.36	mm				
Penetracion para 1"	=	0.11	pulgadas				
Penetracion para 2"	=	0.21	pulgadas				
Esfuerzo para 1"	=	5.07	kg/cm ²				
Esfuerzo para 2"	=	10.14	kg/cm ²				



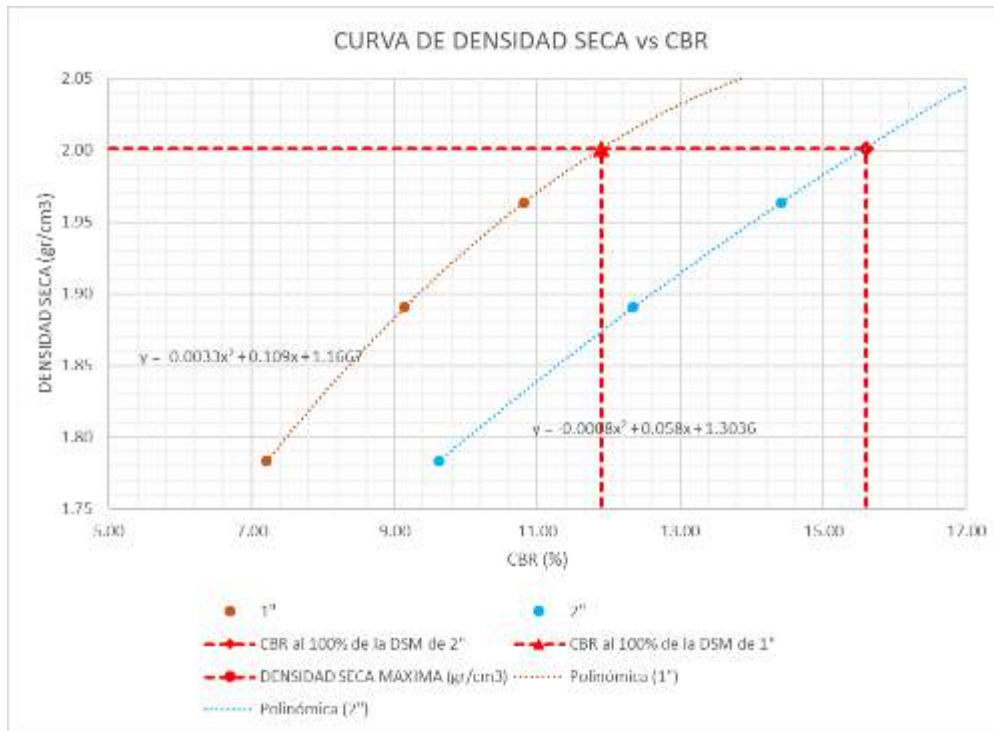
CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (56 GOLPES)							
$f(x) =$	-8569.5404	$x^5 +$	11608.0116 $x^4 +$	-5692.5071 $x^3 +$	1141.6995 $x^2 +$	-17.4360 $x +$	-0.0336
$d/dx f(x) =$	-42847.70	$x^4 +$	46432.05 $x^3 +$	-17077.52 $x^2 +$	2283.40 $x +$	-17.44	
Pendiente para la recta tangente		$x =$	0.08	$y =$	2.97		
$m =$	75.99	$x_1 =$	0.08	$y_1 =$	2.97		
Ecuacion de la Recta				$y = m*(x-x_1)+y_1$			
$y = 75.9907 x +$				-2.7320			
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.04	pulgadas				
		0.91	mm				
Penetracion para 1"	=	0.14	pulgadas				
Penetracion para 2"	=	0.24	pulgadas				
Esfuerzo para 1"	=	7.60	kg/cm ²				
Esfuerzo para 2"	=	15.20	kg/cm ²				



TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01 Esfuerzo	Molde 02 Esfuerzo	Molde 03 Esfuerzo
(mm)	(pulg)			
0.00	0.000	-0.73	0.01	-2.73
0.64	0.025	0.54	1.73	-0.83
1.27	0.050	1.81	3.49	1.07
1.91	0.075	3.08	5.40	2.97
2.54	0.100	4.34	6.43	4.87
3.81	0.150	6.88	9.83	8.67
5.08	0.200	9.42	13.01	12.47
6.35	0.250	11.95	13.46	16.27
7.62	0.300	14.49	14.22	20.07
10.16	0.400	19.56	15.50	27.66
12.70	0.500	24.63	16.97	35.26

OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	5.07	10.14	6.43	13.01	7.60	15.20
CBR (%)	7.21	9.62	9.14	12.34	10.81	14.41

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	7.21	9.62	1.78
26 Golpes	9.14	12.34	1.89
56 Golpes	10.81	14.41	1.96



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.0015
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1 ^a	2 ^a
	11.90	15.60

Fuente: Elaboración propia



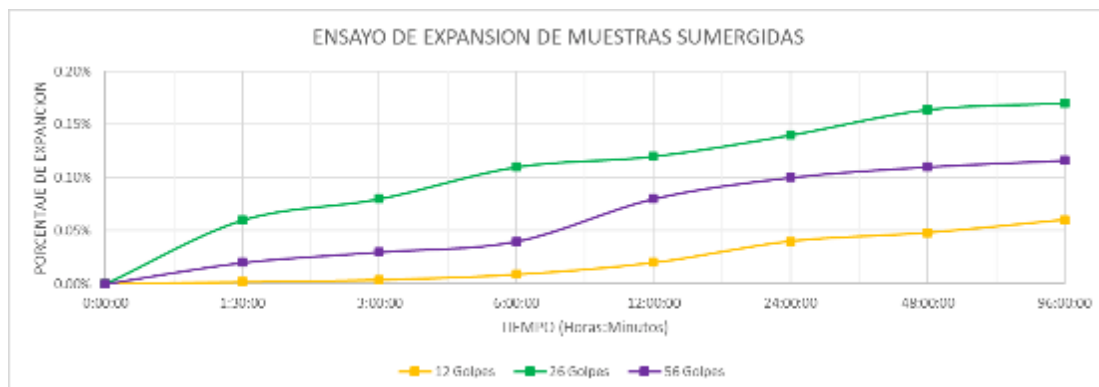
Tabla 124: Ensayo CBR C1 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.59%	6.14%	8.33%	10.04%	12.48%
Densidad seca (gr/cm3)	1.98	2.00	2.00	1.99	1.97

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	7.4	%
2	Densidad Seca Máxima	1.9975	gr/cm3
3	Humedad Natural	5.74%	%
4	% de Agua a añadir	7.4	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	7020.6		7820.5		6870	
Diametro (cm)	15.275		15.285		15.28	
Altura (cm)	17.8		17.78		17.78	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2138.57		2137.70		2136.30	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	7.4		7.4		7.4	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	370		370		370	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11530		12210		11230	
Peso suelo Humedo (gr)	4509.4		4389.5		4360	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.11		2.05		2.04	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	36.7	37.6	36.8	37.4	37.1	37.5
Peso de envase + suelo humedo	99.5	117.8	129.3	139.9	133.9	140.4
Peso de envase +Suelo seco	91.3	109.6	122.7	133.8	130.4	138.2
Peso del agua	8.2	8.2	6.6	6.1	3.5	2.2
peso suelo humedo	62.8	80.2	92.5	102.5	96.8	102.9
Peso del suelo seco	54.6	72	85.9	96.4	93.3	100.7
Contenido de humedad	15.02%	11.39%	7.68%	6.33%	3.75%	2.18%
Contenido de humedad promedio (%)	13.20%		7.01%		2.97%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.86		1.92		1.98	

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)					
Tempo Transcurrido	Dial	Deformación			% de Expans.	Dial	Deformación			% de Expans.	Dial	Deformación			% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm			
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%		
0.0625	1 hor 30 min	0.1	0.0001	0.0025	0.00%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	1.0	0.0010	0.0254	0.02%		
0.125	3 hor 00 min	0.2	0.0002	0.0051	0.00%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	1.5	0.0015	0.0381	0.03%		
0.25	6 hor 00 min	0.5	0.0005	0.0114	0.01%	5.5	0.0055	0.1397	0.11%	2.0	0.0020	0.0508	0.04%		
0.5	12 hor 00 min	1.0	0.0010	0.0254	0.02%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%		
1	24 hor 00 min	2.0	0.0020	0.0508	0.04%	7.0	0.0070	0.1778	0.14%	5.0	0.0050	0.1270	0.10%		
2	48 hor 00 min	2.4	0.0024	0.0610	0.05%	8.2	0.0082	0.2083	0.16%	5.5	0.0055	0.1397	0.11%		
4	96 hor 00 min	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	8.5	0.0085	0.2159	0.17%	5.8	0.0058	0.1473	0.12%		





Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.0762	0.2159	0.14732	mm
Hinchamiento	0.0762	0.2159	0.14732	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.06%	0.17%	0.12%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

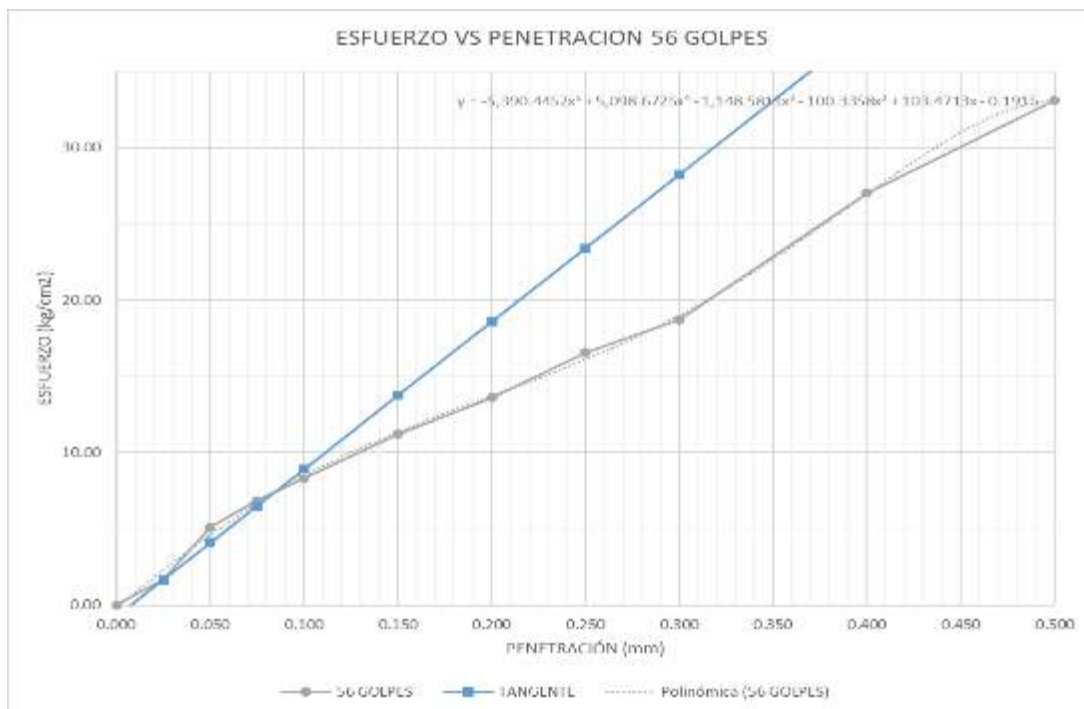
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01 Carga (KN)	Molde 01 Esfuerzo (kg/cm ²)	Molde 02 Carga (KN)	Molde 02 Esfuerzo (kg/cm ²)	Molde 03 Carga (KN)	Molde 03 Esfuerzo (kg/cm ²)
(mm)	(pulg)						
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.240	1.27	0.531	2.81	0.316	1.67
1.27	0.050	0.436	2.31	0.965	5.11	0.961	5.09
1.91	0.075	0.637	3.37	1.230	6.52	1.297	6.87
2.54	0.100	0.809	4.28	1.524	8.08	1.568	8.31
3.81	0.150	0.988	5.23	2.281	12.09	2.116	11.21
5.08	0.200	1.175	6.22	2.809	14.88	2.566	13.60
6.35	0.250	1.296	6.87	3.413	18.09	3.124	16.55
7.62	0.300	1.554	8.23	3.906	20.70	3.536	18.73
10.16	0.400	1.913	10.14	4.736	25.09	5.097	27.00
12.70	0.500	2.082	11.03	5.032	26.66	6.247	33.10



OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)						
Presión (kg/cm ²)	4.28	6.22	8.08	14.88	8.31	13.60
CBR (%)	6.09	5.90	11.49	14.11	11.82	12.89



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (56 GOLPES)				
$f(x) = -5390.4452 x^5 + 5098.6725 x^4 + -1148.5811 x^3 + -100.3358 x^2 + 103.4713 x + -0.1915$				
$d/dx f(x) = -26952.23 x^4 + 20394.69 x^3 + -3445.74 x^2 + -200.67 x + 103.47$				
Pendiente para la recta tangente		$x = 0.03$	$y = 1.67$	
$m = 96.61$		$x_1 = 0.03$	$y_1 = 1.67$	
Ecuacion de la Recta			$y = m*(x-x_1)+y_1$	
$y = 96.6091 x + -0.7408$				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.01	pulgadas	
		0.19	mm	
Penetracion para 1"	=	0.11	pulgadas	
Penetracion para 2"	=	0.21	pulgadas	
Esfuerzo para 1"	=	9.66	kg/cm2	
Esfuerzo para 2"	=	19.32	kg/cm2	

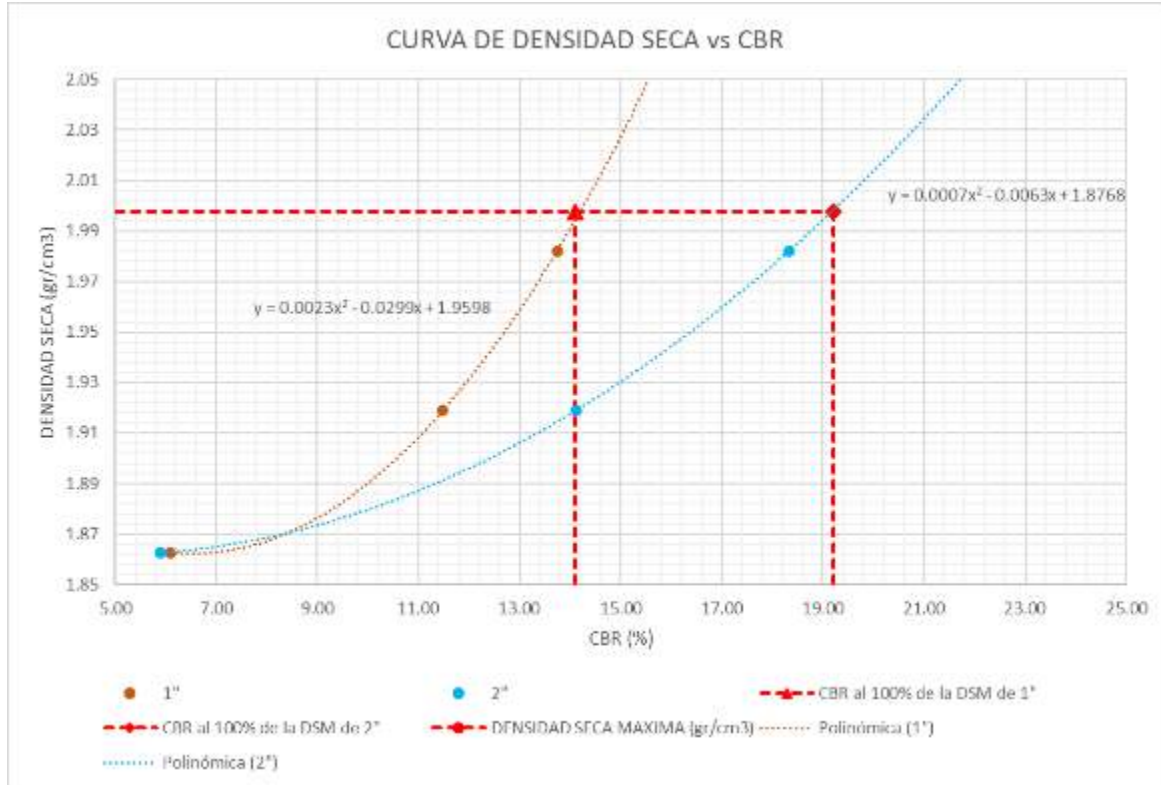


TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	0.01	0.01	-0.74
0.64	0.025	1.27	2.81	1.67
1.27	0.050	2.31	5.11	4.09
1.91	0.075	3.37	6.52	6.50
2.54	0.100	4.28	8.08	8.92
3.81	0.150	5.23	12.09	13.75
5.08	0.200	6.22	14.88	18.58
6.35	0.250	6.87	18.09	23.41
7.62	0.300	8.23	20.70	28.24
10.16	0.400	10.14	25.09	37.90
12.70	0.500	11.03	26.66	47.56



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	4.28	6.22	8.08	14.88	9.66	19.32
CBR (%)	6.09	5.90	11.49	14.11	13.74	18.32

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	6.09	5.90	1.86
26 Golpes	11.49	14.11	1.92
56 Golpes	13.74	18.32	1.98



DENSIDAD SECA MAXIMA	1.9975
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	14.10	19.20

Fuente: Elaboración propia



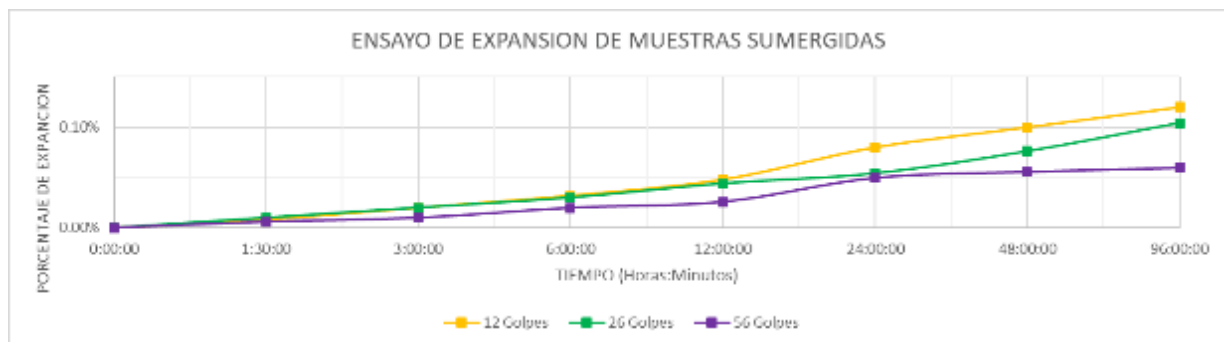
Tabla 125: Ensayo CBR C1 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.41%	6.08%	8.25%	10.10%	12.60%
Densidad seca (gr/cm ³)	1.98	2.01	2.02	2.00	1.97

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	7.5	%
2	Densidad Seca Máxima	2.0172	gr/cm ³
3	Humedad Natural	5.74%	%
4	% de Agua a añadir	7.5	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	7246.4		7613.2		8296.3	
Diametro (cm)	15.25		15.28		15.286	
Altura (cm)	17.79		17.76		17.78	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm ³)	2129.75		2132.63		2137.98	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	7.5		7.5		7.5	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	375		375		375	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11465		12154		12754	
Peso suelo Humedo (gr)	4218.6		4540.8		4457.7	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	1.98		2.13		2.09	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	36.5	37.2	37.5	36.8	37	37.2
Peso de envase + suelo humedo	97.8	116.4	130.5	141.2	134.8	141.9
Peso de envase +Suelo seco	90.1	105.6	125.7	134.8	125.2	132.5
Peso del agua	7.7	10.8	4.8	6.4	9.6	9.4
peso suelo humedo	61.3	79.2	93	104.4	97.8	104.7
Peso del suelo seco	53.6	68.4	88.2	98	88.2	95.3
Contenido de humedad	14.37%	15.79%	5.44%	6.53%	10.88%	9.86%
Contenido de humedad promedio (%)	15.08%		5.99%		10.37%	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.72		2.01		1.89	

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tiempo Transcurrido		Dial		Deformación		Dial		Deformación		Dial		Deformación	
Dias	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	0.4	0.0004	0.0102	0.01%	0.5	0.0005	0.0127	0.01%	0.3	0.0003	0.0076	0.01%
0.125	3 hor 00 min	1.0	0.0010	0.0254	0.02%	1.0	0.0010	0.0254	0.02%	0.5	0.0005	0.0127	0.01%
0.25	6 hor 00 min	1.6	0.0016	0.0406	0.03%	1.5	0.0015	0.0381	0.03%	1.0	0.0010	0.0254	0.02%
0.5	12 hor 00 min	2.4	0.0024	0.0610	0.05%	2.2	0.0022	0.0559	0.04%	1.3	0.0013	0.0330	0.03%
1	24 hor 00 min	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	2.7	0.0027	0.0686	0.05%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%
2	48 hor 00 min	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	3.8	0.0038	0.0965	0.08%	2.8	0.0028	0.0711	0.06%
4	96 hor 00 min	6.0	0.0060	0.1524	0.12%	5.2	0.0052	0.1321	0.10%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%

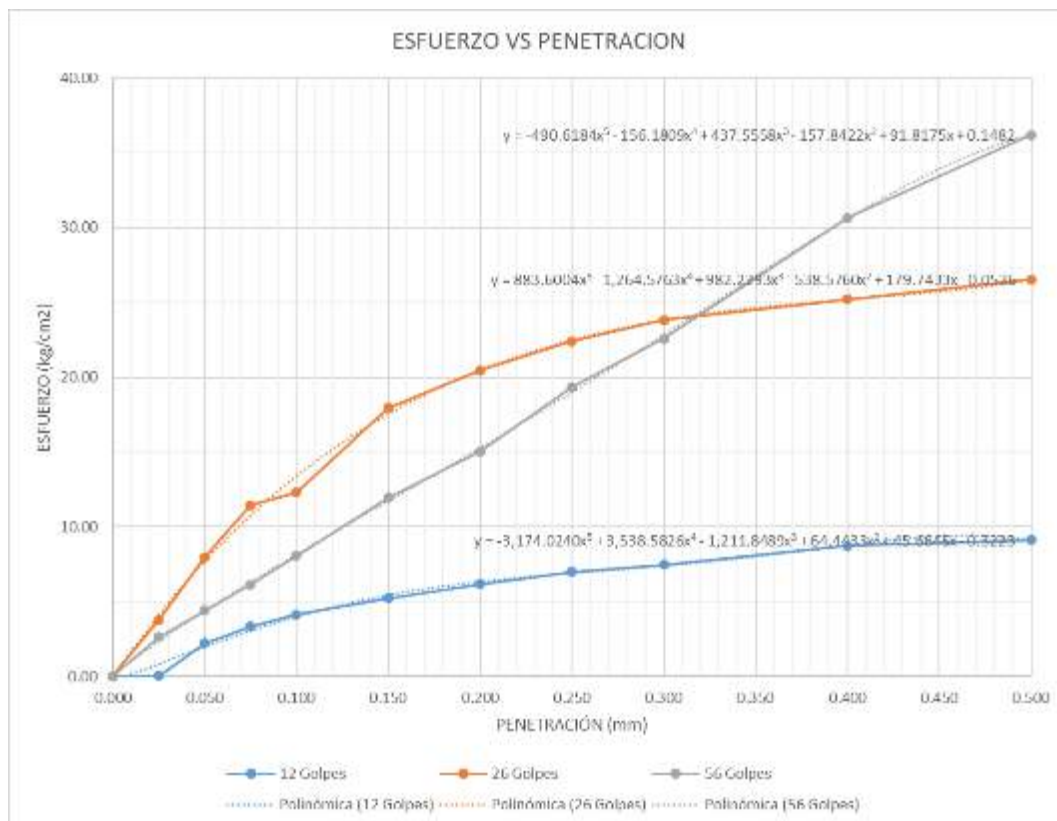




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.1524	0.13208	0.0762	mm
Hinchamiento	0.1524	0.13208	0.0762	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.12%	0.10%	0.06%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

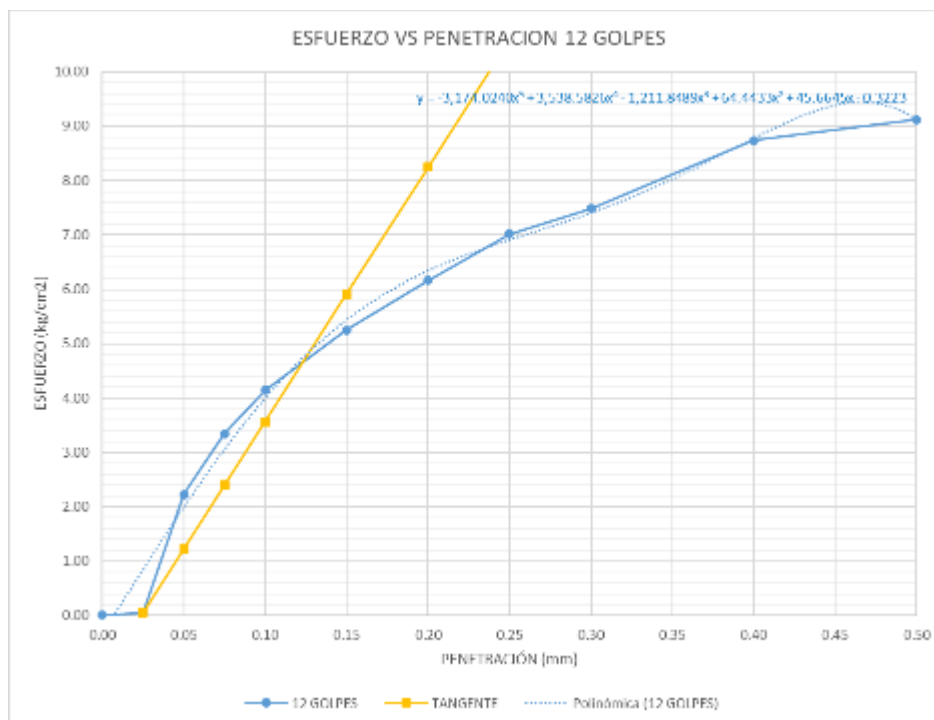
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01 Carga (KN)	Molde 01 Esfuerzo (kg/cm ²)	Molde 02 Carga (KN)	Molde 02 Esfuerzo (kg/cm ²)	Molde 03 Carga (KN)	Molde 03 Esfuerzo (kg/cm ²)
(mm)	(pulg)						
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.010	0.05	0.715	3.79	0.497	2.64
1.27	0.050	0.421	2.23	1.506	7.98	0.830	4.40
1.91	0.075	0.631	3.35	2.164	11.46	1.163	6.16
2.54	0.100	0.782	4.14	2.325	12.32	1.520	8.06
3.81	0.150	0.991	5.25	3.392	17.97	2.254	11.94
5.08	0.200	1.164	6.17	3.865	20.48	2.840	15.05
6.35	0.250	1.324	7.01	4.226	22.39	3.650	19.34
7.62	0.300	1.412	7.48	4.498	23.84	4.265	22.60
10.16	0.400	1.649	8.74	4.759	25.22	5.785	30.65
12.70	0.500	1.721	9.12	5.006	26.53	6.830	36.19





OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)						
Presión (kg/cm ²)	4.14	6.17	12.32	20.48	8.06	15.05
CBR (%)	5.89	5.85	17.52	19.42	11.46	14.27

CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)						
$f(x) = -3174.0240 x^5 + 3538.5826 x^4 + -1211.8489 x^3 + 64.4433 x^2 + 45.6645 x + -0.3223$						
$d/dx f(x) = -15870.1200 x^4 + 14154.3304 x^3 + -3635.5467 x^2 + 128.8866 x + 45.6645$						
Pendiente para la recta tangente m= 46.83	x= 0.03		y= 0.05			
	x1= 0.03		y1= 0.05			
Ecuacion de la Recta			y= m*(x-x1)+y1			
y= 46.8294 x + -1.1160						
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.02	pulgadas			
		0.61	mm			
Penetracion para 1"	=	0.12	pulgadas			
Penetracion para 2"	=	0.22	pulgadas			
Esfuerzo para 1"	=	4.68	kg/cm ²			
Esfuerzo para 2"	=	9.37	kg/cm ²			

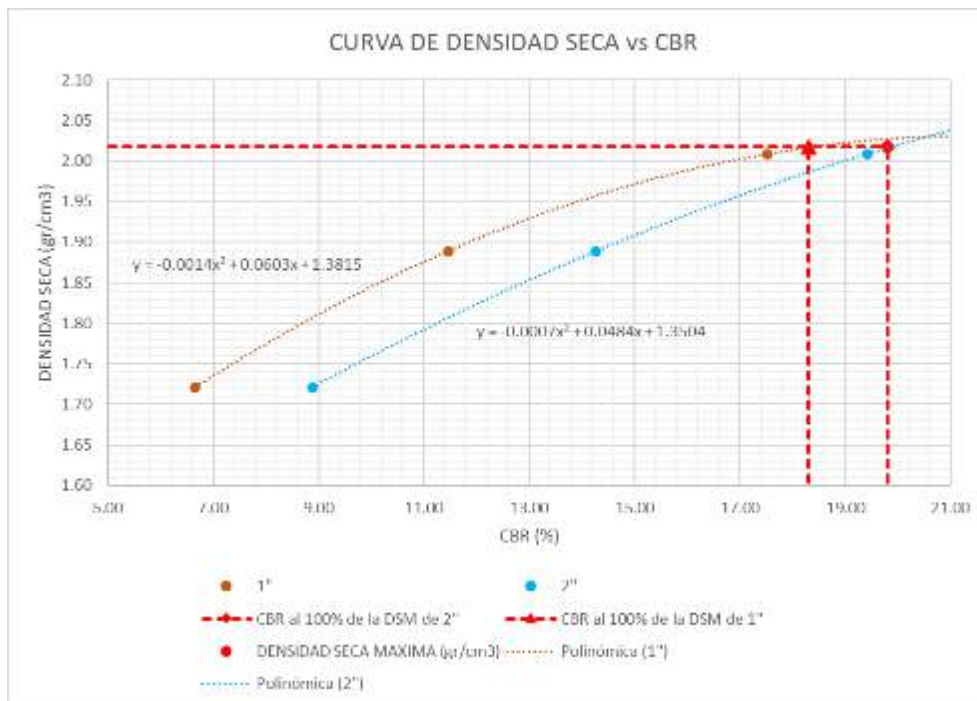




TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	-1.12	0.01	0.01
0.64	0.025	0.05	3.79	2.64
1.27	0.050	1.23	7.98	4.40
1.91	0.075	2.40	11.46	6.16
2.54	0.100	3.57	12.32	8.06
3.81	0.150	5.91	17.97	11.94
5.08	0.200	8.25	20.48	15.05
6.35	0.250	10.59	22.39	19.34
7.62	0.300	12.93	23.84	22.60
10.16	0.400	17.62	25.22	30.65
12.70	0.500	22.30	26.53	36.19

OBTENCIÓN DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	4.68	9.37	12.32	20.48	8.06	15.05
CBR (%)	6.66	8.88	17.52	19.42	11.46	14.27

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	6.66	8.88	1.72
26 Golpes	17.52	19.42	2.01
56 Golpes	11.46	14.27	1.89



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.0172
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	18.30	19.80

Fuente: Elaboración propia



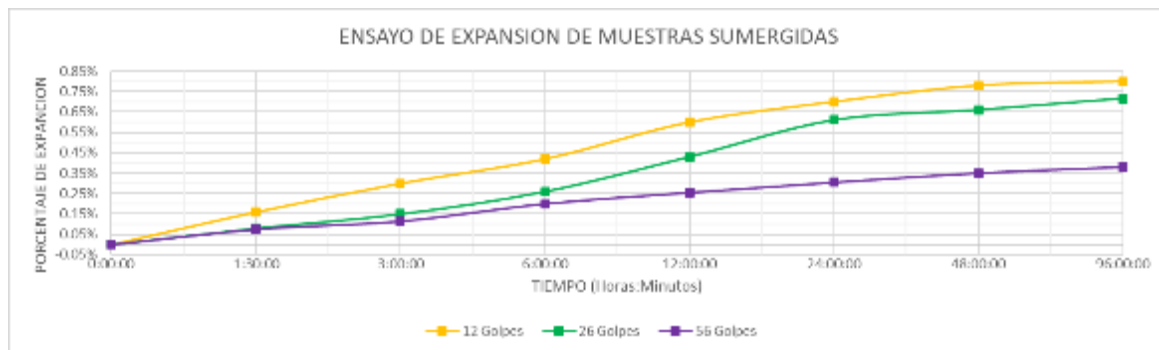
Tabla 126: Ensayo CBR C2 Suelo Natural– ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	1.86%	5.07%	5.82%	7.62%	8.53%
Densidad seca (gr/cm3)	2.03	2.06	2.07	2.01	1.98

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.3	%
2	Densidad Seca Máxima	2.183	gr/cm3
3	Humedad Natural	2.90%	%
4	% de Agua a añadir	6.3	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	7485		7986		7058	
Diametro (cm)	15.25		15.27		15.28	
Altura (cm)	17.8		17.75		17.75	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2131.57		2128.01		2130.80	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.3		6.3		6.3	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	315		315		315	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11845		12265		11849	
Peso suelo Humedo (gr)	4360		4279		4791	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.05		2.01		2.25	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	35.6	36.8	35.8	34.8	37.8	36.8
Peso de envase + suelo humedo	135.4	145.8	128.5	135.6	125.4	135.6
Peso de envase +Suelo seco	125.8	134.8	122.5	128.4	115.4	125.8
Peso del agua	9.6	11	6	7.2	10	9.8
peso suelo humedo	99.8	109	92.7	100.8	87.6	98.8
Peso del suelo seco	90.2	98	86.7	93.6	77.6	89
Contenido de humedad	10.64%	11.22%	6.92%	7.69%	12.89%	11.01%
Contenido de humedad promedio (%)	10.93%		7.31%		11.95%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.84		1.87		2.01	

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tiempo Transcurrido		Dial		Deformación		% de Expans.		Dial		Deformación		% de Expans.	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	%	*0.001"	pulg	mm	%	*0.001"	pulg	mm	%
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	3.8	0.0038	0.0953	0.08%
0.125	3 hor 00 min	15.0	0.0150	0.3810	0.30%	7.5	0.0075	0.1905	0.15%	5.8	0.0058	0.1461	0.12%
0.25	6 hor 00 min	21.0	0.0210	0.5334	0.42%	13.0	0.0130	0.3302	0.26%	10.0	0.0100	0.2540	0.20%
0.5	12 hor 00 min	30.0	0.0300	0.7620	0.60%	21.5	0.0215	0.5461	0.43%	12.8	0.0128	0.3239	0.26%
1	24 hor 00 min	35.0	0.0350	0.8890	0.70%	30.5	0.0305	0.7747	0.61%	15.3	0.0153	0.3874	0.31%
2	48 hor 00 min	39.0	0.0390	0.9906	0.78%	33.0	0.0330	0.8382	0.66%	17.5	0.0175	0.4445	0.35%
4	96 hor 00 min	40.0	0.0400	1.0160	0.80%	35.8	0.0358	0.9093	0.72%	19.0	0.0190	0.4826	0.38%

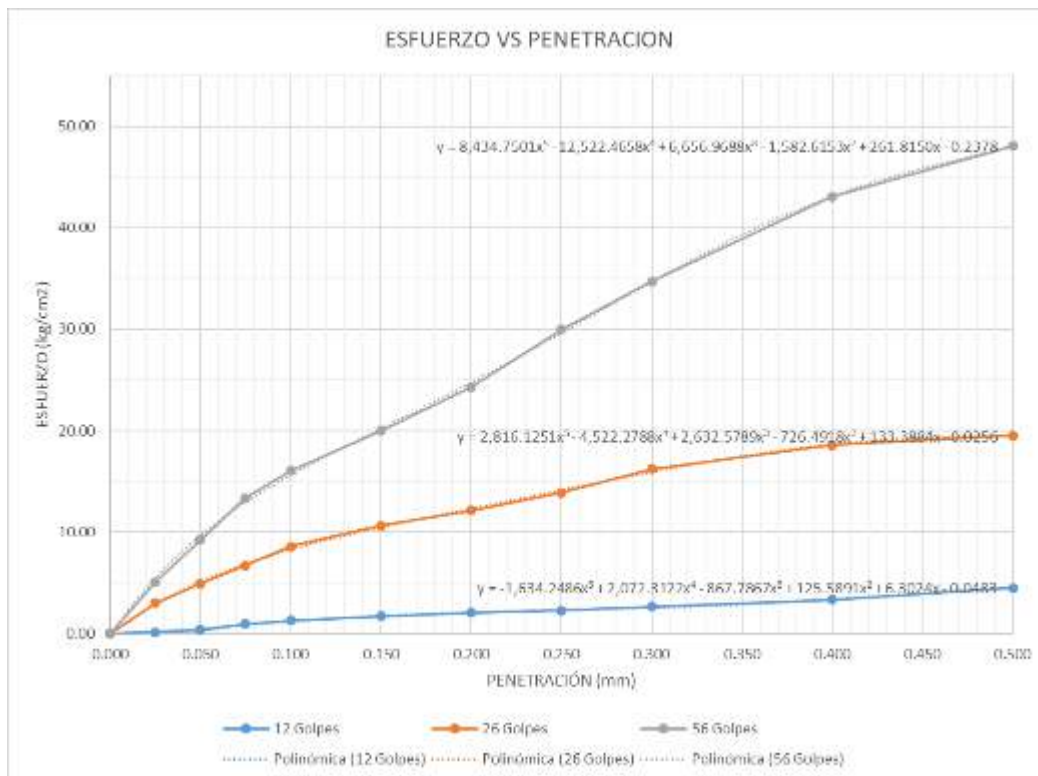




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	1.016	0.90932	0.4826	mm
Hinchamiento	1.016	0.90932	0.4826	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.80%	0.72%	0.38%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

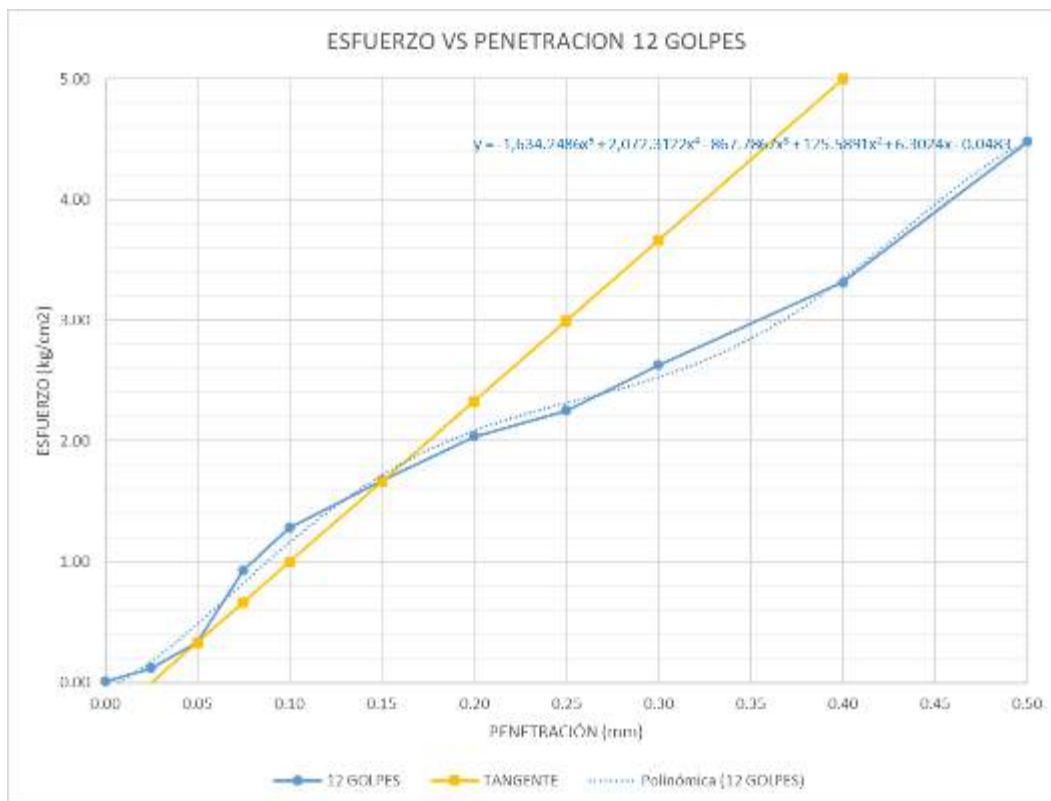
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.023	0.12	0.562	2.98	0.956	5.07
1.27	0.050	0.063	0.33	0.923	4.89	1.743	9.23
1.91	0.075	0.176	0.93	1.265	6.70	2.520	13.35
2.54	0.100	0.243	1.28	1.618	8.57	3.026	16.03
3.81	0.150	0.317	1.68	2.008	10.64	3.774	20.00
5.08	0.200	0.385	2.04	2.284	12.10	4.587	24.31
6.35	0.250	0.425	2.25	2.618	13.87	5.654	29.96
7.62	0.300	0.497	2.63	3.063	16.23	6.548	34.70
10.16	0.400	0.626	3.31	3.503	18.56	8.127	43.06
12.70	0.500	0.846	4.48	3.679	19.49	9.074	48.08



OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	1.28	2.04	8.57	12.10	16.03	24.31
CBR (%)	1.83	1.93	12.19	11.48	22.80	23.05



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)				
$f(x) = -1634.2486 x^5 + 2072.3122 x^4 + -867.7867 x^3 + 125.5891 x^2 + 6.3024 x + -0.0483$				
$d/dx f(x) = -8171.2430 x^4 + 8289.2488 x^3 + -2603.3601 x^2 + 251.1782 x + 6.3024$				
Pendiente para la recta tangente m= 13.34	x= 0.05	y= 0.33		
	x1= 0.05	y1= 0.33		
Ecuacion de la Recta		y= m*(x-x1)+y1		
y= 13.3380 x + -0.3357				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	= 0.03	pulgadas		
	= 0.64	mm		
Penetracion para 1"	= 0.13	pulgadas		
Penetracion para 2"	= 0.23	pulgadas		
Esfuerzo para 1"	= 1.33	kg/cm2		
Esfuerzo para 2"	= 2.67	kg/cm2		

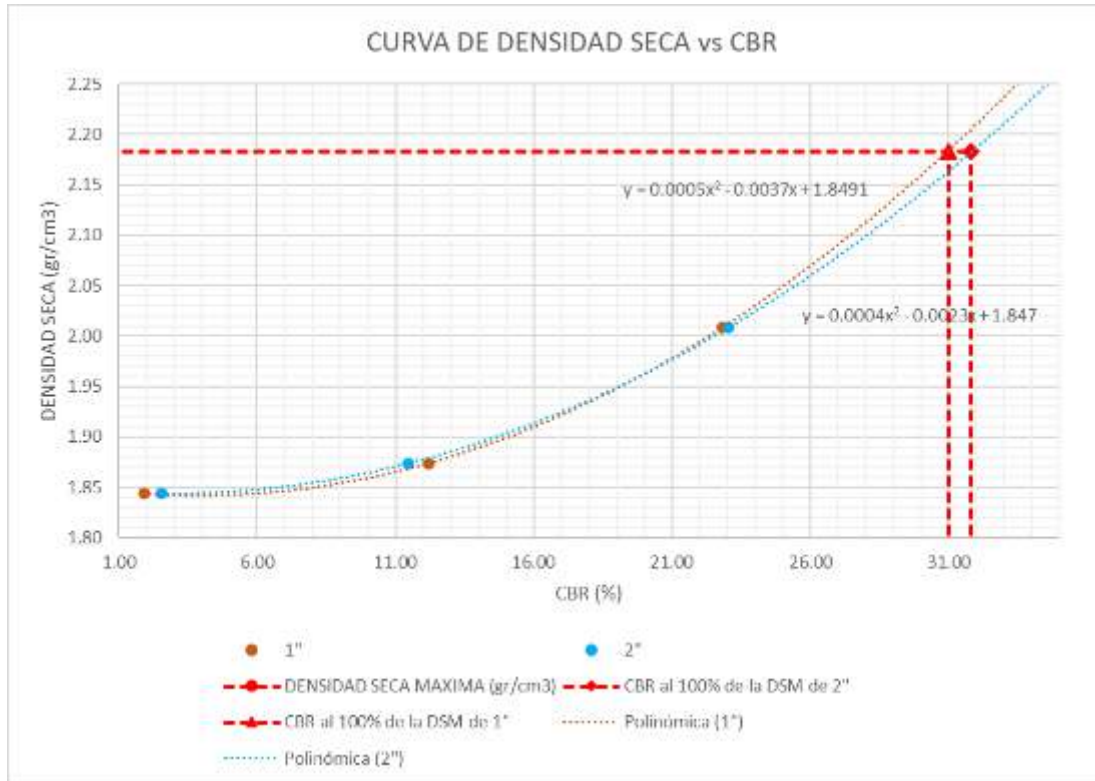


TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	-0.34	0.01	0.01
0.64	0.025	0.00	2.98	5.07
1.27	0.050	0.33	4.89	9.23
1.91	0.075	0.66	6.70	13.35
2.54	0.100	1.00	8.57	16.03
3.81	0.150	1.66	10.64	20.00
5.08	0.200	2.33	12.10	24.31
6.35	0.250	3.00	13.87	29.96
7.62	0.300	3.67	16.23	34.70
10.16	0.400	5.00	18.56	43.06
12.70	0.500	6.33	19.49	48.08



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	1.33	2.67	8.57	12.10	16.03	24.31
CBR (%)	1.90	2.53	12.19	11.48	22.80	23.05

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	1.90	2.53	1.84
26 Golpes	12.19	11.48	1.87
56 Golpes	22.80	23.05	2.01



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.1830
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	31.00	31.80

Fuente: Elaboración propia



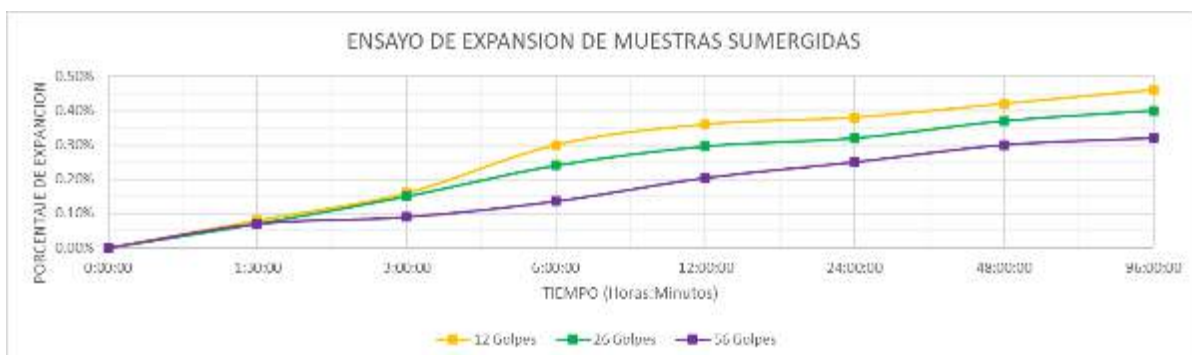
Tabla 127: Ensayo CBR C2 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	2.88%	4.38%	5.81%	7.59%	9.53%
Densidad seca (gr/cm3)	2.04	2.06	2.07	2.00	1.92

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.1	%
2	Densidad Seca Máxima	2.1785	gr/cm3
3	Humedad Natural	2.90%	%
4	% de Agua a añadir	6.1	%

DATOS					
Numero de Golpes	12		26		56
Peso del molde con base (gr)	8215.8		8265.2		8523.5
Diametro (cm)	15.28		15.275		15.26
Altura (cm)	17.77		17.79		17.8
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13
Volumen de Molde (cm3)	2134.47		2136.74		2134.37
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.1		6.1		6.1
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000
Peso del agua para la muestra	305		305		305
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11652		12526		12652
Peso suelo Humedo (gr)	3436.2		4260.8		4128.5
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.61		1.99		1.93
Envase N°	1	2	3	4	5
Peso de envase	35.8	34.5	36.1	34.8	36.5
Peso de envase + suelo humedo	140.6	135.8	136.4	132.1	140.2
Peso de envase +Suelo seco	135.2	130.8	123.4	121.8	138.6
Peso del agua	5.4	5	13	10.3	1.6
peso suelo humedo	104.8	101.3	100.3	97.3	103.7
Peso del suelo seco	99.4	96.3	87.3	87	102.1
Contenido de humedad	5.43%	5.19%	14.89%	11.84%	1.57%
Contenido de humedad promedio (%)	5.31%		13.37%		2.62%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.53		1.76		1.88

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tiempo Transcurrido		Dial		Deformación		Dial		Deformación		Dial		Deformación	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	3.5	0.0035	0.0889	0.07%	3.5	0.0035	0.0889	0.07%
0.125	3 hor 00 min	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	7.5	0.0075	0.1905	0.15%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%
0.25	6 hor 00 min	15.0	0.0150	0.3810	0.30%	12.0	0.0120	0.3048	0.24%	6.8	0.0068	0.1727	0.14%
0.5	12 hor 00 min	18.0	0.0180	0.4572	0.36%	14.8	0.0148	0.3759	0.30%	10.2	0.0102	0.2591	0.20%
1	24 hor 00 min	19.0	0.0190	0.4826	0.38%	16.0	0.0160	0.4064	0.32%	12.5	0.0125	0.3175	0.25%
2	48 hor 00 min	21.0	0.0210	0.5334	0.42%	18.5	0.0185	0.4699	0.37%	15.0	0.0150	0.3810	0.30%
4	96 hor 00 min	23.0	0.0230	0.5842	0.46%	20.0	0.0200	0.5080	0.40%	16.0	0.0160	0.4064	0.32%





Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.5842	0.508	0.4064	mm
Hinchamiento	0.5842	0.508	0.4064	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.46%	0.40%	0.32%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.046	0.24	0.165	0.87	0.256	1.36
1.27	0.050	0.075	0.40	0.381	2.02	0.536	2.84
1.91	0.075	0.124	0.66	0.568	3.01	0.775	4.11
2.54	0.100	0.158	0.84	0.755	4.00	0.965	5.11
3.81	0.150	0.268	1.42	1.032	5.47	1.397	7.40
5.08	0.200	0.458	2.43	1.326	7.03	1.687	8.94
6.35	0.250	0.625	3.31	1.413	7.49	2.066	10.95
7.62	0.300	0.785	4.16	1.494	7.91	2.497	13.23
10.16	0.400	1.032	5.47	1.711	9.07	3.120	16.53
12.70	0.500	1.235	6.54	1.881	9.97	3.865	20.48

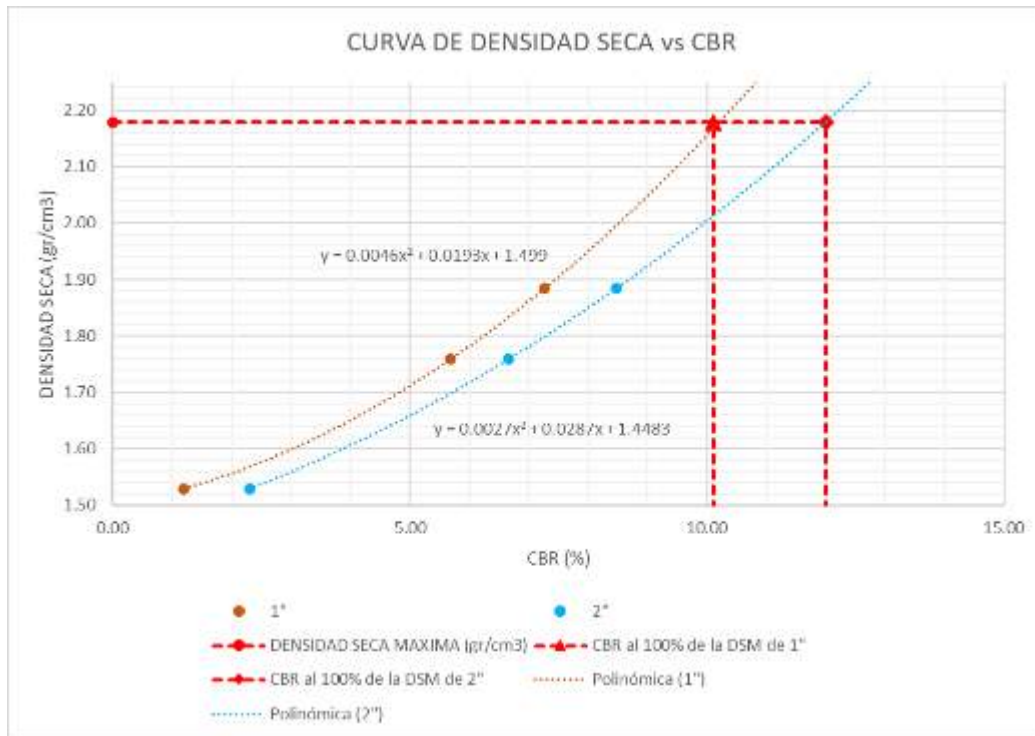


OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	0.84	2.43	4.00	7.03	5.11	8.94
CBR (%)	1.19	2.30	5.69	6.66	7.27	8.48



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	0.84	2.43	4.00	7.03	5.11	8.94
CBR (%)	1.19	2.30	5.69	6.66	7.27	8.48

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	1.19	2.30	1.53
26 Golpes	5.69	6.66	1.76
56 Golpes	7.27	8.48	1.88



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.1785
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	10.10	12.00

Fuente: Elaboración propia

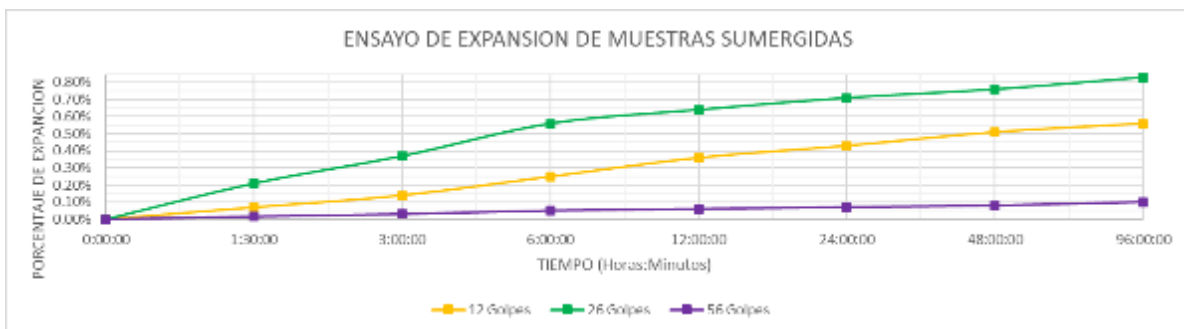


Tabla 128: Ensayo CBR C2 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado						
Contenido de Humedad promedio (%)		3.29%	4.58%	6.01%	7.11%	8.74%
Densidad seca (gr/cm ³)		2.02	2.08	2.06	2.02	1.93
Humedad de Compactación						
1	Contenido de Humedad Optimo			6	%	
2	Densidad Seca Máxima			2.188	gr/cm ³	
3	Humedad Natural			2.90%	%	
4	% de Agua a añadir			6	%	

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	7856		7746		6854.2	
Diametro (cm)	15.26		15.28		15.27	
Altura (cm)	17.78		17.77		17.765	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm ³)	2130.71		2134.47		2130.76	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6		6		6	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	300		300		300	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12154		12125		11754	
Peso suelo Humedo (gr)	4298		4379		4899.8	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.02		2.05		2.30	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	36.8	35.8	37.4	38.4	35.8	34.2
Peso de envase + suelo humedo	150.1	152.4	142.5	130.5	125.2	128.5
Peso de envase +Suelo seco	140.5	142.2	135.1	126.5	115.5	118.6
Peso del agua	9.6	10.2	7.4	4	9.7	9.9
peso suelo humedo	113.3	116.6	105.1	92.1	89.4	94.3
Peso del suelo seco	103.7	106.4	97.7	88.1	79.7	84.4
Contenido de humedad	9.26%	9.59%	7.57%	4.54%	12.17%	11.73%
Contenido de humedad promedio (%)	9.42%		6.06%		11.95%	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.84		1.93		2.05	

Muestra	Tiempo Transcurrido	Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
		Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	3.5	0.0035	0.0889	0.07%	10.5	0.0105	0.2667	0.21%	0.8	0.0008	0.0203	0.02%
0.125	3 hor 00 min	7.0	0.0070	0.1778	0.14%	18.5	0.0185	0.4699	0.37%	1.5	0.0015	0.0381	0.03%
0.25	6 hor 00 min	12.5	0.0125	0.3175	0.25%	28.0	0.0280	0.7112	0.56%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%
0.5	12 hor 00 min	18.0	0.0180	0.4572	0.36%	32.0	0.0320	0.8128	0.64%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%
1	24 hor 00 min	21.5	0.0215	0.5461	0.43%	35.5	0.0355	0.9017	0.71%	3.5	0.0035	0.0889	0.07%
2	48 hor 00 min	25.5	0.0255	0.6477	0.51%	38.0	0.0380	0.9652	0.76%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%
4	96 hor 00 min	28.0	0.0280	0.7112	0.56%	41.5	0.0415	1.0541	0.83%	5.0	0.0050	0.1270	0.10%

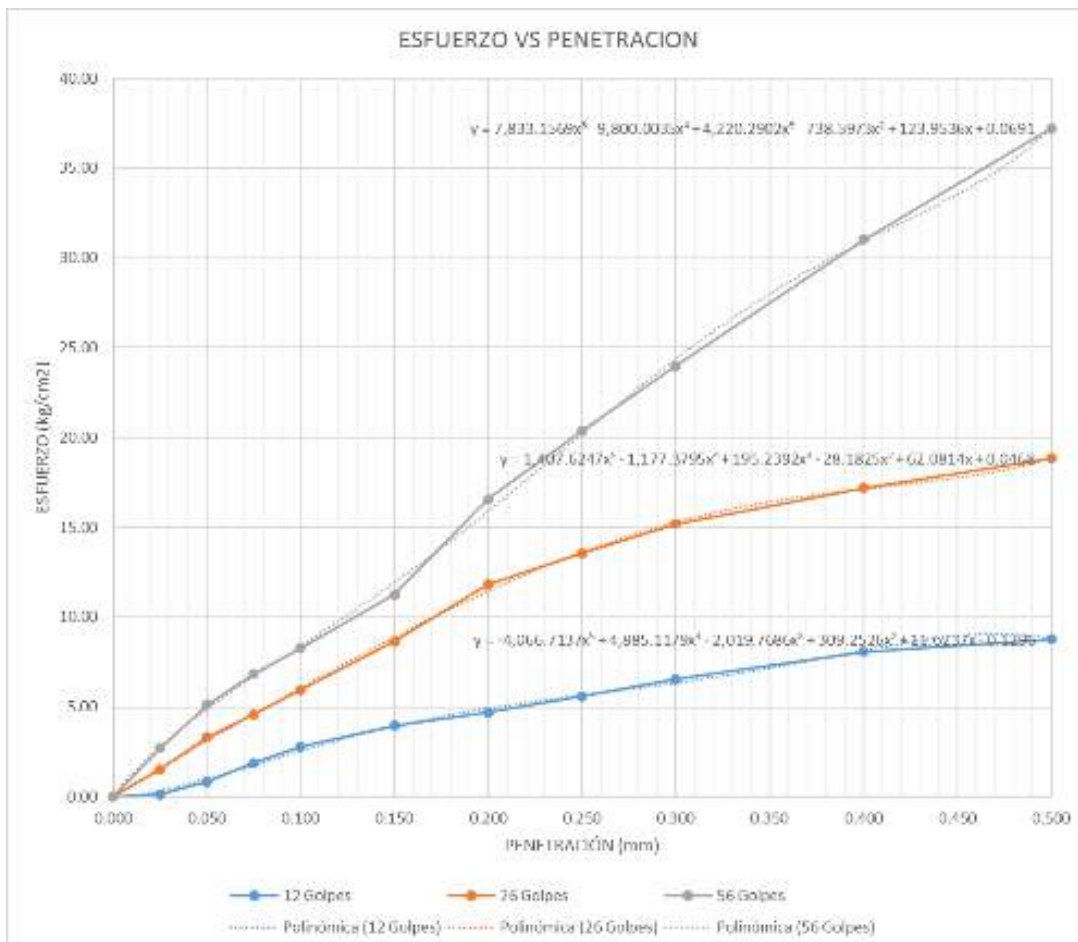




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.7112	1.0541	0.127	mm
Hinchamiento	0.7112	1.0541	0.127	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.56%	0.83%	0.10%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

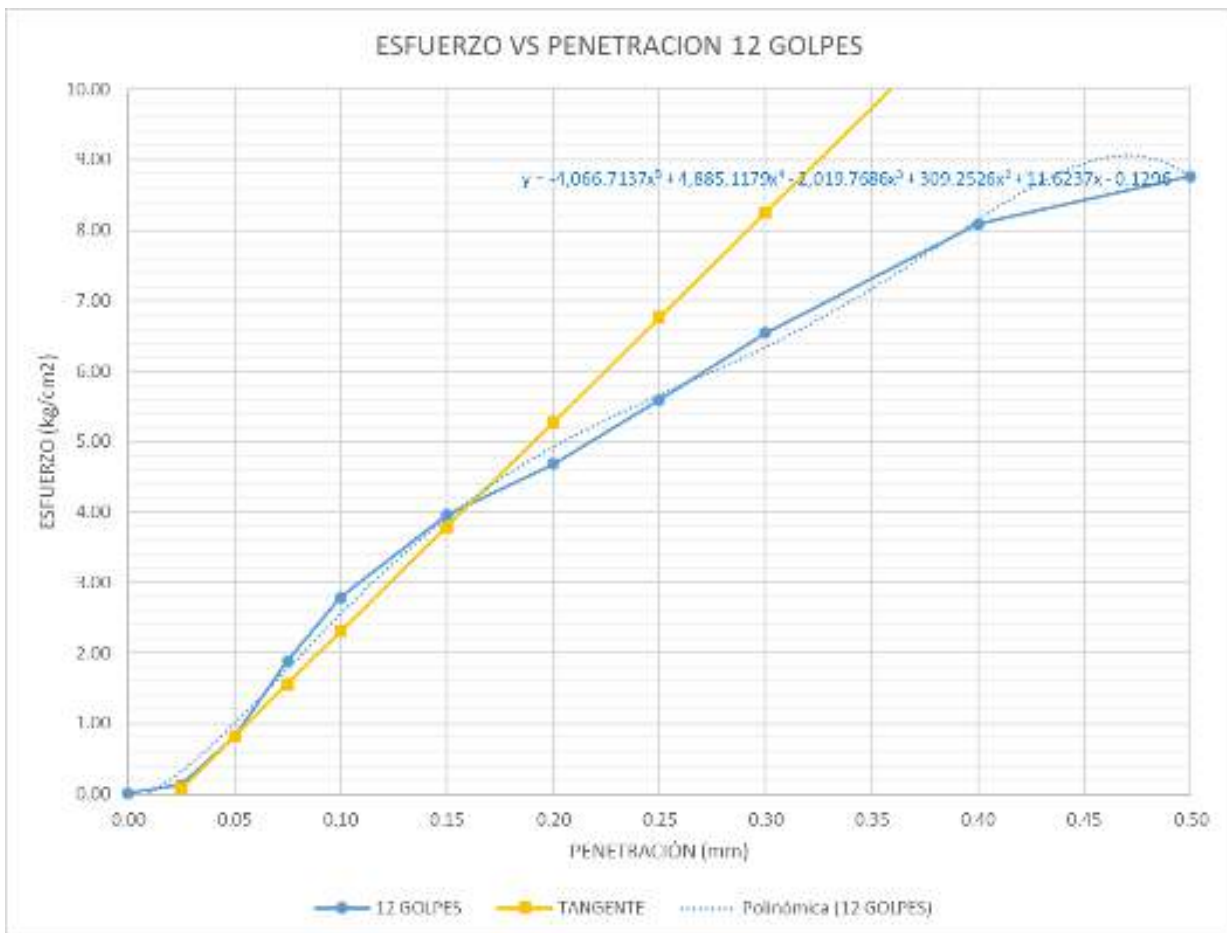
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.025	0.13	0.292	1.55	0.513	2.72
1.27	0.050	0.155	0.82	0.624	3.30	0.965	5.11
1.91	0.075	0.356	1.89	0.865	4.58	1.292	6.85
2.54	0.100	0.526	2.79	1.123	5.95	1.562	8.28
3.81	0.150	0.748	3.96	1.632	8.65	2.126	11.27
5.08	0.200	0.884	4.68	2.235	11.84	3.125	16.56
6.35	0.250	1.056	5.60	2.560	13.56	3.845	20.37
7.62	0.300	1.235	6.54	2.865	15.18	4.526	23.98
10.16	0.400	1.526	8.09	3.243	17.18	5.854	31.02
12.70	0.500	1.655	8.77	3.556	18.84	7.021	37.20





OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	2.79	4.68	5.95	11.84	8.28	16.56
CBR (%)	3.96	4.44	8.46	11.23	11.77	15.70

CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)		
$f(x) = -4066.7137 x^5 + 4885.1179 x^4 + -2019.7686 x^3 + 309.2526 x^2 + 11.6237 x + -0.1296$		
$d/dx f(x) = -20333.5685 x^4 + 19540.4716 x^3 + -6059.3058 x^2 + 618.5052 x + 11.6237$		
Pendiente para la recta tangente m= 29.72	x= 0.05	y= 0.82
	x1= 0.05	y1= 0.82
Ecuacion de la Recta		$y = m*(x-x1)+y1$
$y = 29.7162 x + -0.6645$		
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.02 pulgadas 0.57 mm
Penetracion para 1"	=	0.12 pulgadas
Penetracion para 2"	=	0.22 pulgadas
Esfuerzo para 1"	=	2.97 kg/cm ²
Esfuerzo para 2"	=	5.94 kg/cm ²

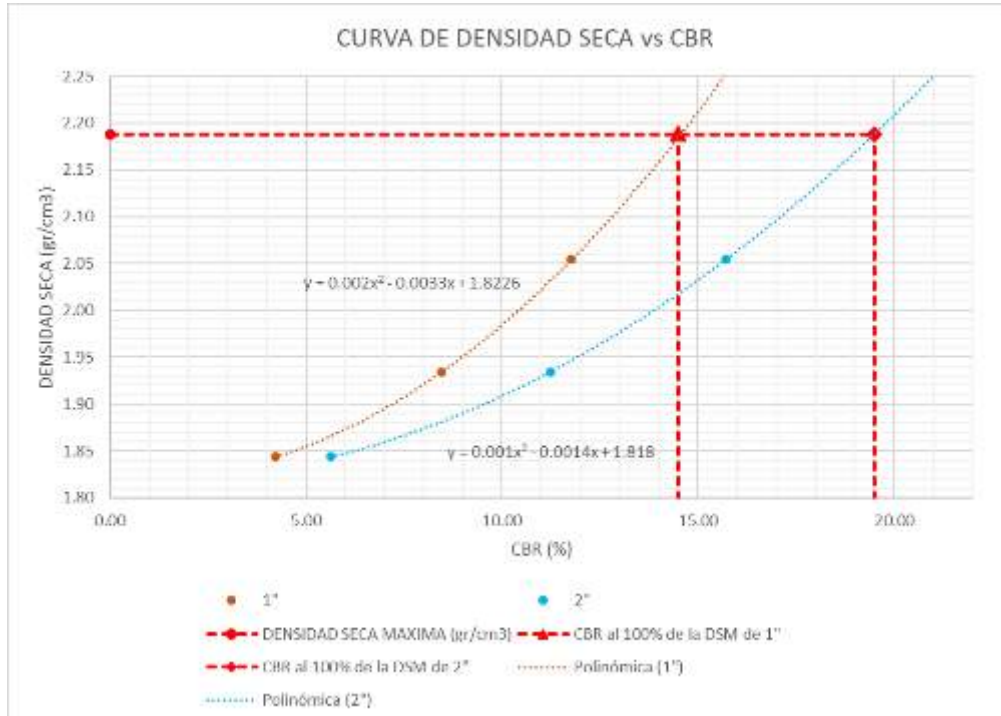




TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	-0.66	0.01	0.01
0.64	0.025	0.08	1.55	2.72
1.27	0.050	0.82	3.30	5.11
1.91	0.075	1.56	4.58	6.85
2.54	0.100	2.31	5.95	8.28
3.81	0.150	3.79	8.65	11.27
5.08	0.200	5.28	11.84	16.56
6.35	0.250	6.76	13.56	20.37
7.62	0.300	8.25	15.18	23.98
10.16	0.400	11.22	17.18	31.02
12.70	0.500	14.19	18.84	37.20

OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm2)	2.97	5.94	5.95	11.84	8.28	16.56
CBR (%)	4.23	5.64	8.46	11.23	11.77	15.70

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	4.23	5.64	1.84
26 Golpes	8.46	11.23	1.93
56 Golpes	11.77	15.70	2.05



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.1880
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	14.50	19.50

Fuente: Elaboración propia



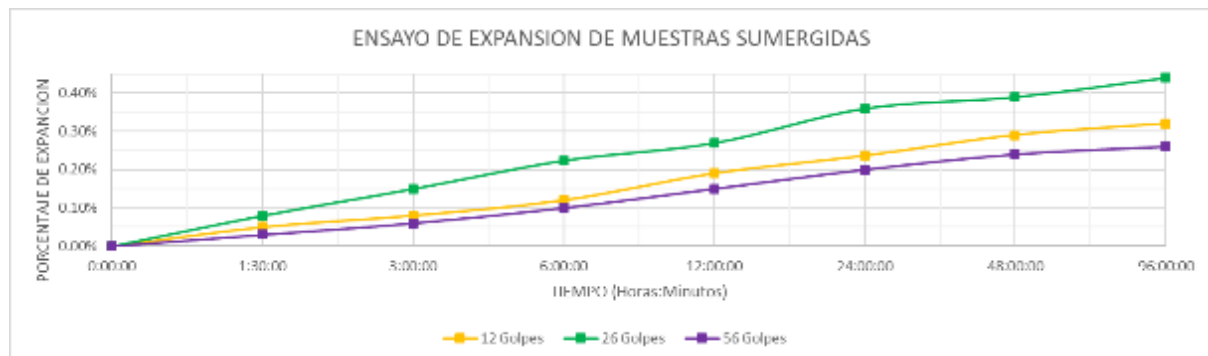
Tabla 129: Ensayo CBR C2 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.28%	5.60%	6.33%	6.75%	7.79%
Densidad seca (gr/cm3)	2.02	2.04	2.05	2.05	2.04

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.2	%
2	Densidad Seca Máxima	2.0458	gr/cm3
3	Humedad Natural	2.90%	%
4	% de Agua a añadir	6.2	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	8287.3		8126.5		7526.2	
Diametro (cm)	15.28		15.277		15.285	
Altura (cm)	17.79		17.77		17.765	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2138.14		2133.63		2134.95	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.2		6.2		6.2	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	310		310		310	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12532		12548.5		11788.5	
Peso suelo Humedo (gr)	4244.7		4422		4262.3	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.99		2.07		2.00	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	35.6	37.2	35.8	34.5	38.2	36.5
Peso de envase + suelo humedo	176.2	168.5	135.8	134	145.2	138.2
Peso de envase +Suelo seco	162.2	156.4	125.3	123.6	140.5	135.2
Peso del agua	14	12.1	10.5	10.4	4.7	3
peso suelo humedo	140.6	131.3	100	99.5	107	101.7
Peso del suelo seco	126.6	119.2	89.5	89.1	102.3	98.7
Contenido de humedad	11.06%	10.15%	11.73%	11.67%	4.59%	3.04%
Contenido de humedad promedio (%)	10.60%		11.70%		3.82%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.79		1.86		1.92	

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tempo Transcurrido	Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg		mm	*0.001"	pulg		mm	*0.001"	pulg		mm
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	
0.0625	1 hor 30 min	2.5	0.0025	0.0635	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	1.5	0.0015	0.0381	0.03%	
0.125	3 hor 00 min	4.0	0.0040	0.1016	7.5	0.0075	0.1905	0.15%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	
0.25	6 hor 00 min	6.0	0.0060	0.1524	11.2	0.0112	0.2845	0.22%	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	
0.5	12 hor 00 min	9.5	0.0095	0.2413	13.5	0.0135	0.3429	0.27%	7.5	0.0075	0.1905	0.15%	
1	24 hor 00 min	11.8	0.0118	0.2997	18.0	0.0180	0.4572	0.36%	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	
2	48 hor 00 min	14.5	0.0145	0.3683	19.5	0.0195	0.4953	0.39%	12.0	0.0120	0.3048	0.24%	
4	96 hor 00 min	16.0	0.0160	0.4064	22.0	0.0220	0.5588	0.44%	13.0	0.0130	0.3302	0.26%	

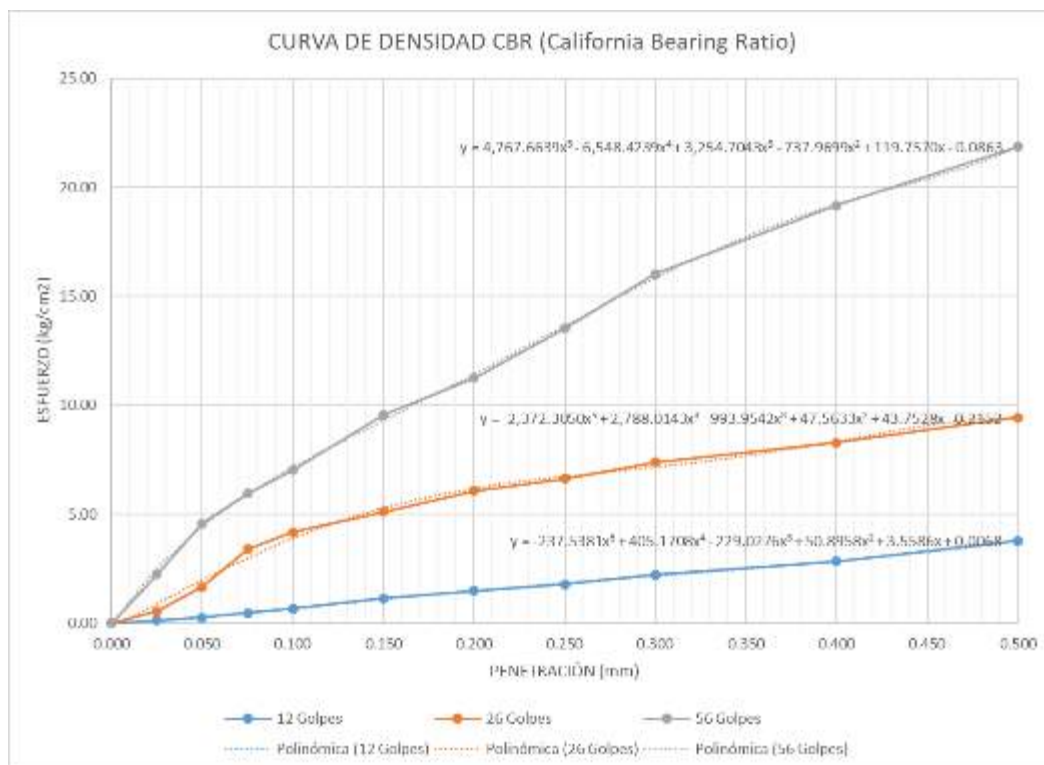




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.4064	0.5588	0.3302	mm
Hinchamiento	0.4064	0.5588	0.3302	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.32%	0.44%	0.26%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

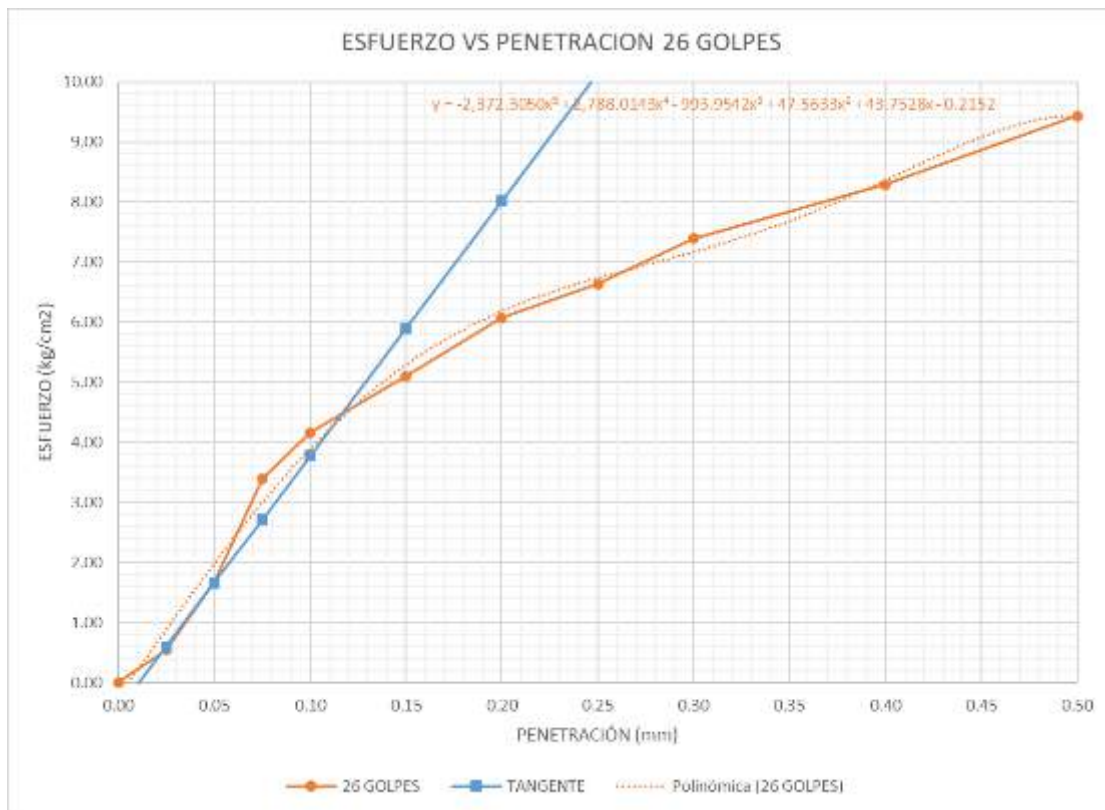
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.024	0.12	0.104	0.55	0.425	2.25
1.27	0.050	0.053	0.28	0.315	1.67	0.865	4.58
1.91	0.075	0.090	0.47	0.642	3.40	1.123	5.95
2.54	0.100	0.126	0.67	0.787	4.17	1.326	7.03
3.81	0.150	0.216	1.15	0.964	5.11	1.804	9.56
5.08	0.200	0.281	1.49	1.146	6.07	2.125	11.26
6.35	0.250	0.336	1.78	1.253	6.64	2.554	13.53
7.62	0.300	0.421	2.23	1.396	7.39	3.024	16.02
10.16	0.400	0.537	2.84	1.565	8.29	3.619	19.18
12.70	0.500	0.714	3.78	1.781	9.44	4.125	21.86



OBTENCIÓN DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	0.67	1.49	4.17	6.07	7.03	11.26
CBR (%)	0.95	1.41	5.93	5.76	9.99	10.68



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (26 GOLPES)				
$f(x) = -2372.3050 x^5 + 2788.0143 x^4 + -993.9542 x^3 + 47.5633 x^2 + 43.7528 x + -0.2152$				
$d/dx f(x) = -11861.53 x^4 + 11152.06 x^3 + -2981.86 x^2 + 95.13 x + 43.75$				
Pendiente para la recta tangente		$x = 0.05$	$y = 1.67$	
$m = 42.37$		$x_1 = 0.05$	$y_1 = 1.67$	
Ecuacion de la Recta			$y = m*(x-x_1)+y_1$	
$y = 42.3743 x + -0.4523$				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.0107	pulgadas	
		0.2711	mm	
Penetracion para 1"	=	0.1107	pulgadas	
Penetracion para 2"	=	0.2107	pulgadas	
Esfuerzo para 1"	=	4.2374	kg/cm2	
Esfuerzo para 2"	=	8.4749	kg/cm2	

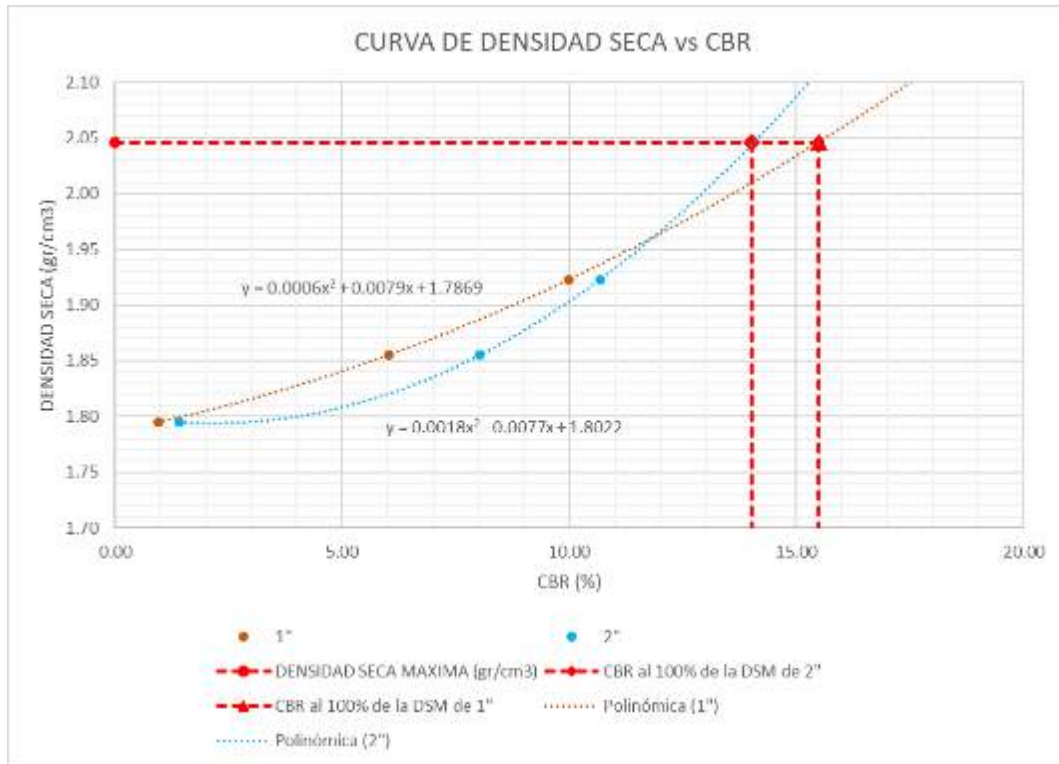


TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	0.01	-0.45	0.01
0.64	0.025	0.12	0.61	2.25
1.27	0.050	0.28	1.67	4.58
1.91	0.075	0.47	2.73	5.95
2.54	0.100	0.67	3.79	7.03
3.81	0.150	1.15	5.90	9.56
5.08	0.200	1.49	8.02	11.26
6.35	0.250	1.78	10.14	13.53
7.62	0.300	2.23	12.26	16.02
10.16	0.400	2.84	16.50	19.18
12.70	0.500	3.78	20.73	21.86



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	0.67	1.49	4.24	8.47	7.03	11.26
CBR (%)	0.95	1.41	6.03	8.04	9.99	10.68

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	0.95	1.41	1.79
26 Golpes	6.03	8.04	1.86
56 Golpes	9.99	10.68	1.92



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.0458
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	15.50	14.00

Fuente: Elaboración propia



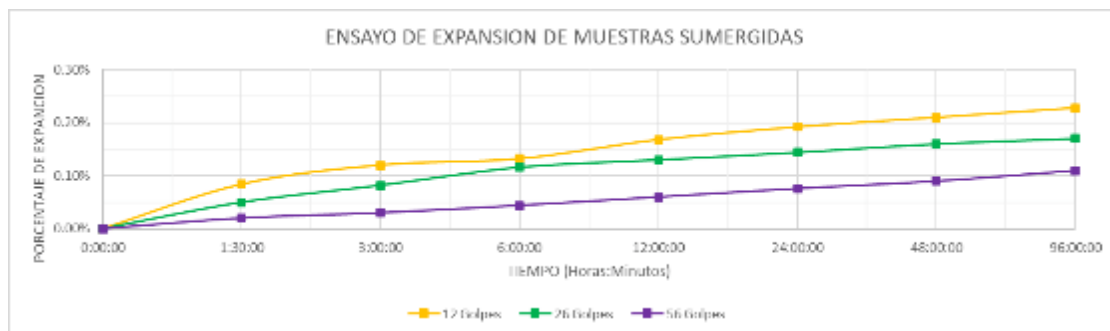
Tabla 130: Ensayo CBR C3 Suelo Natural– ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	4.67%	6.54%	7.80%	8.31%	9.15%
Densidad seca (gr/cm3)	2.03	2.10	2.07	2.01	1.94

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	7	%
2	Densidad Seca Máxima	2.245	gr/cm3
3	Humedad Natural	4.29%	%
4	% de Agua a añadir	7	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	6895		8115		6892	
Diametro (cm)	15.25		15.27		15.28	
Altura (cm)	17.74		17.75		17.77	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2120.61		2128.01		2134.47	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	7		7		7	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	350		350		350	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11256		12156		11650	
Peso suelo Humedo (gr)	4361		4041		4758	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.06		1.90		2.23	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	35.6	36.8	38.5	37.1	38.6	39.5
Peso de envase + suelo humedo	153.2	152.8	139.5	150.5	125.5	126.4
Peso de envase +Suelo seco	142.6	140.6	132.9	142.1	115.6	118.6
Peso del agua	10.6	12.2	6.6	8.4	9.9	7.8
peso suelo humedo	117.6	116	101	113.4	86.9	86.9
Peso del suelo seco	107	103.8	94.4	105	77	79.1
Contenido de humedad	9.91%	11.75%	6.99%	8.00%	12.86%	9.86%
Contenido de humedad promedio (%)	10.83%		7.50%		11.36%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.86		1.77		2.00	

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	4.2	0.0042	0.1067	0.08%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%	1.0	0.0010	0.0254	0.02%
0.125	3 hor 00 min	6.0	0.0060	0.1524	0.12%	4.1	0.0041	0.1041	0.08%	1.5	0.0015	0.0381	0.03%
0.25	6 hor 00 min	6.6	0.0066	0.1676	0.13%	5.8	0.0058	0.1473	0.12%	2.2	0.0022	0.0559	0.04%
0.5	12 hor 00 min	8.4	0.0084	0.2134	0.17%	6.5	0.0065	0.1651	0.13%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%
1	24 hor 00 min	9.6	0.0096	0.2438	0.19%	7.2	0.0072	0.1829	0.14%	3.8	0.0038	0.0965	0.08%
2	48 hor 00 min	10.5	0.0105	0.2667	0.21%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%
4	96 hor 00 min	11.4	0.0114	0.2896	0.23%	8.5	0.0085	0.2159	0.17%	5.5	0.0055	0.1397	0.11%





Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.28956	0.2159	0.1397	mm
Hinchamiento	0.28956	0.2159	0.1397	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.23%	0.17%	0.11%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

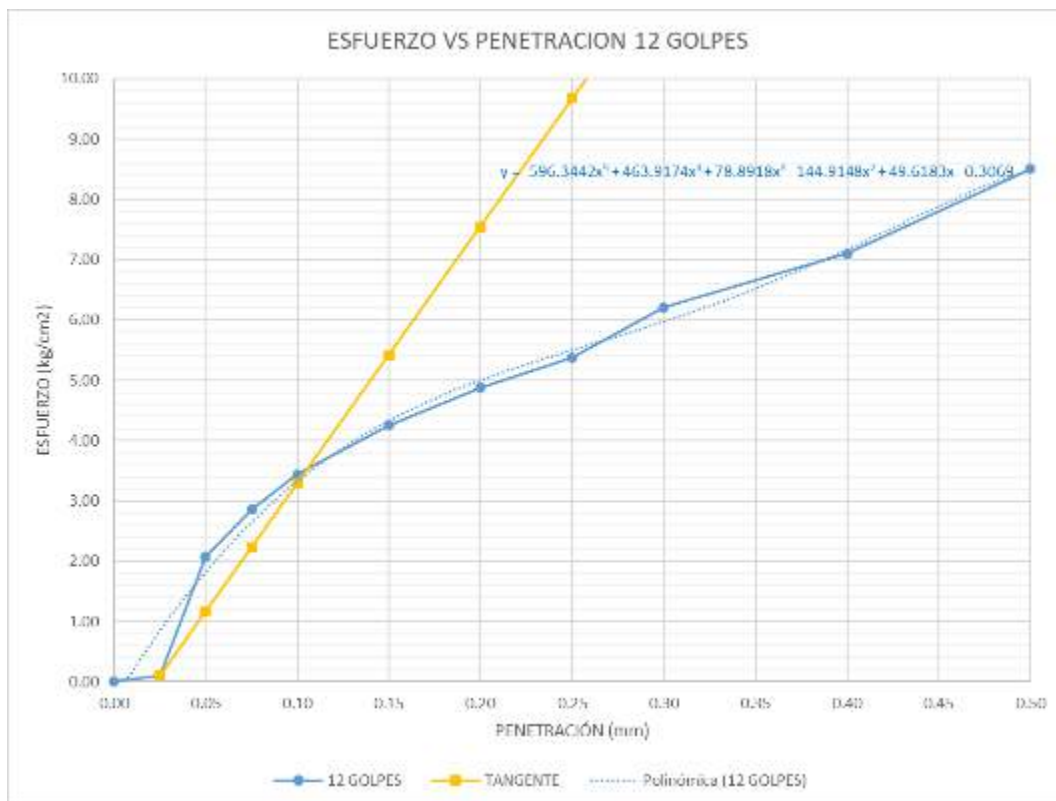
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.020	0.10	0.066	0.35	0.214	1.13
1.27	0.050	0.391	2.07	0.135	0.72	0.804	4.26
1.91	0.075	0.539	2.86	0.215	1.14	1.132	6.00
2.54	0.100	0.650	3.44	0.325	1.72	1.371	7.26
3.81	0.150	0.803	4.25	0.527	2.79	1.780	9.43
5.08	0.200	0.921	4.88	0.624	3.31	2.331	12.35
6.35	0.250	1.014	5.37	0.964	5.11	2.805	14.86
7.62	0.300	1.172	6.21	1.234	6.54	3.386	17.94
10.16	0.400	1.340	7.10	1.967	10.42	4.473	23.70
12.70	0.500	1.605	8.51	2.516	13.33	5.505	29.17



OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.44	4.88	1.72	3.31	7.26	12.35
CBR (%)	4.90	4.63	2.45	3.14	10.33	11.71



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)			
$f(x) = -596.3442x^5 + 463.9174x^4 + 78.8918x^3 + -144.9148x^2 + 49.6183x + -0.3069$			
$d/dx f(x) = -2981.7210x^4 + 1855.6696x^3 + 236.6754x^2 + -289.8296x + 49.6183$			
Pendiente para la recta tangente m= 42.55	x= 0.03	y= 0.10	
	x1= 0.03	y1= 0.10	
Ecuacion de la Recta		y= m*(x-x1)+y1	
y= 42.5483 x + -0.9591			
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.02	pulgadas
		0.57	mm
Penetracion para 1"	=	0.12	pulgadas
Penetracion para 2"	=	0.22	pulgadas
Esfuerzo para 1"	=	4.25	kg/cm2
Esfuerzo para 2"	=	8.51	kg/cm2



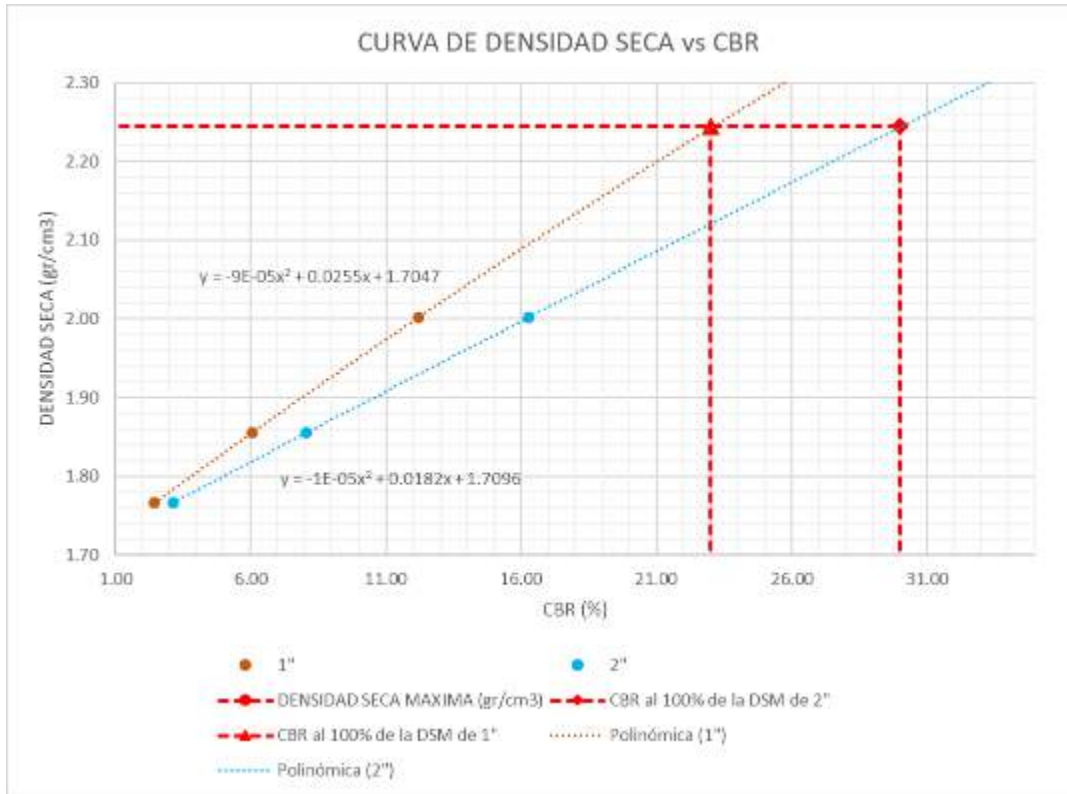
CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (56 GOLPES)			
$f(x) = 1072.9047x^5 + -2105.9902x^4 + 1434.1373x^3 + -414.4050x^2 + 103.8878x + -0.3519$			
$d/dx f(x) = 5364.52x^4 + -8423.96x^3 + 4302.41x^2 + -828.81x + 103.89$			
Pendiente para la recta tangente m= 85.73	x= 0.03	y= 1.13	
	x1= 0.03	y1= 1.13	
Ecuacion de la Recta		y= m*(x-x1)+y1	
y= 85.7270 x + -1.0106			
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.01	pulgadas
		0.30	mm
Penetracion para 1"	=	0.11	pulgadas
Penetracion para 2"	=	0.21	pulgadas
Esfuerzo para 1"	=	8.57	kg/cm2
Esfuerzo para 2"	=	17.15	kg/cm2



TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01 Esfuerzo	Molde 02 Esfuerzo	Molde 03 Esfuerzo
(mm)	(pulg)			
0.00	0.000	-0.96	0.01	-1.01
0.64	0.025	0.10	0.35	1.13
1.27	0.050	1.17	0.72	3.28
1.91	0.075	2.23	1.14	5.42
2.54	0.100	3.30	1.72	7.56
3.81	0.150	5.42	2.79	11.85
5.08	0.200	7.55	3.31	16.13
6.35	0.250	9.68	5.11	20.42
7.62	0.300	11.81	6.54	24.71
10.16	0.400	16.06	10.42	33.28
12.70	0.500	20.32	13.33	41.85

OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm2)	4.25	8.51	1.72	3.31	8.57	17.15
CBR (%)	6.05	8.07	2.45	3.14	12.19	16.26

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	6.05	8.07	1.86
26 Golpes	2.45	3.14	1.77
56 Golpes	12.19	16.26	2.00



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.2450
----------------------	--------

	CBR (%)	
	1"	2"
CBR al 100% de la DSM	23.00	30.00

Fuente: Elaboración propia



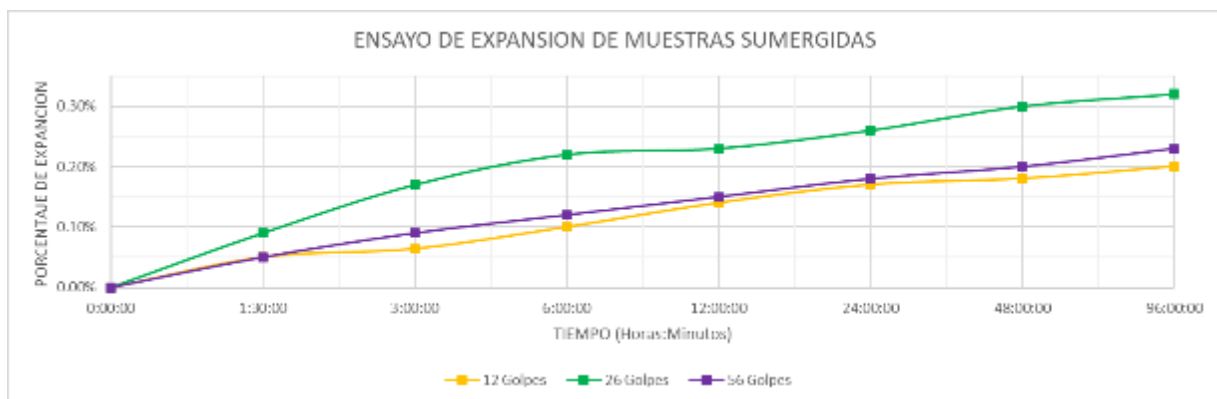
Tabla 131: Ensayo CBR C3 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	4.71%	5.77%	7.79%	8.51%	9.29%
Densidad seca (gr/cm3)	1.98	2.01	1.99	1.94	1.90

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	7	%
2	Densidad Seca Máxima	2.147	gr/cm3
3	Humedad Natural	4.29%	%
4	% de Agua a añadir	7	%

DATOS					
Numero de Golpes	12		26		56
Peso del molde con base (gr)	8186		8215		7584
Diametro (cm)	15.25		15.3		15.25
Altura (cm)	17.8		17.8		17.75
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13
Volumen de Molde (cm3)	2131.57		2145.57		2122.44
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	7		7		7
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000
Peso del agua para la muestra	350		350		350
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12485.2		12458.5		11852.5
Peso suelo Humedo (gr)	4299.2		4243.5		4268.5
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.02		1.98		2.01
Envase N°	1	2	3	4	5
Peso de envase	36.5	38.5	35.6	37.2	34.5
Peso de envase + suelo humedo	126.2	150.8	162.8	175.8	128.5
Peso de envase +Suelo seco	117.4	138.2	150.8	162.9	120.8
Peso del agua	8.8	12.6	12	12.9	7.7
peso suelo humedo	89.7	112.3	127.2	138.6	94
Peso del suelo seco	80.9	99.7	115.2	125.7	86.3
Contenido de humedad	10.88%	12.64%	10.42%	10.26%	8.92%
Contenido de humedad promedio (%)	11.76%		10.34%		8.48%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.80		1.79		1.85

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tiempo Transcurrido		Dial		Deformación		Dial		Deformación		Dial		Deformación	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	2.5	0.0025	0.0635	0.05%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%
0.125	3 hor 00 min	3.2	0.0032	0.0813	0.06%	8.5	0.0085	0.2159	0.17%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%
0.25	6 hor 00 min	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	11.0	0.0110	0.2794	0.22%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%
0.5	12 hor 00 min	7.0	0.0070	0.1778	0.14%	11.5	0.0115	0.2921	0.23%	7.5	0.0075	0.1905	0.15%
1	24 hor 00 min	8.5	0.0085	0.2159	0.17%	13.0	0.0130	0.3302	0.26%	9.0	0.0090	0.2286	0.18%
2	48 hor 00 min	9.0	0.0090	0.2286	0.18%	15.0	0.0150	0.3810	0.30%	10.0	0.0100	0.2540	0.20%
4	96 hor 00 min	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	16.0	0.0160	0.4064	0.32%	11.5	0.0115	0.2921	0.23%

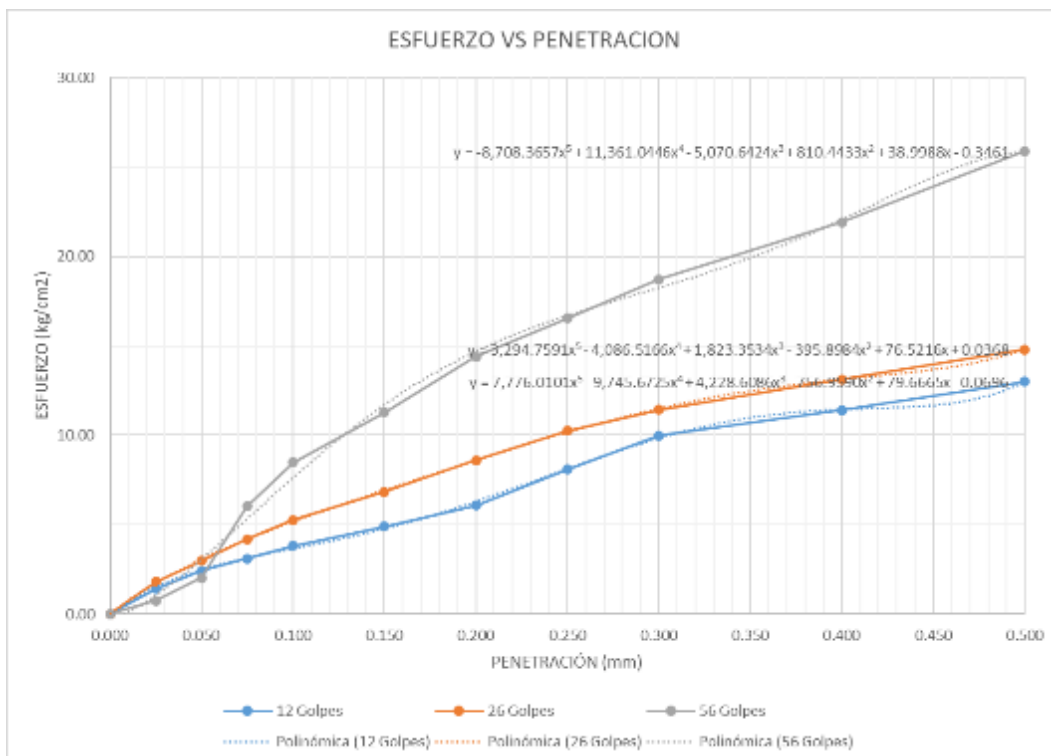




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.254	0.4064	0.2921	mm
Hinchamiento	0.254	0.4064	0.2921	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.20%	0.32%	0.23%	%

DATOS DEL PISTON		
diametro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.265	1.40	0.343	1.81	0.141	0.75
1.27	0.050	0.458	2.43	0.563	2.98	0.382	2.02
1.91	0.075	0.586	3.11	0.793	4.20	1.140	6.04
2.54	0.100	0.722	3.82	1.123	5.26	1.604	8.50
3.81	0.150	0.925	4.90	1.293	6.85	2.131	11.29
5.08	0.200	1.148	6.08	1.626	8.62	2.717	14.40
6.35	0.250	1.526	8.09	1.993	10.26	3.119	16.53
7.62	0.300	1.885	9.99	2.133	11.42	3.531	18.71
10.16	0.400	2.152	11.40	2.479	13.14	4.136	21.92
12.70	0.500	2.454	13.00	2.792	14.79	4.886	25.89



OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.82	6.08	5.26	8.62	8.50	14.40
CBR (%)	5.44	5.77	7.48	8.17	12.09	13.65



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (56 GOLPES)				
$f(x) = -8708.3657 x^5 + 11361.0446 x^4 + -5070.6424 x^3 + 810.4433 x^2 + 38.9988 x + -0.3461$				
$d/dx f(x) = -43541.83 x^4 + 45444.18 x^3 + -15211.93 x^2 + 1620.89 x + 39.00$				
Pendiente para la recta tangente		$x = 0.05$	$y = 2.02$	
$m = 87.42$		$x_1 = 0.05$	$y_1 = 2.02$	
Ecuacion de la Recta		$y = m*(x-x_1)+y_1$		
$y = 87.4217 x + -2.3470$				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.03	pulgadas	
		0.68	mm	
Penetracion para 1"	=	0.13	pulgadas	
Penetracion para 2"	=	0.23	pulgadas	
Esfuerzo para 1"	=	8.74	kg/cm ²	
Esfuerzo para 2"	=	17.48	kg/cm ²	

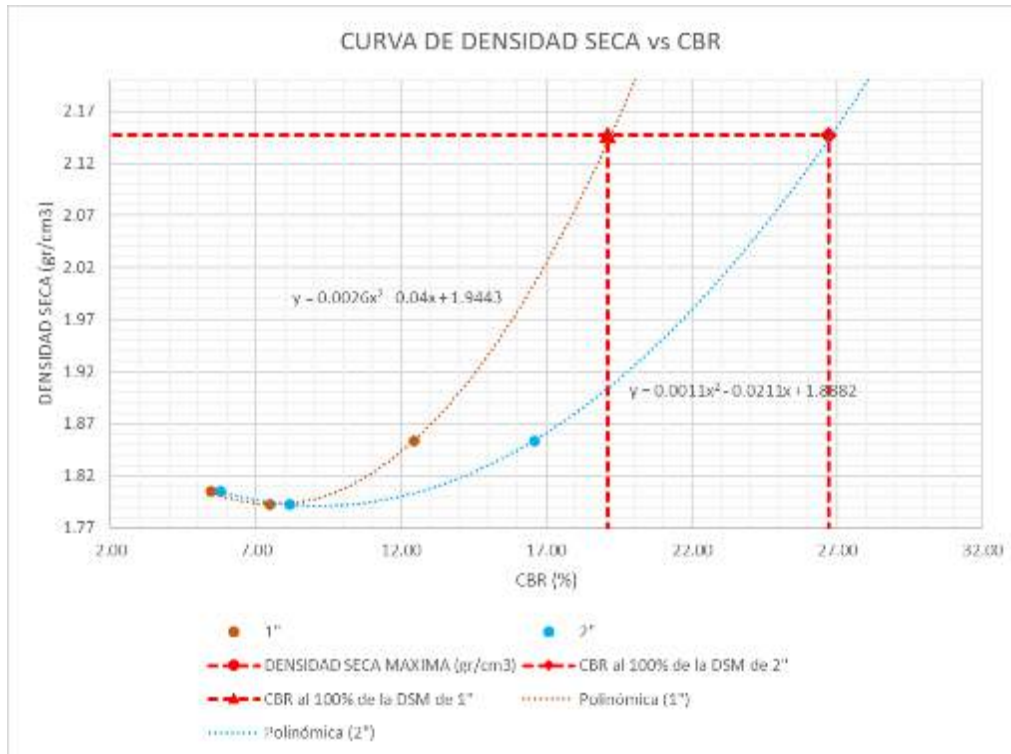


TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	0.01	0.01	-2.35
0.64	0.025	1.40	1.81	-0.16
1.27	0.050	2.43	2.98	2.02
1.91	0.075	3.11	4.20	4.21
2.54	0.100	3.82	5.26	6.40
3.81	0.150	4.90	6.85	10.77
5.08	0.200	6.08	8.62	15.14
6.35	0.250	8.09	10.26	19.51
7.62	0.300	9.99	11.42	23.88
10.16	0.400	11.40	13.14	32.62
12.70	0.500	13.00	14.79	41.36



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.82	6.08	5.26	8.62	8.74	17.48
CBR (%)	5.44	5.77	7.48	8.17	12.43	16.58

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	5.44	5.77	1.80
26 Golpes	7.48	8.17	1.79
56 Golpes	12.43	16.58	1.85



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.1470
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	19.10	26.70

Fuente: Elaboración propia



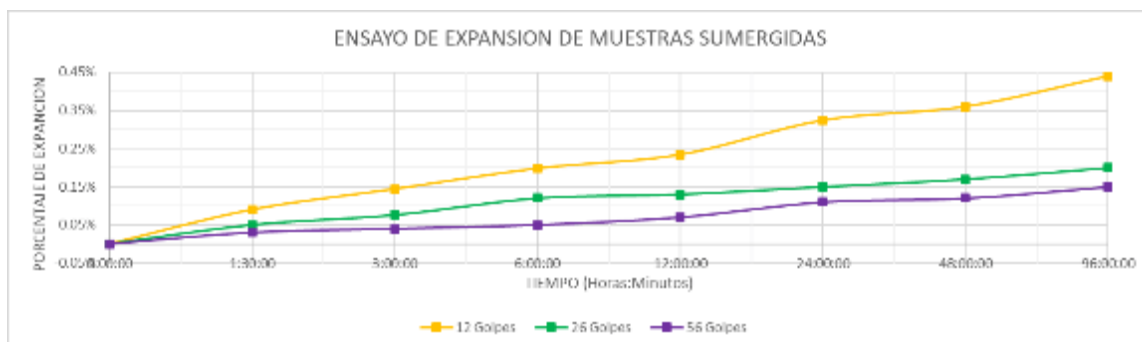
Tabla 132: Ensayo CBR C3 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.16%	4.14%	5.80%	8.43%	10.21%
Densidad seca (gr/cm3)	2.02	2.06	2.05	2.00	1.91

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.9	%
2	Densidad Seca Máxima	2.182	gr/cm3
3	Humedad Natural	4.29%	%
4	% de Agua a añadir	6.9	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	7252.4		7958.2		6748.8	
Diametro (cm)	15.25		15.3		15.285	
Altura (cm)	17.75		17.8		17.72	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2122.44		2145.57		2126.69	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.9		6.9		6.9	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	345		345		345	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11452.5		12456		11356	
Peso suelo Humedo (gr)	4200.1		4497.8		4607.2	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.98		2.10		2.17	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	35.8	38.5	36.3	36.4	45.8	47.5
Peso de envase + suelo humedo	100.5	125.8	132.5	132	135.5	140.5
Peso de envase +Suelo seco	95.2	118.6	127.6	126	121.4	129.1
Peso del agua	5.3	7.2	4.9	6	14.1	11.4
peso suelo humedo	64.7	87.3	96.2	95.6	89.7	93
Peso del suelo seco	59.4	80.1	91.3	89.6	75.6	81.6
Contenido de humedad	8.92%	8.99%	5.37%	6.70%	18.65%	13.97%
Contenido de humedad promedio (%)	8.96%		6.03%		16.31%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.82		1.98		1.86	

Muestra	Muestra 01 (12 golpes)					Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
	Tiempo Transcurrido	Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	4.5	0.0045	0.1143	0.09%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%	1.5	0.0015	0.0381	0.03%
0.125	3 hor 00 min	7.2	0.0072	0.1829	0.14%	3.8	0.0038	0.0965	0.08%	2.0	0.0020	0.0508	0.04%
0.25	6 hor 00 min	9.9	0.0099	0.2515	0.20%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%
0.5	12 hor 00 min	11.7	0.0117	0.2972	0.23%	6.5	0.0065	0.1651	0.13%	3.5	0.0035	0.0889	0.07%
1	24 hor 00 min	16.2	0.0162	0.4115	0.32%	7.5	0.0075	0.1905	0.15%	5.5	0.0055	0.1397	0.11%
2	48 hor 00 min	18.0	0.0180	0.4572	0.36%	8.5	0.0085	0.2159	0.17%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%
4	96 hor 00 min	22.0	0.0220	0.5588	0.44%	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	7.5	0.0075	0.1905	0.15%

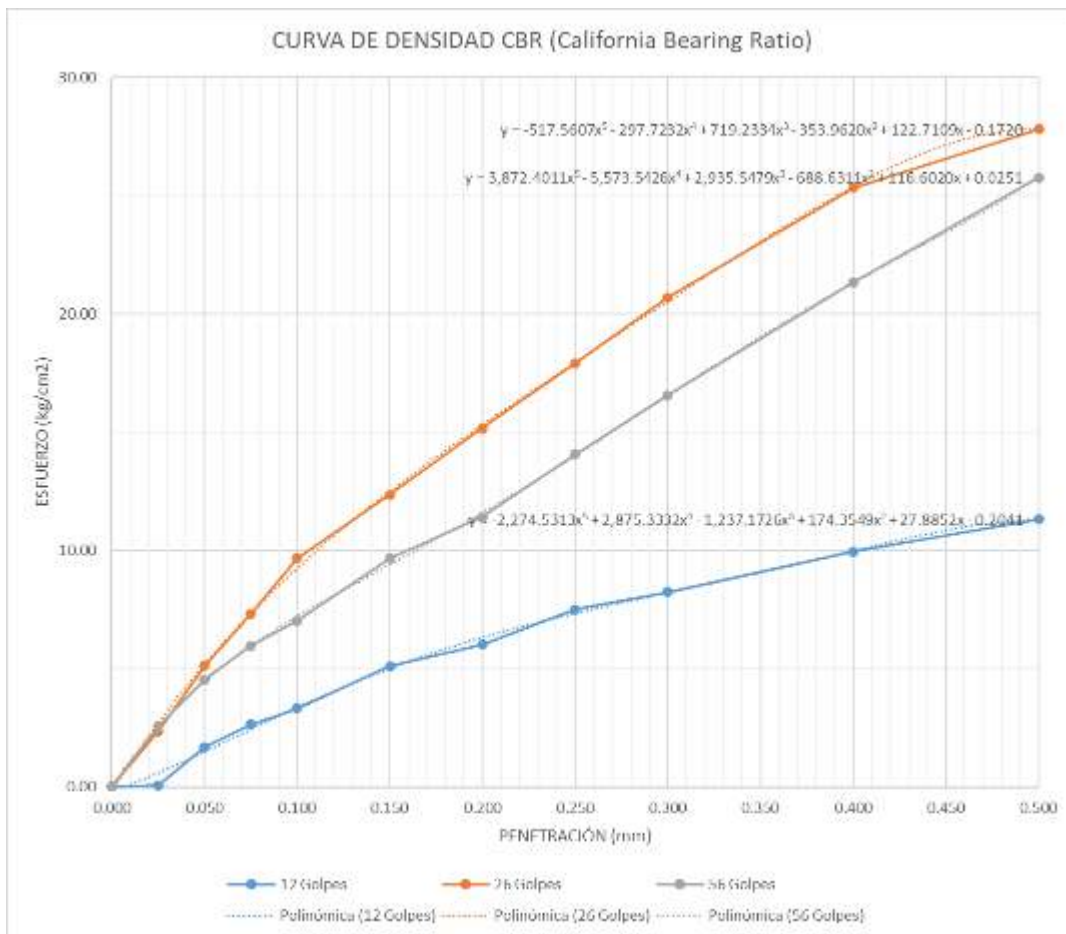




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.5588	0.254	0.1905	mm
Hinchamiento	0.5588	0.254	0.1905	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.44%	0.20%	0.15%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

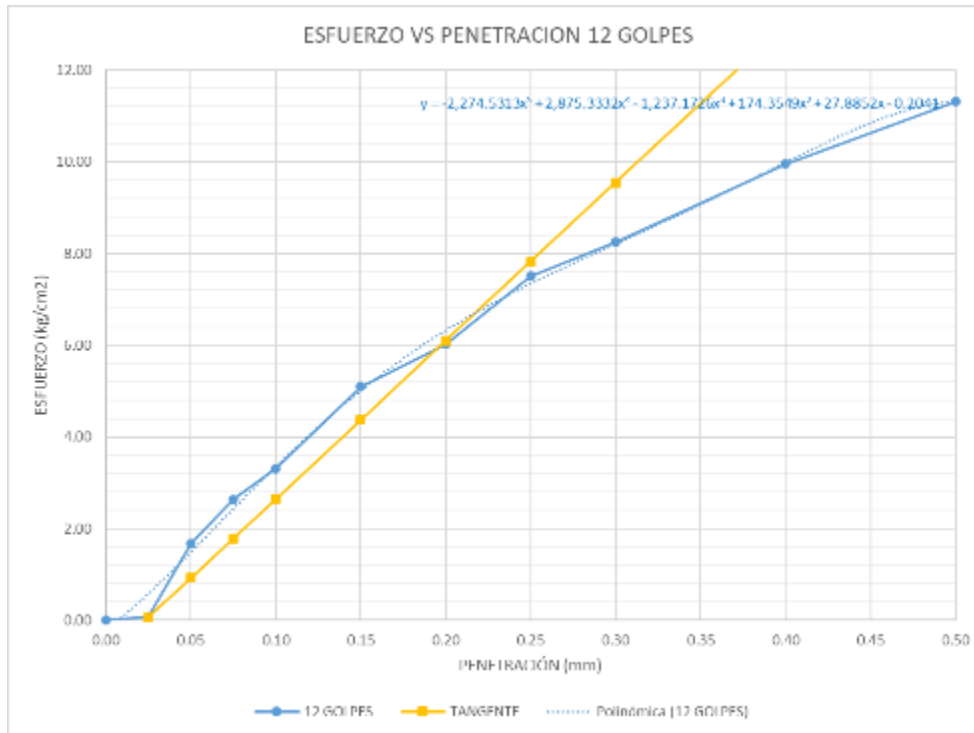
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.013	0.07	0.446	2.36	0.483	2.56
1.27	0.050	0.316	1.68	0.965	5.11	0.856	4.54
1.91	0.075	0.499	2.64	1.381	7.32	1.126	5.97
2.54	0.100	0.625	3.31	1.826	9.68	1.325	7.02
3.81	0.150	0.961	5.09	2.331	12.35	1.824	9.66
5.08	0.200	1.136	6.02	2.864	15.17	2.156	11.42
6.35	0.250	1.416	7.50	3.382	17.92	2.654	14.06
7.62	0.300	1.556	8.25	3.906	20.70	3.125	16.56
10.16	0.400	1.879	9.95	4.780	25.33	4.025	21.33
12.70	0.500	2.136	11.32	5.251	27.82	4.865	25.78





OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.31	6.02	9.68	15.17	7.02	11.42
CBR (%)	4.71	5.71	13.76	14.39	9.99	10.83

CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)		
$f(x) = -2274.5313 x^5 + 2875.3332 x^4 + -1237.1726 x^3 + 174.3549 x^2 + 27.8852 x + -0.2041$		
$d/dx f(x) = -11372.6565 x^4 + 11501.3328 x^3 + -3711.5178 x^2 + 348.7098 x + 27.8852$		
Pendiente para la recta tangente m= 34.46	x= 0.03	y= 0.07
	x1= 0.03	y1= 0.07
Ecuacion de la Recta		$y = m*(x-x1)+y1$
$y = 34.4585 x + -0.7952$		
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	= 0.02	pulgadas
	= 0.59	mm
Penetracion para 1"	= 0.12	pulgadas
Penetracion para 2"	= 0.22	pulgadas
Esfuerzo para 1"	= 3.45	kg/cm ²
Esfuerzo para 2"	= 6.89	kg/cm ²

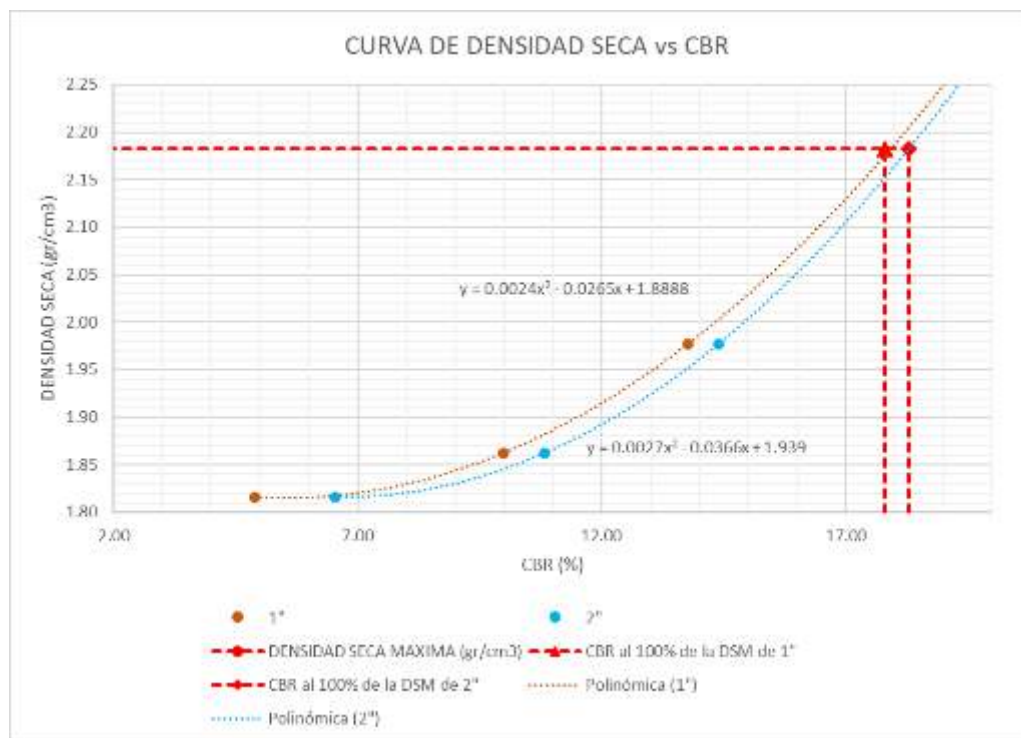




TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	-0.80	0.01	0.01
0.64	0.025	0.07	2.36	2.56
1.27	0.050	0.93	5.11	4.54
1.91	0.075	1.79	7.32	5.97
2.54	0.100	2.65	9.68	7.02
3.81	0.150	4.37	12.35	9.66
5.08	0.200	6.10	15.17	11.42
6.35	0.250	7.82	17.92	14.06
7.62	0.300	9.54	20.70	16.56
10.16	0.400	12.99	25.33	21.33
12.70	0.500	16.43	27.82	25.78

OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.45	6.89	9.68	15.17	7.02	11.42
CBR (%)	4.90	6.53	13.76	14.39	9.99	10.83

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	4.90	6.53	1.82
26 Golpes	13.76	14.39	1.98
56 Golpes	9.99	10.83	1.86



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.1820
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	17.80	18.30

Fuente: Elaboración propia



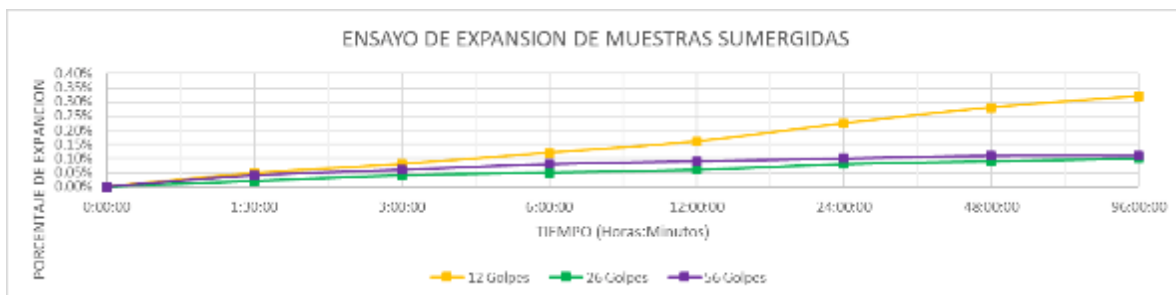
Tabla 133: Ensayo CBR C3 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.59%	5.68%	6.96%	8.45%	10.29%
Densidad seca (gr/cm3)	2.01	2.03	2.05	2.04	2.02

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	7.1	%
2	Densidad Seca Máxima	2.0458	gr/cm3
3	Humedad Natural	4.29%	%
4	% de Agua a añadir	7.1	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	7352.6		7584.5		8352.8	
Diametro (cm)	15.3		15.25		15.27	
Altura (cm)	17.8		17.77		17.79	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2145.57		2126.09		2135.34	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	7.1		7.1		7.1	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	355		355		355	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11854		11865		12645	
Peso suelo Humedo (gr)	4501.4		4280.5		4292.2	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.10		2.01		2.01	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	35.6	36.5	37.5	38.5	39.5	35.8
Peso de envase + suelo humedo	158.6	172.4	165.8	175.5	170.5	162.5
Peso de envase +Suelo seco	146.5	157.2	157.4	167.2	165.5	156.8
Peso del agua	12.1	15.2	8.4	8.3	5	5.7
peso suelo humedo	123	135.9	128.3	137	131	126.7
Peso del suelo seco	110.9	120.7	119.9	128.7	126	121
Contenido de humedad	10.91%	12.59%	7.01%	6.45%	3.97%	4.71%
Contenido de humedad promedio (%)	11.75%		6.73%		4.34%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.88		1.89		1.93	

Muestra	Muestra 01 (12 golpes)					Muestra 02 (26 golpes)					Muestra 03 (56 golpes)				
Tiempo Transcurrido	Dial	Deformación			% de Expans.	Dial	Deformación			% de Expans.	Dial	Deformación			% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm			
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%		
0.0625	1 hor 30 min	2.4	0.0024	0.0610	0.05%	1.0	0.0010	0.0254	0.02%	2.0	0.0020	0.0508	0.04%		
0.125	3 hor 00 min	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	2.0	0.0020	0.0508	0.04%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%		
0.25	6 hor 00 min	6.0	0.0060	0.1524	0.12%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%		
0.5	12 hor 00 min	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%		
1	24 hor 00 min	11.2	0.0112	0.2845	0.22%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	5.0	0.0050	0.1270	0.10%		
2	48 hor 00 min	14.0	0.0140	0.3556	0.28%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%	5.5	0.0055	0.1397	0.11%		
4	96 hor 00 min	16.0	0.0160	0.4064	0.32%	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	5.5	0.0055	0.1397	0.11%		

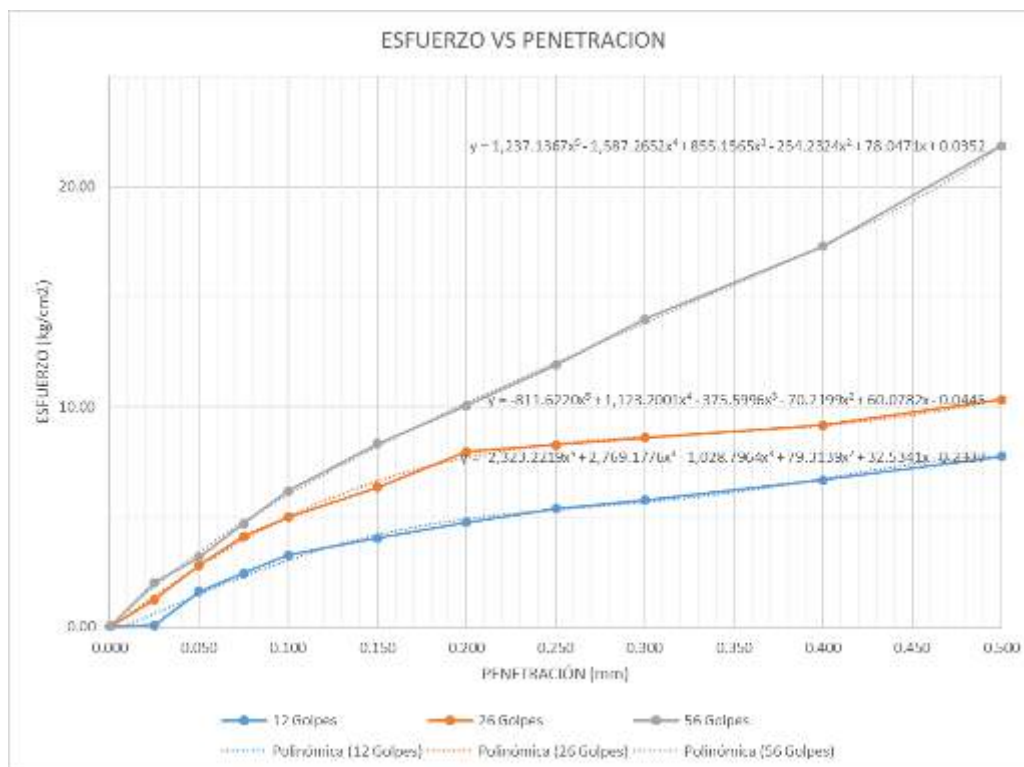




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.4064	0.127	0.1397	mm
Hinchamiento	0.4064	0.127	0.1397	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.32%	0.10%	0.11%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

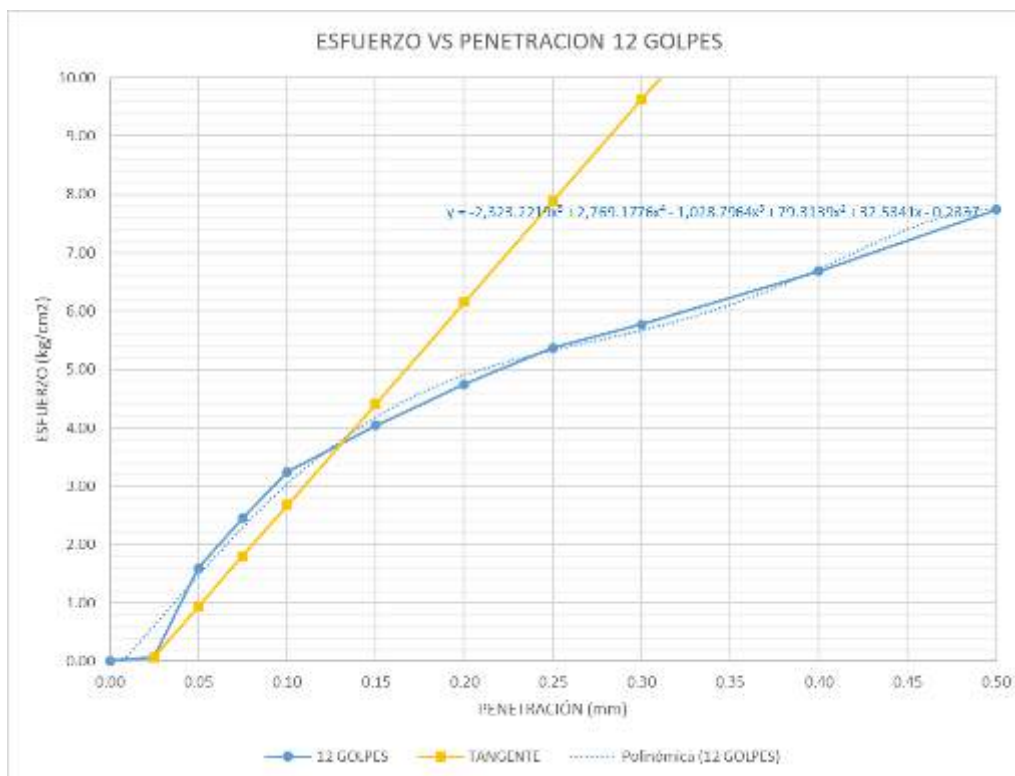
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.013	0.07	0.235	1.25	0.381	2.02
1.27	0.050	0.303	1.60	0.526	2.79	0.596	3.16
1.91	0.075	0.463	2.45	0.777	4.12	0.887	4.70
2.54	0.100	0.614	3.25	0.941	4.98	1.164	6.17
3.81	0.150	0.763	4.04	1.196	6.34	1.571	8.32
5.08	0.200	0.897	4.75	1.318	7.96	1.897	10.05
6.35	0.250	1.015	5.38	1.507	8.27	2.245	11.89
7.62	0.300	1.089	5.77	1.624	8.60	2.637	13.97
10.16	0.400	1.261	6.68	1.731	9.17	3.265	17.30
12.70	0.500	1.461	7.74	1.949	10.32	4.125	21.86



OBTENCIÓN DE CBR							
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03		
	1"	2"	1"	2"	1"	2"	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"	
Presión (kg/cm ²)	3.25	4.75	4.98	7.96	6.17	10.05	
CBR (%)	4.62	4.50	7.09	7.54	8.77	9.53	



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)				
$f(x) = -2323.2219x^5 + 2769.1776x^4 - 1028.7964x^3 + 79.3139x^2 + 32.5341x - 0.2337$				
$d/dx f(x) = -11616.1095x^4 + 11076.7104x^3 - 3086.3892x^2 + 158.6278x + 32.5341$				
Pendiente para la recta tangente m= 34.74	x=	0.03	y=	0.07
	x1=	0.03	y1=	0.07
Ecuacion de la Recta			$y = m*(x-x1)+y1$	
$y = 34.7393x - 0.7983$				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.02	pulgadas	
		0.58	mm	
Penetracion para 1"	=	0.12	pulgadas	
Penetracion para 2"	=	0.22	pulgadas	
Esfuerzo para 1"	=	3.47	kg/cm2	
Esfuerzo para 2"	=	6.95	kg/cm2	

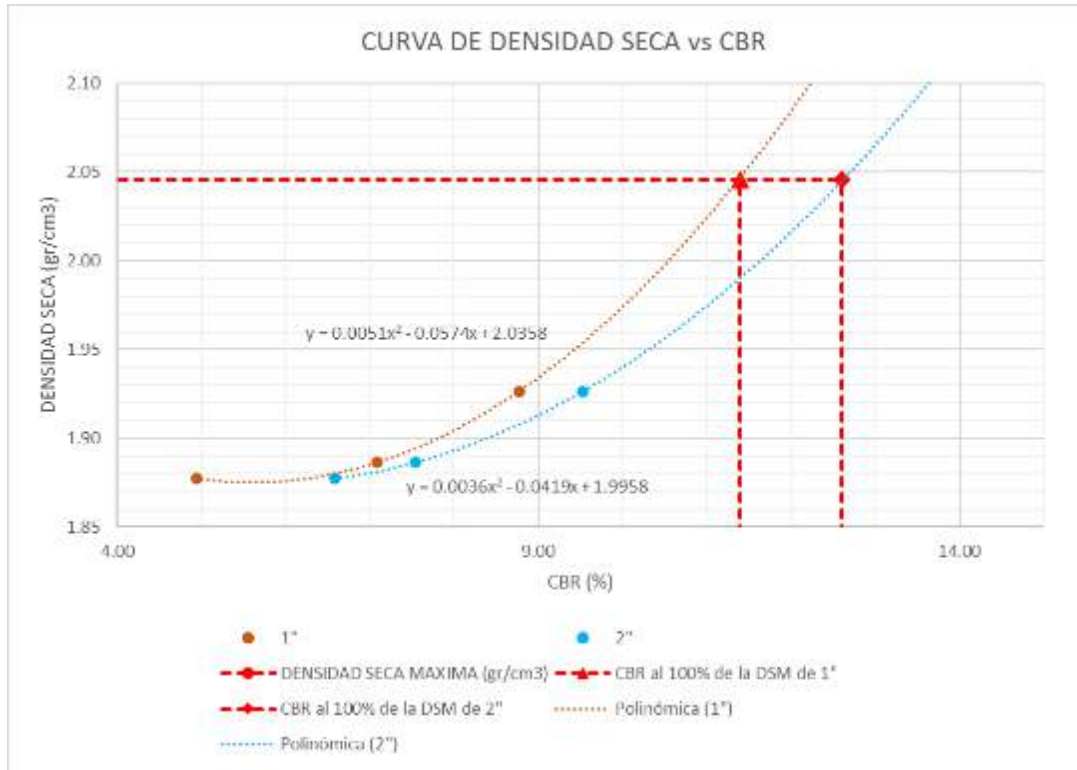


TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	-0.80	0.01	0.01
0.64	0.025	0.07	1.25	2.02
1.27	0.050	0.94	2.79	3.16
1.91	0.075	1.81	4.12	4.70
2.54	0.100	2.68	4.98	6.17
3.81	0.150	4.41	6.34	8.32
5.08	0.200	6.15	7.96	10.05
6.35	0.250	7.89	8.27	11.89
7.62	0.300	9.62	8.60	13.97
10.16	0.400	13.10	9.17	17.30
12.70	0.500	16.57	10.32	21.86



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.47	6.95	4.98	7.96	6.17	10.05
CBR (%)	4.94	6.59	7.09	7.54	8.77	9.53

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	4.94	6.59	1.88
26 Golpes	7.09	7.54	1.89
56 Golpes	8.77	9.53	1.93



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.0458
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	11.40	12.60

Fuente: Elaboración propia



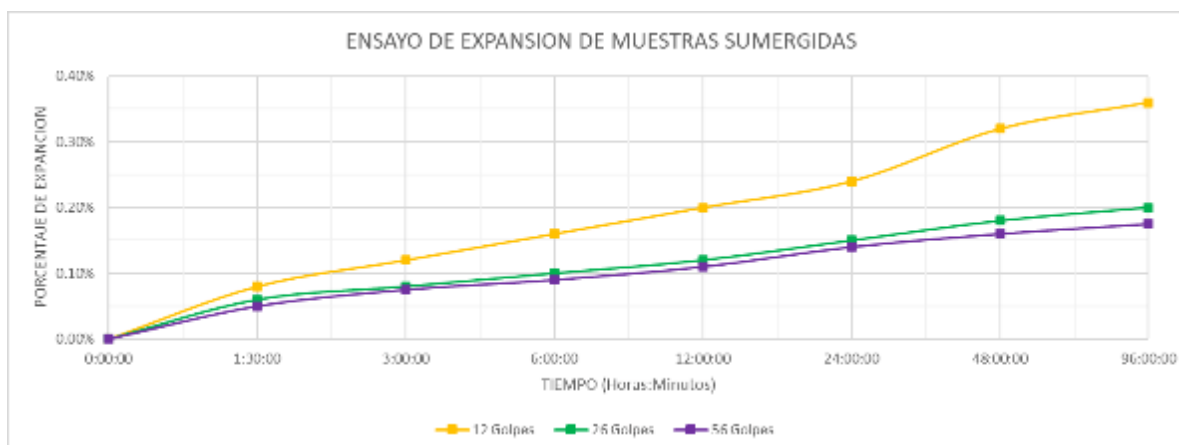
Tabla 134: Ensayo CBR C4 Suelo Natural – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	2.87%	4.66%	5.51%	7.23%	8.87%
Densidad seca (gr/cm3)	2.01	2.04	2.07	2.02	1.93

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.2	%
2	Densidad Seca Máxima	2.175	gr/cm3
3	Humedad Natural	5.25%	%
4	% de Agua a añadir	6.2	%

DATOS					
Numero de Golpes	12		26		56
Peso del molde con base (gr)	6985		7540		7505
Diametro (cm)	15.23		15.285		15.24
Altura (cm)	17.75		17.79		17.78
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13
Volumen de Molde (cm3)	2116.88		2139.53		2125.13
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.2		6.2		6.2
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000
Peso del agua para la muestra	310		310		310
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11000		12155		12380
Peso suelo Humedo (gr)	4015		4615		4875
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.90		2.16		2.29
Envase N°	1	2	3	4	5
Peso de envase	37.3	36.8	38.5	37	49
Peso de envase + suelo humedo	152	155	139	144	105
Peso de envase +Suelo seco	137	140.6	127.6	132	99.1
Peso del agua	15	14.4	11.4	12	5.9
peso suelo humedo	114.7	118.2	100.5	107	56
Peso del suelo seco	99.7	103.8	89.1	95	50.1
Contenido de humedad	15.05%	13.87%	12.79%	12.63%	11.78%
Contenido de humedad promedio (%)	14.46%		12.71%		12.67%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.66		1.91		2.04

Muestra	Muestra 01 (12 golpes)					Muestra 02 (26 golpes)					Muestra 03 (56 golpes)				
Tiempo Transcurrido	Dial	Deformación			% de Expans.	Dial	Deformación			% de Expans.	Dial	Deformación			% de Expans.
Dias	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm			
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%		
0.0625	1 hor 30 min	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%		
0.125	3 hor 00 min	6.0	0.0060	0.1524	0.12%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	3.8	0.0038	0.0953	0.08%		
0.25	6 hor 00 min	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%		
0.5	12 hor 00 min	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%	5.5	0.0055	0.1397	0.11%		
1	24 hor 00 min	12.0	0.0120	0.3048	0.24%	7.5	0.0075	0.1905	0.15%	7.0	0.0070	0.1778	0.14%		
2	48 hor 00 min	16.0	0.0160	0.4064	0.32%	9.0	0.0090	0.2286	0.18%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%		
4	96 hor 00 min	18.0	0.0180	0.4572	0.36%	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	8.8	0.0088	0.2223	0.18%		

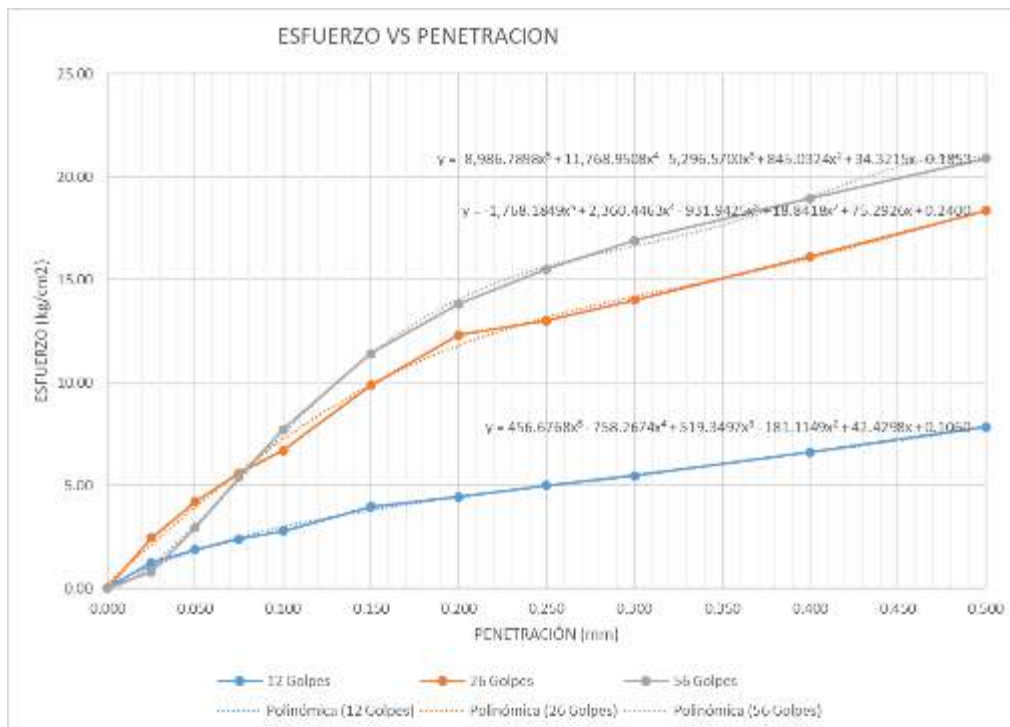




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.4572	0.254	0.22225	mm
Hinchamiento	0.4572	0.254	0.22225	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.36%	0.20%	0.18%	%

DATOS DEL PISTON		
diametro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.233	1.23	0.461	2.44	0.150	0.79
1.27	0.050	0.356	1.89	0.795	4.21	0.555	2.94
1.91	0.075	0.452	2.40	1.056	5.60	1.020	5.40
2.54	0.100	0.526	2.79	1.265	6.70	1.457	7.72
3.81	0.150	0.748	3.96	1.865	9.88	2.153	11.41
5.08	0.200	0.837	4.44	2.325	12.32	2.612	13.84
6.35	0.250	0.944	5.00	2.456	13.01	2.928	15.51
7.62	0.300	1.033	5.47	2.645	14.01	3.192	16.91
10.16	0.400	1.250	6.62	3.044	16.13	3.576	18.95
12.70	0.500	1.479	7.84	3.466	18.36	3.944	20.90



OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	2.79	4.44	6.70	12.32	7.72	13.84
CBR (%)	3.96	4.21	9.53	11.68	10.98	13.12



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (56 GOLPES)				
$f(x) = -8986.7898 x^5 + 11768.9508 x^4 + -5296.5700 x^3 + 845.0324 x^2 + 34.3215 x + -0.1853$				
$d/dx f(x) = -44933.95 x^4 + 47075.80 x^3 + -15889.71 x^2 + 1690.06 x + 34.32$				
Pendiente para la recta tangente		$x = 0.05$	$y = 2.94$	
$m = 84.70$		$x_1 = 0.05$	$y_1 = 2.94$	
Ecuacion de la Recta			$y = m*(x-x_1)+y_1$	
$y = 84.7041 x + -1.2971$				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN		=	0.02	pulgadas
			0.39	mm
Penetracion para 1"		=	0.12	pulgadas
Penetracion para 2"		=	0.22	pulgadas
Esfuerzo para 1"		=	8.47	kg/cm2
Esfuerzo para 2"		=	16.94	kg/cm2

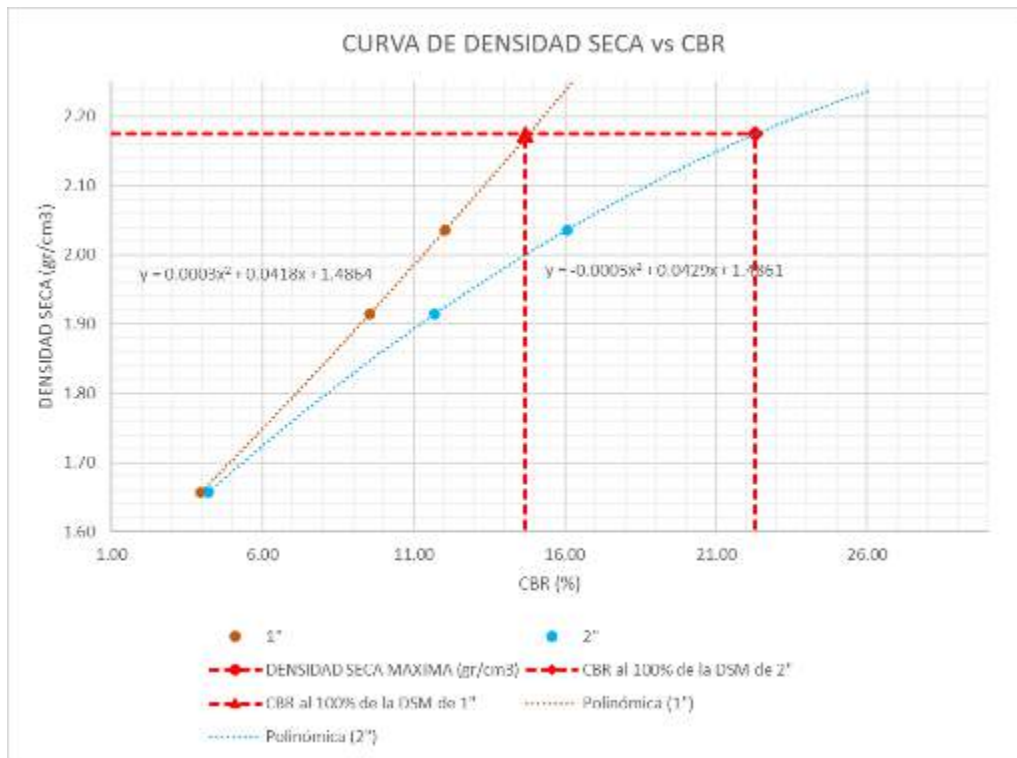


TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	0.01	0.01	-1.30
0.64	0.025	1.23	2.44	0.82
1.27	0.050	1.89	4.21	2.94
1.91	0.075	2.40	5.60	5.06
2.54	0.100	2.79	6.70	7.17
3.81	0.150	3.96	9.88	11.41
5.08	0.200	4.44	12.32	15.64
6.35	0.250	5.00	13.01	19.88
7.62	0.300	5.47	14.01	24.11
10.16	0.400	6.62	16.13	32.58
12.70	0.500	7.84	18.36	41.05



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	2.79	4.44	6.70	12.32	8.47	16.94
CBR (%)	3.96	4.21	9.53	11.68	12.05	16.06

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	3.96	4.21	1.66
26 Golpes	9.53	11.68	1.91
56 Golpes	12.05	16.06	2.04



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.1750
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	14.70	22.30

Fuente: Elaboración propia



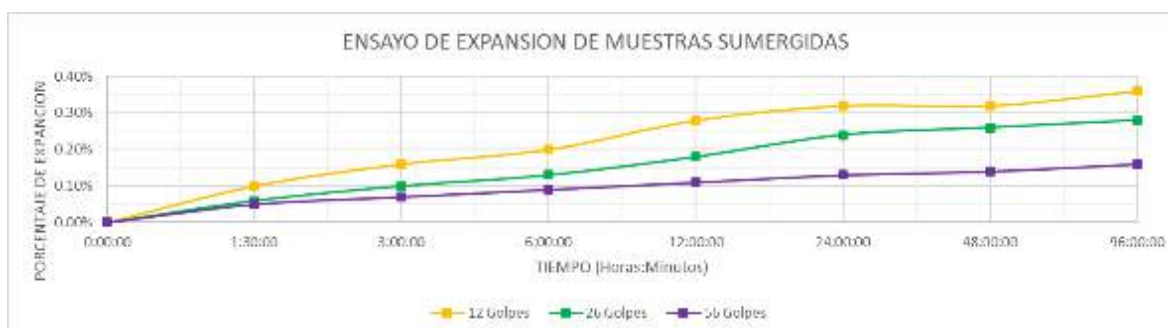
Tabla 135: Ensayo CBR C4 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.13%	4.88%	5.76%	7.56%	8.39%
Densidad seca (gr/cm3)	2.00	2.05	2.06	2.00	1.94

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.1	%
2	Densidad Seca Máxima	2.1770	gr/cm3
3	Humedad Natural	5.25%	%
4	% de Agua a añadir	6.1	%

DATOS					
Numero de Golpes	12		26		56
Peso del molde con base (gr)	8462.5		6942.1		7243.2
Diametro (cm)	15.3		15.28		15.265
Altura (cm)	17.8		17.75		17.755
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13
Volumen de Molde (cm3)	2145.57		2130.80		2127.53
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.1		6.1		6.1
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000
Peso del agua para la muestra	305		305		305
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12468.9		10946.8		11645.5
Peso suelo Humedo (gr)	4006.4		4004.7		4402.3
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.87		1.88		2.07
Envase N°	1	2	3	4	5
Peso de envase	36.5	37.2	35.8	36.8	42.5
Peso de envase + suelo humedo	150.1	155.2	135.8	140.8	103.9
Peso de envase +Suelo seco	136.2	140.8	125.2	129.9	100.5
Peso del agua	13.9	14.4	10.6	10.9	3.4
peso suelo humedo	113.6	118	100	104	61.4
Peso del suelo seco	99.7	103.6	89.4	93.1	58
Contenido de humedad	13.94%	13.90%	11.86%	11.71%	5.86%
Contenido de humedad promedio (%)	13.92%		11.78%		9.17%
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.64		1.68		1.90

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tiempo Transcurrido		Dial		Deformación		Dial		Deformación		Dial		Deformación	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%
0.125	3 hor 00 min	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	3.5	0.0035	0.0889	0.07%
0.25	6 hor 00 min	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	6.5	0.0065	0.1651	0.13%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%
0.5	12 hor 00 min	14.0	0.0140	0.3556	0.28%	9.0	0.0090	0.2286	0.18%	5.5	0.0055	0.1397	0.11%
1	24 hor 00 min	16.0	0.0160	0.4064	0.32%	12.0	0.0120	0.3048	0.24%	6.5	0.0065	0.1651	0.13%
2	48 hor 00 min	16.0	0.0160	0.4064	0.32%	13.0	0.0130	0.3302	0.26%	7.0	0.0070	0.1778	0.14%
4	96 hor 00 min	18.0	0.0180	0.4572	0.36%	14.0	0.0140	0.3556	0.28%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%

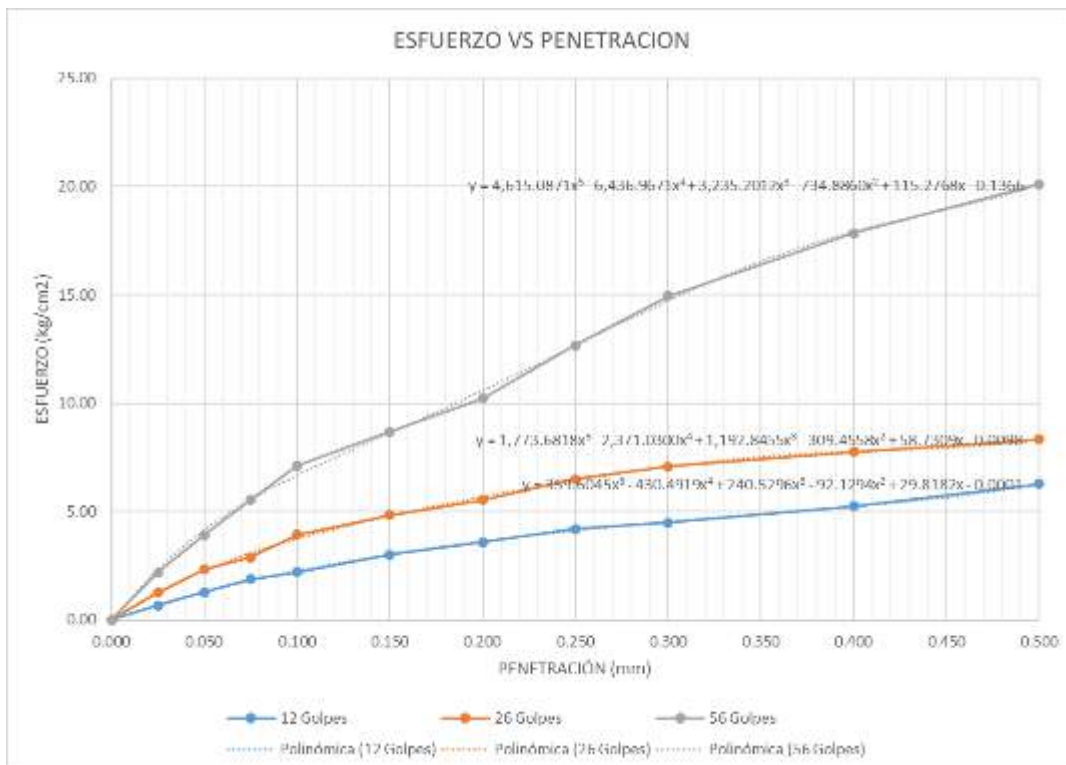




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.4572	0.3556	0.2032	mm
Hinchamiento	0.4572	0.3556	0.2032	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.36%	0.28%	0.16%	%

DATOS DEL PISTON		
diametro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.125	0.66	0.237	1.25	0.411	2.18
1.27	0.050	0.241	1.28	0.441	2.33	0.737	3.90
1.91	0.075	0.356	1.89	0.546	2.89	1.045	5.54
2.54	0.100	0.418	2.21	0.743	3.94	1.344	7.12
3.81	0.150	0.569	3.01	0.912	4.83	1.637	8.67
5.08	0.200	0.678	3.59	1.043	5.53	1.928	10.22
6.35	0.250	0.794	4.21	1.228	6.51	2.390	12.67
7.62	0.300	0.846	4.48	1.337	7.09	2.821	14.95
10.16	0.400	0.991	5.25	1.465	7.76	3.367	17.84
12.70	0.500	1.184	6.27	1.574	8.34	3.794	20.10



OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	2.21	3.59	3.94	5.53	7.12	10.22
CBR (%)	3.15	3.41	5.60	5.24	10.13	9.69



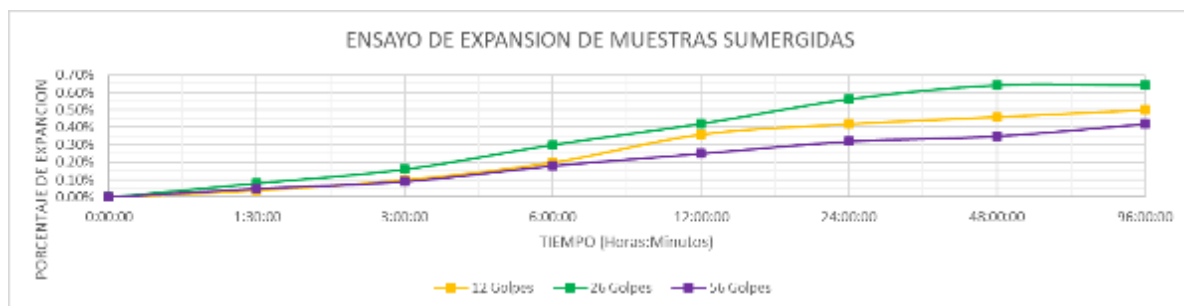
Tabla 136: Ensayo CBR C4 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.55%	4.51%	5.66%	7.45%	7.94%
Densidad seca (gr/cm ³)	1.99	2.05	2.06	2.01	1.95

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6	%
2	Densidad Seca Máxima	2.188	gr/cm ³
3	Humedad Natural	5.25%	%
4	% de Agua a añadir	6	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	7648.2		8462.9		8712.4	
Diametro (cm)	15.265		15.25		15.27	
Altura (cm)	17.775		17.78		17.8	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm ³)	2131.19		2127.92		2137.17	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6		6		6	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	300		300		300	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	10946.6		12165		12743.4	
Peso suelo HUMEDO (gr)	3298.4		3702.1		4031	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	1.55		1.74		1.89	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	35.2	36.5	37.2	36.2	45.8	42.9
Peso de envase + suelo humedo	145.2	150.8	138.8	146.8	103.5	130.5
Peso de envase +Suelo seco	139.2	135.9	126.4	135.8	98.2	119.4
Peso del agua	6	14.9	12.4	11	5.3	11.1
peso suelo humedo	110	114.3	101.6	110.6	57.7	87.6
Peso del suelo seco	104	99.4	89.2	99.6	52.4	76.5
Contenido de humedad	5.77%	14.99%	13.90%	11.04%	10.11%	14.51%
Contenido de humedad promedio (%)	10.38%		12.47%		12.31%	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.40		1.55		1.68	

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tiempo Transcurrido		Dial		Deformación		% de Expans.		Dial		Deformación		% de Expans.	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	%	*0.001"	pulg	mm	%	*0.001"	pulg	mm	%
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	2.0	0.0020	0.0508	0.04%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%
0.125	3 hor 00 min	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%
0.25	6 hor 00 min	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	15.0	0.0150	0.3810	0.30%	9.0	0.0090	0.2286	0.18%
0.5	12 hor 00 min	18.0	0.0180	0.4572	0.36%	21.0	0.0210	0.5334	0.42%	12.5	0.0125	0.3175	0.25%
1	24 hor 00 min	21.0	0.0210	0.5334	0.42%	28.0	0.0280	0.7112	0.56%	16.0	0.0160	0.4064	0.32%
2	48 hor 00 min	23.0	0.0230	0.5842	0.46%	32.0	0.0320	0.8128	0.64%	17.5	0.0175	0.4445	0.35%
4	96 hor 00 min	25.0	0.0250	0.6350	0.50%	32.0	0.0320	0.8128	0.64%	21.0	0.0210	0.5334	0.42%



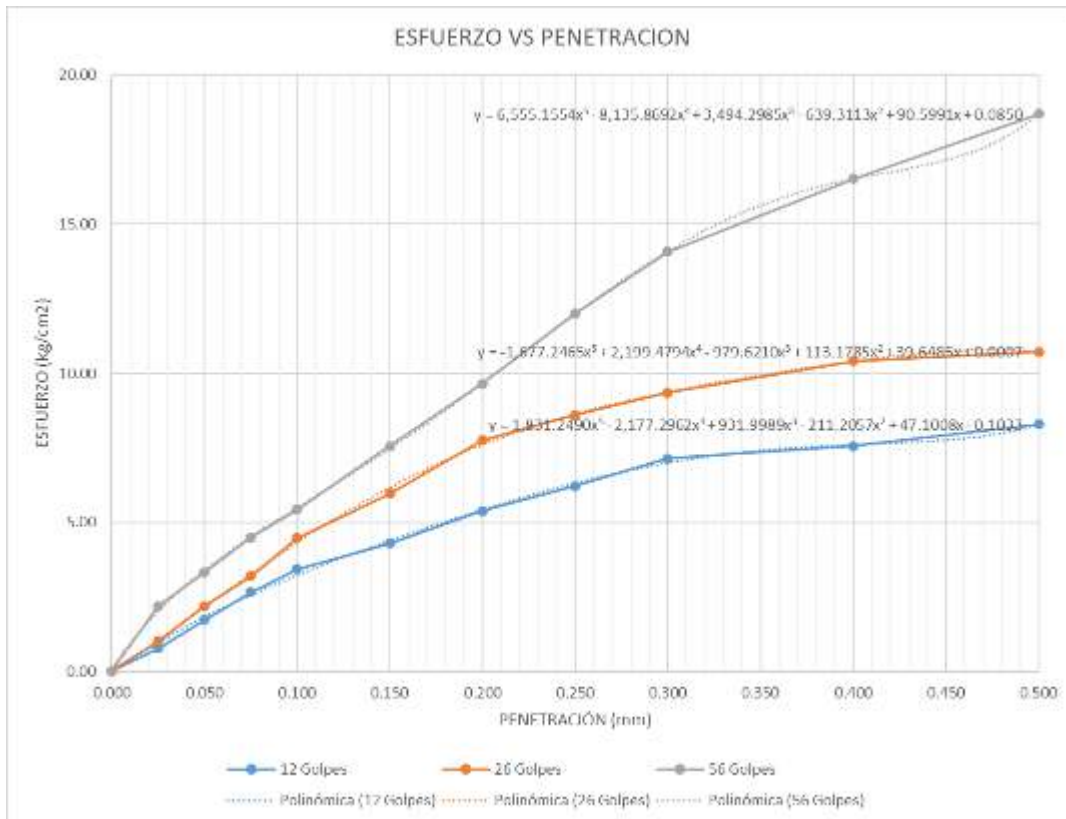
Datos de Hinchamiento



NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.635	0.8128	0.5334	mm
Hinchamiento	0.635	0.8128	0.5334	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.50%	0.64%	0.42%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.146	0.77	0.191	1.01	0.413	2.19
1.27	0.050	0.326	1.73	0.415	2.20	0.628	3.33
1.91	0.075	0.502	2.66	0.601	3.19	0.846	4.48
2.54	0.100	0.648	3.43	0.845	4.48	1.025	5.43
3.81	0.150	0.812	4.30	1.126	5.97	1.426	7.56
5.08	0.200	1.015	5.38	1.465	7.76	1.821	9.65
6.35	0.250	1.174	6.22	1.623	8.60	2.265	12.00
7.62	0.300	1.348	7.14	1.765	9.35	2.658	14.08
10.16	0.400	1.427	7.56	1.965	10.41	3.119	16.53
12.70	0.500	1.566	8.30	2.023	10.72	3.529	18.70

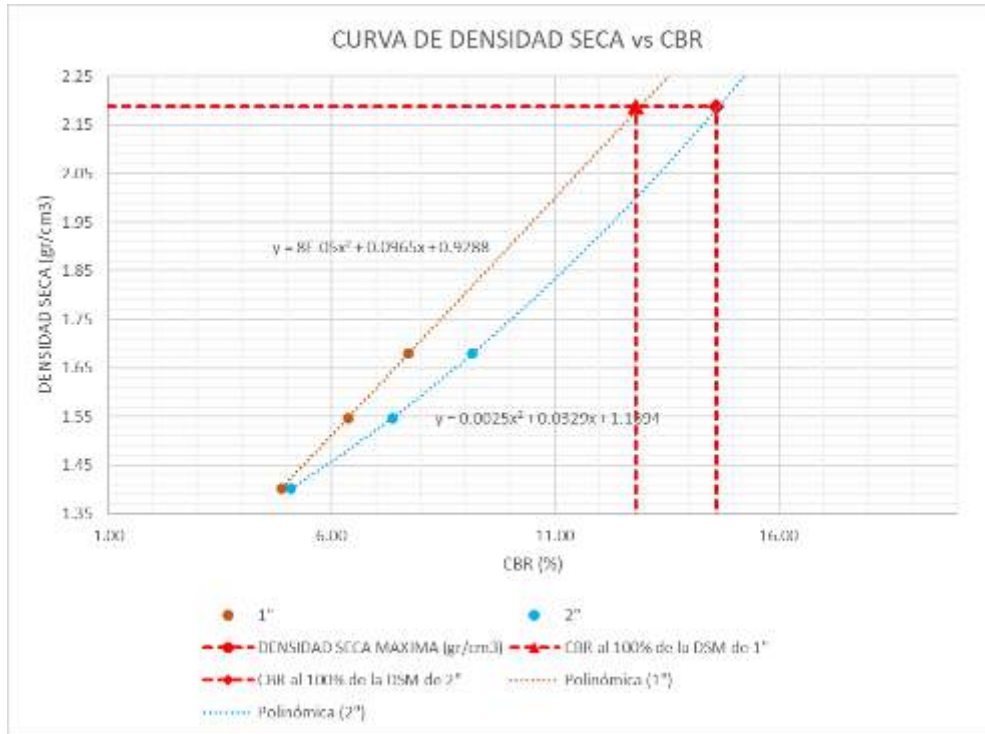


OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.43	5.38	4.48	7.76	5.43	9.65
CBR (%)	4.88	5.10	6.37	7.36	7.72	9.15



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.43	5.38	4.48	7.76	5.43	9.65
CBR (%)	4.88	5.10	6.37	7.36	7.72	9.15

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	4.88	5.10	1.40
26 Golpes	6.37	7.36	1.55
56 Golpes	7.72	9.15	1.68



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.1880
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	12.80	14.60

Fuente: Elaboración propia



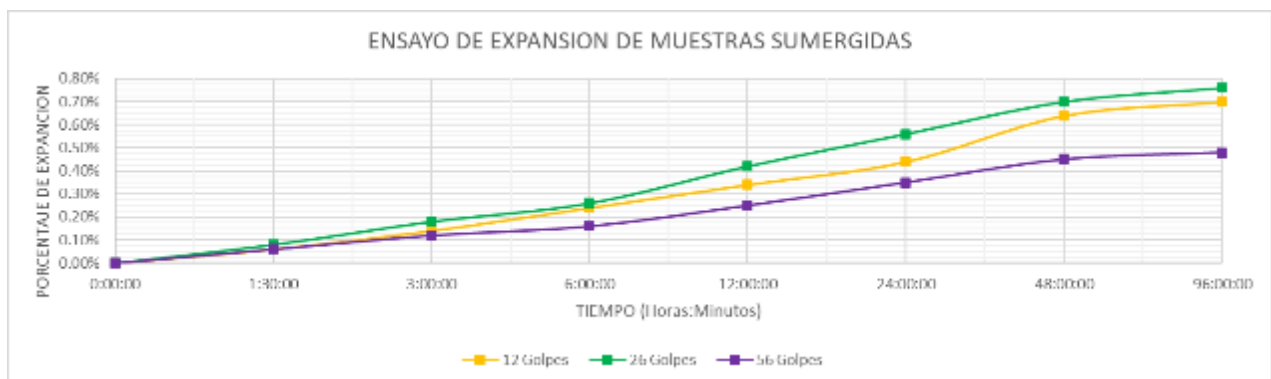
Tabla 137: Ensayo CBR 41 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	1.18%	3.41%	5.53%	8.66%	10.01%
Densidad seca (gr/cm3)	2.02	2.03	2.05	2.04	2.02

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.2	%
2	Densidad Seca Máxima	2.0458	gr/cm3
3	Humedad Natural	5.25%	%
4	% de Agua a añadir	6.2	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	8461.6		7491.8		8732.9	
Diametro (cm)	15.25		15.278		15.295	
Altura (cm)	17.8		17.75		17.77	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2131.57		2130.24		2138.66	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.2		6.2		6.2	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	310		310		310	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12394.5		11568		12685	
Peso suelo Humedo (gr)	3932.9		4076.2		3952.1	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.85		1.91		1.85	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	37.4	37.3	15.8	15.9	15.7	15.8
Peso de envase + suelo humedo	177.3	170.6	41.5	58.1	49.1	53.7
Peso de envase +Suelo seco	159.1	153.9	38.9	53.5	48.5	52.3
Peso del agua	18.2	16.7	2.6	4.6	0.6	1.4
peso suelo humedo	139.9	133.3	25.7	42.2	33.4	37.9
Peso del suelo seco	121.7	116.6	23.1	37.6	32.8	36.5
Contenido de humedad	14.95%	14.32%	11.26%	12.23%	1.83%	3.84%
Contenido de humedad promedio (%)	14.64%		11.74%		2.83%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.61		1.71		1.80	

Muestra	Tiempo Transcurrido	Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
		Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%
0.125	3 hor 00 min	7.0	0.0070	0.1778	0.14%	9.0	0.0090	0.2286	0.18%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%
0.25	6 hor 00 min	12.0	0.0120	0.3048	0.24%	13.0	0.0130	0.3302	0.26%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%
0.5	12 hor 00 min	17.0	0.0170	0.4318	0.34%	21.0	0.0210	0.5334	0.42%	12.5	0.0125	0.3175	0.25%
1	24 hor 00 min	22.0	0.0220	0.5588	0.44%	28.0	0.0280	0.7112	0.56%	17.5	0.0175	0.4445	0.35%
2	48 hor 00 min	32.0	0.0320	0.8128	0.64%	35.0	0.0350	0.8890	0.70%	22.5	0.0225	0.5715	0.45%
4	96 hor 00 min	35.0	0.0350	0.8890	0.70%	38.0	0.0380	0.9652	0.76%	24.0	0.0240	0.6096	0.48%





Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.889	0.9652	0.6096	mm
Hinchamiento	0.889	0.9652	0.6096	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.70%	0.76%	0.48%	%

DATOS DEL PISTON		
diametro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.058	0.31	0.235	1.25	0.075	0.40
1.27	0.050	0.191	1.01	0.415	2.20	0.234	1.24
1.91	0.075	0.249	1.32	0.526	2.79	0.497	2.63
2.54	0.100	0.275	1.46	0.616	3.26	0.772	4.09
3.81	0.150	0.341	1.81	0.865	4.58	1.238	6.56
5.08	0.200	0.378	2.00	1.229	6.51	1.573	8.34
6.35	0.250	0.432	2.29	1.373	7.28	1.900	10.07
7.62	0.300	0.471	2.50	1.501	7.95	2.181	11.56
10.16	0.400	0.563	2.98	1.783	9.44	2.713	14.37
12.70	0.500	0.667	3.53	2.081	11.03	3.179	16.84





OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	1.46	2.00	3.26	6.51	4.09	8.34
CBR (%)	2.07	1.90	4.64	6.17	5.81	7.90

CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)						
$f(x) = 355.7245 x^5 + -628.7882 x^4 + 430.3685 x^3 + -139.4701 x^2 + 25.7008 x + -0.0632$						
$d/dx f(x) = 1778.6225 x^4 + -2515.1528 x^3 + 1291.1055 x^2 + -278.9402 x + 25.7008$						
Pendiente para la recta tangente m= 19.50	x= 0.03		y= 0.31			
	x1= 0.03		y1= 0.31			
Ecuacion de la Recta			y= m*(x-x1)+y1			
$y = 19.4956 x + -0.1801$						
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.01	pulgadas			
		0.23	mm			
Penetracion para 1"	=	0.11	pulgadas			
Penetracion para 2"	=	0.21	pulgadas			
Esfuerzo para 1"	=	1.95	kg/cm ²			
Esfuerzo para 2"	=	3.90	kg/cm ²			





CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (56 GOLPES)			
$f(x) = -5417.4122 x^5 + 7115.7398 x^4 + -3298.2238 x^3 + 603.0049 x^2 + 5.9393 x + -0.0453$			
$d/dx f(x) = -27087.06 x^4 + 28462.96 x^3 + -9894.67 x^2 + 1206.01 x + 5.94$			
Pendiente para la recta tangente		$x = 0.05$	$y = 1.24$
$m = 44.89$		$x_1 = 0.05$	$y_1 = 1.24$
Ecuacion de la Recta		$y = m*(x-x_1)+y_1$	
$y = 44.8917 x + -1.0034$			
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.02 pulgadas	
		0.57 mm	
Penetracion para 1"	=	0.12 pulgadas	
Penetracion para 2"	=	0.22 pulgadas	
Esfuerzo para 1"	=	4.49 kg/cm ²	
Esfuerzo para 2"	=	8.98 kg/cm ²	

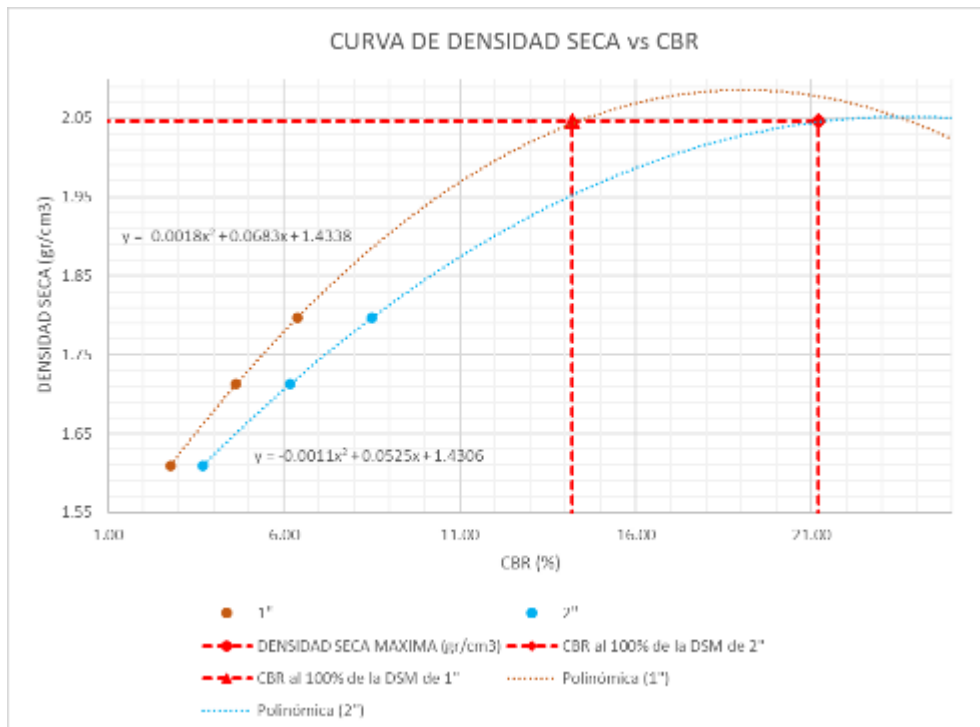




TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	-0.18	0.01	-1.00
0.64	0.025	0.31	1.25	0.12
1.27	0.050	0.79	2.20	1.24
1.91	0.075	1.28	2.79	2.36
2.54	0.100	1.77	3.26	3.49
3.81	0.150	2.74	4.58	5.73
5.08	0.200	3.72	6.51	7.97
6.35	0.250	4.69	7.28	10.22
7.62	0.300	5.67	7.95	12.46
10.16	0.400	7.62	9.44	16.95
12.70	0.500	9.57	11.03	21.44

OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm2)	1.95	3.90	3.26	6.51	4.49	8.98
CBR (%)	2.77	3.70	4.64	6.17	6.38	8.51

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	2.77	3.70	1.61
26 Golpes	4.64	6.17	1.71
56 Golpes	6.38	8.51	1.80



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.0458
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	14.20	21.20

Fuente: Elaboración propia



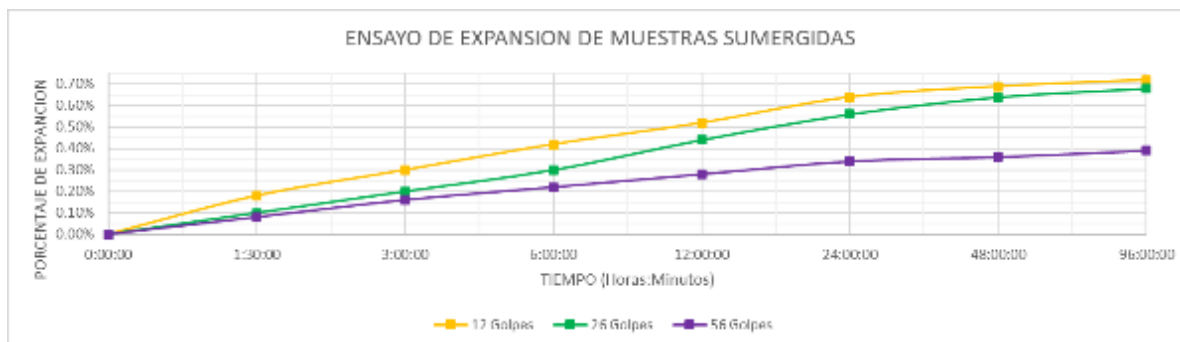
Tabla 138: Ensayo CBR C5 Suelo Natural – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.85%	5.82%	8.01%	10.07%	11.89%
Densidad seca (gr/cm3)	2.02	2.06	2.07	2.03	1.93

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	7.1	%
2	Densidad Seca Máxima	2.0750	gr/cm3
3	Humedad Natural	5.04%	%
4	% de Agua a añadir	7.1	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	7540		8190		6925	
Diametro (cm)	15.28		15.25		15.3	
Altura (cm)	17.75		17.79		17.78	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2130.80		2129.75		2141.90	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	7.1		7.1		7.1	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	355		355		355	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11980		12870		11710	
Peso suelo Humedo (gr)	4440		4680		4785	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.08		2.20		2.23	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	36.5	36.6	37.5	36.7	38.4	38.8
Peso de envase + suelo humedo	130	148	120	116	113	135
Peso de envase +Suelo seco	118.5	134.5	114.6	109.5	105.7	122.8
Peso del agua	11.5	13.5	5.4	6.5	7.3	12.2
peso suelo humedo	93.5	111.4	82.5	79.3	74.6	96.2
Peso del suelo seco	82	97.9	77.1	72.8	67.3	84
Contenido de humedad	14.02%	13.79%	7.00%	8.93%	10.85%	14.52%
Contenido de humedad promedio (%)	13.91%		7.97%		12.69%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.83		2.04		1.98	

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tiempo Transcurrido		Dial		Deformación		% de Expans.		Dial		Deformación		% de Expans.	
Dias	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	9.0	0.0090	0.2286	0.18%	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%
0.125	3 hor 00 min	15.0	0.0150	0.3810	0.30%	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%
0.25	6 hor 00 min	21.0	0.0210	0.5334	0.42%	15.0	0.0150	0.3810	0.30%	11.0	0.0110	0.2794	0.22%
0.5	12 hor 00 min	26.0	0.0260	0.6604	0.52%	22.0	0.0220	0.5588	0.44%	14.0	0.0140	0.3556	0.28%
1	24 hor 00 min	32.0	0.0320	0.8128	0.64%	28.0	0.0280	0.7112	0.56%	17.0	0.0170	0.4318	0.34%
2	48 hor 00 min	34.5	0.0345	0.8763	0.69%	32.0	0.0320	0.8128	0.64%	18.0	0.0180	0.4572	0.36%
4	96 hor 00 min	36.0	0.0360	0.9144	0.72%	34.0	0.0340	0.8636	0.68%	19.5	0.0195	0.4953	0.39%

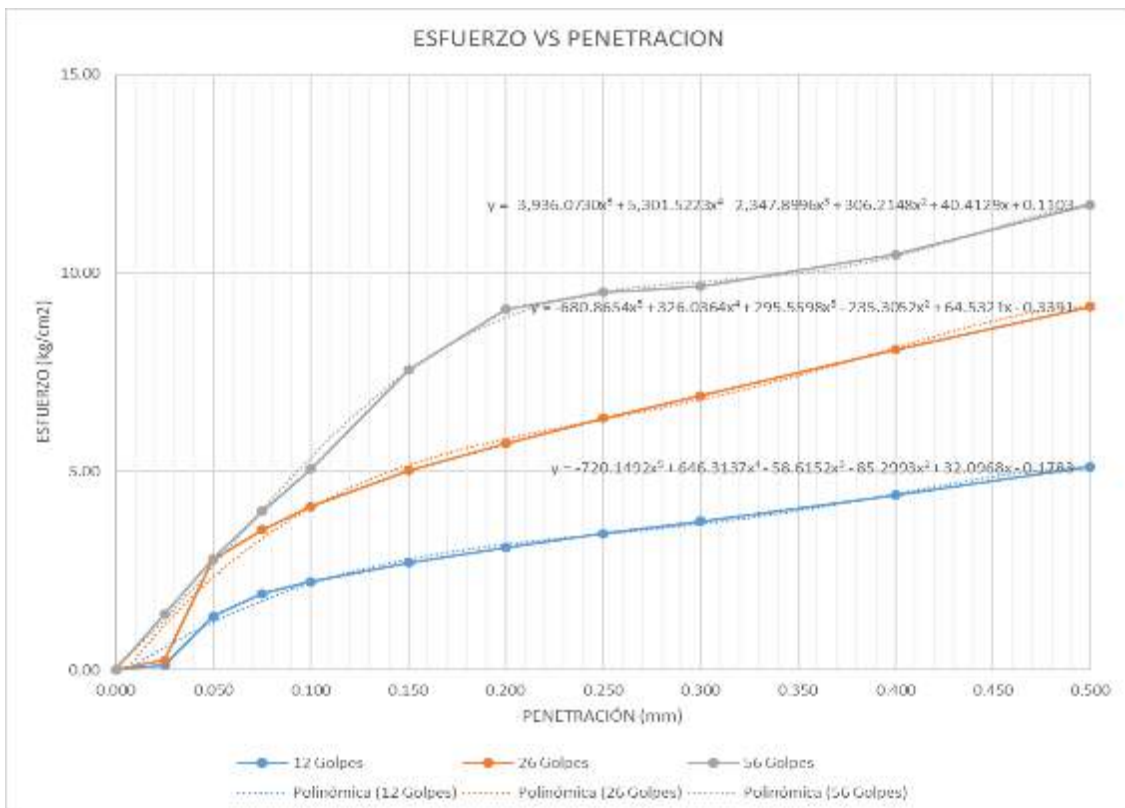




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.9144	0.8636	0.4953	mm
Hinchamiento	0.9144	0.8636	0.4953	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.72%	0.68%	0.39%	%

DATOS DEL PISTON		
diametro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01 Carga (KN)	Molde 01 Esfuerzo (kg/cm ²)	Molde 02 Carga (KN)	Molde 02 Esfuerzo (kg/cm ²)	Molde 03 Carga (KN)	Molde 03 Esfuerzo (kg/cm ²)
(mm)	(pulg)						
0.00	0.000	0.002	0.01	0.001	0.01	0.001	0.01
0.64	0.025	0.023	0.12	0.046	0.24	0.265	1.40
1.27	0.050	0.254	1.35	0.527	2.79	0.529	2.80
1.91	0.075	0.364	1.93	0.666	3.53	0.755	4.00
2.54	0.100	0.420	2.23	0.777	4.11	0.956	5.07
3.81	0.150	0.509	2.70	0.948	5.02	1.425	7.55
5.08	0.200	0.583	3.09	1.077	5.71	1.715	9.09
6.35	0.250	0.649	3.44	1.198	6.35	1.795	9.51
7.62	0.300	0.706	3.74	1.304	6.91	1.824	9.66
10.16	0.400	0.831	4.40	1.523	8.07	1.975	10.46
12.70	0.500	0.965	5.11	1.728	9.15	2.212	11.72





OBTENCIÓN DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	2.23	3.09	4.11	5.71	5.07	9.09
CBR (%)	3.17	2.93	5.85	5.41	7.20	8.62

CORRECCIÓN METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)						
$f(x) = -720.1492x^5 + 646.3137x^4 - 58.6152x^3 - 85.2993x^2 + 32.0968x - 0.1783$						
$d/dx f(x) = -3600.7460x^4 + 2585.2548x^3 - 175.8456x^2 - 170.5986x + 32.0968$						
Pendiente para la recta tangente m= 27.76	x= 0.03		y= 0.12			
	x1= 0.03		y1= 0.12			
Ecuación de la Recta			y= m*(x-x1)+y1			
$y = 27.7609x - 0.5722$						
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.02	pulgadas			
		0.52	mm			
Penetración para 1"	=	0.12	pulgadas			
Penetración para 2"	=	0.22	pulgadas			
Esfuerzo para 1"	=	2.78	kg/cm ²			
Esfuerzo para 2"	=	5.55	kg/cm ²			





CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (26 GOLPES)			
$f(x) =$	-680.8654	$x^5 +$	326.0364
		$x^4 +$	295.5598
		$x^3 +$	-235.3052
		$x^2 +$	64.5321
		$x +$	-0.3391
$d/dx f(x) =$	-3404.33	$x^4 +$	1304.15
		$x^3 +$	886.68
		$x^2 +$	-470.61
		$x +$	64.53
Pendiente para la recta tangente	$m =$	$x =$	$y =$
	43.36	0.05	2.79
		$x_1 =$	$y_1 =$
		0.05	2.79
Ecuacion de la Recta		$y = m \cdot (x - x_1) + y_1$	
	$y =$	$x +$	
	43.3600		0.6218
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	$=$	0.0143	pulgadas
		0.3642	mm
Penetracion para 1"	$=$	0.1143	pulgadas
Penetracion para 2"	$=$	0.2143	pulgadas
Esfuerzo para 1"	$=$	5.5796	kg/cm ²
Esfuerzo para 2"	$=$	9.9156	kg/cm ²

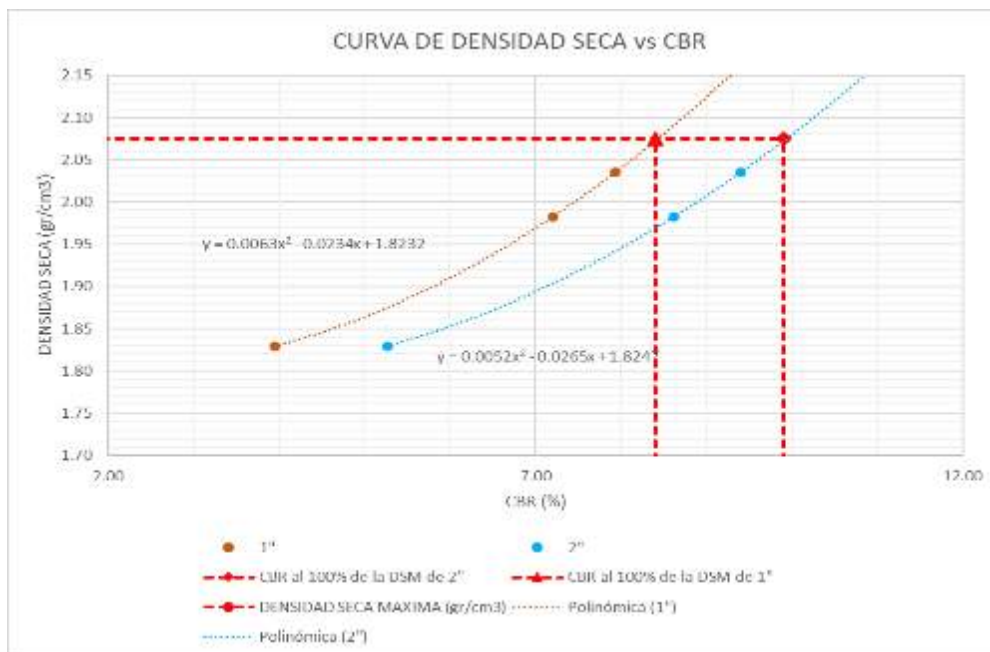




TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	-0.57	0.62	0.01
0.64	0.025	0.12	1.71	1.40
1.27	0.050	0.82	2.79	2.80
1.91	0.075	1.51	3.87	4.00
2.54	0.100	2.20	4.96	5.07
3.81	0.150	3.59	7.13	7.55
5.08	0.200	4.98	9.29	9.09
6.35	0.250	6.37	11.46	9.51
7.62	0.300	7.76	13.63	9.66
10.16	0.400	10.53	17.97	10.46
12.70	0.500	13.31	22.30	11.72

OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm2)	2.78	5.55	5.58	9.92	5.07	9.09
CBR (%)	3.95	5.26	7.94	9.40	7.20	8.62

NUMERO DE GOLFES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	3.95	5.26	1.83
26 Golpes	7.94	9.40	2.04
56 Golpes	7.20	8.62	1.98



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.0750
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	8.40	9.90

Fuente: Elaboración propia



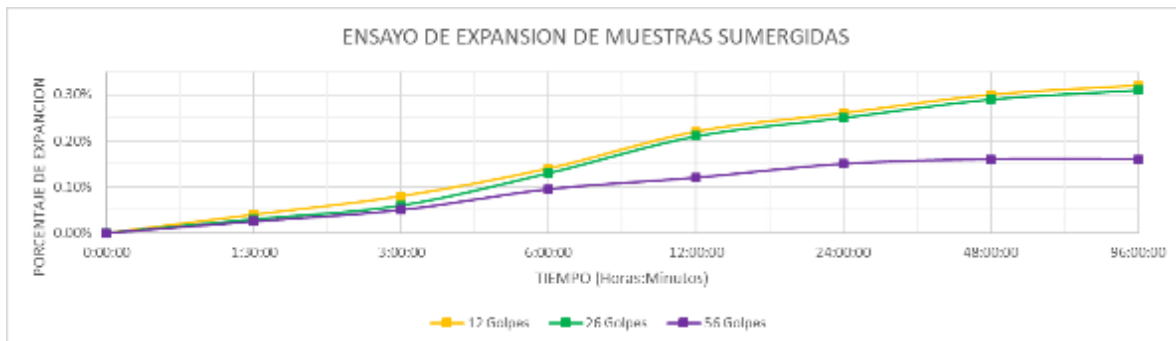
Tabla 139: Ensayo CBR C5 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	1.93%	3.25%	4.61%	5.67%	8.16%
Densidad seca (gr/cm ³)	2.00	2.04	2.09	2.12	2.11

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	7	%
2	Densidad Seca Máxima	2.1182	gr/cm ³
3	Humedad Natural	5.04%	%
4	% de Agua a añadir	7	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	8124.6		6849.3		8461.2	
Diametro (cm)	15.263		15.27		15.275	
Altura (cm)	17.77		17.75		17.74	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm ³)	2129.72		2128.01		2127.57	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	7		7		7	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	350		350		350	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12562.8		11594.6		12845.2	
Peso suelo Humedo (gr)	4438.2		4745.3		4384	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.08		2.23		2.06	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	36.1	35.8	36.9	35.1	37.9	38.1
Peso de envase + suelo humedo	132	147.2	123.5	115.8	113.2	132.9
Peso de envase +Suelo seco	123.8	138.7	112.4	107.5	112.1	129.6
Peso del agua	8.2	8.5	11.1	8.3	1.1	3.3
peso suelo humedo	95.9	111.4	86.6	80.7	75.3	94.8
Peso del suelo seco	87.7	102.9	75.5	72.4	74.2	91.5
Contenido de humedad	9.35%	8.26%	14.70%	11.46%	1.48%	3.61%
Contenido de humedad promedio (%)	8.81%		13.08%		2.54%	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.92		1.97		2.01	

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tiempo Transcurrido		Dial		Deformación		% de Expans.		Dial		Deformación		% de Expans.	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	2.0	0.0020	0.0508	0.04%	1.5	0.0015	0.0381	0.03%	1.3	0.0013	0.0318	0.03%
0.125	3 hor 00 min	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%
0.25	6 hor 00 min	7.0	0.0070	0.1778	0.14%	6.5	0.0065	0.1651	0.13%	4.8	0.0048	0.1207	0.10%
0.5	12 hor 00 min	11.0	0.0110	0.2794	0.22%	10.5	0.0105	0.2667	0.21%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%
1	24 hor 00 min	13.0	0.0130	0.3302	0.26%	12.5	0.0125	0.3175	0.25%	7.5	0.0075	0.1905	0.15%
2	48 hor 00 min	15.0	0.0150	0.3810	0.30%	14.5	0.0145	0.3683	0.29%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%
4	96 hor 00 min	16.0	0.0160	0.4064	0.32%	15.5	0.0155	0.3937	0.31%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%





Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.4064	0.3937	0.2032	mm
Hinchamiento	0.4064	0.3937	0.2032	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.32%	0.31%	0.16%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

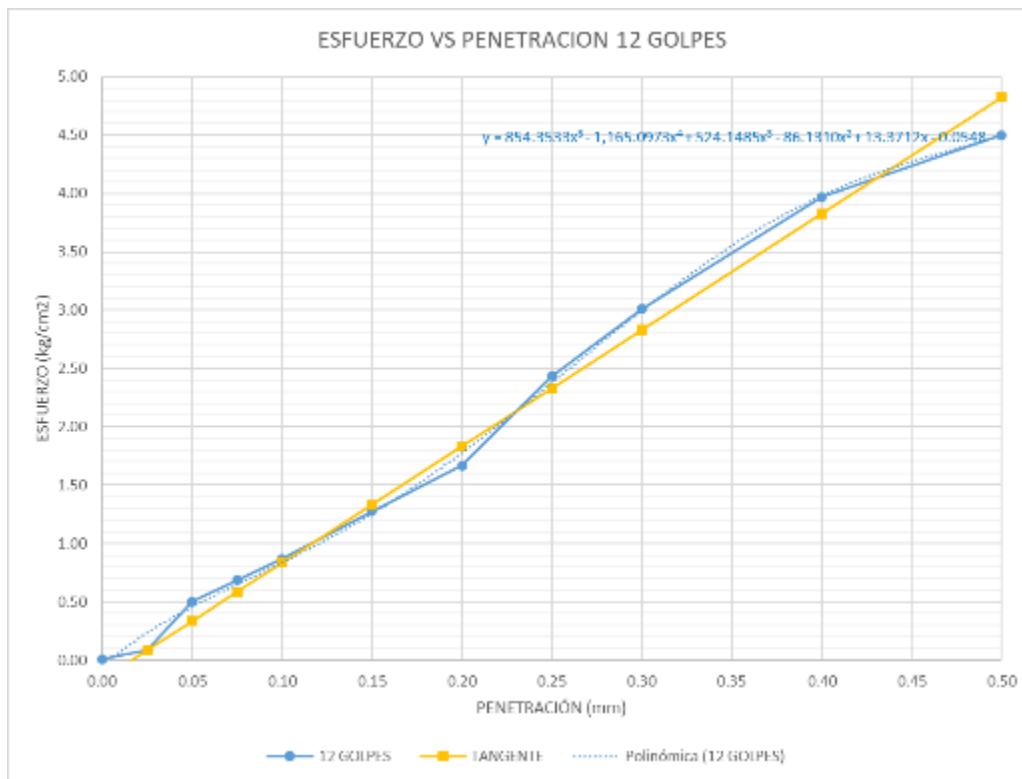
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.016	0.08	0.264	1.40	0.326	1.73
1.27	0.050	0.095	0.50	0.394	2.09	0.521	2.76
1.91	0.075	0.129	0.68	0.512	2.71	0.724	3.84
2.54	0.100	0.164	0.87	0.562	2.98	0.802	4.25
3.81	0.150	0.241	1.28	0.747	3.96	1.015	5.38
5.08	0.200	0.315	1.67	0.891	4.72	1.235	6.54
6.35	0.250	0.459	2.43	1.142	6.05	1.548	8.20
7.62	0.300	0.568	3.01	1.262	6.69	1.965	10.41
10.16	0.400	0.749	3.97	1.441	7.64	2.981	15.80
12.70	0.500	0.849	4.50	1.605	8.50	3.567	18.90





OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	0.87	1.67	2.98	4.72	4.25	6.54
CBR (%)	1.24	1.58	4.24	4.48	6.05	6.21

CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)						
$f(x) = 854.3533 x^5 + -1165.0973 x^4 + 524.1485 x^3 + -86.1310 x^2 + 13.3712 x + -0.0548$						
$d/dx f(x) = 4271.7665 x^4 + -4660.3892 x^3 + 1572.4455 x^2 + -172.2620 x + 13.3712$						
Pendiente para la recta tangente m= 9.98	x= 0.03		y= 0.08			
	x1= 0.03		y1= 0.08			
Ecuacion de la Recta			y= m*(x-x1)+y1			
y= 9.9763 x + -0.1646						
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.02	pulgadas			
		0.42	mm			
Penetracion para 1"	=	0.12	pulgadas			
Penetracion para 2"	=	0.22	pulgadas			
Esfuerzo para 1"	=	1.00	kg/cm ²			
Esfuerzo para 2"	=	2.00	kg/cm ²			

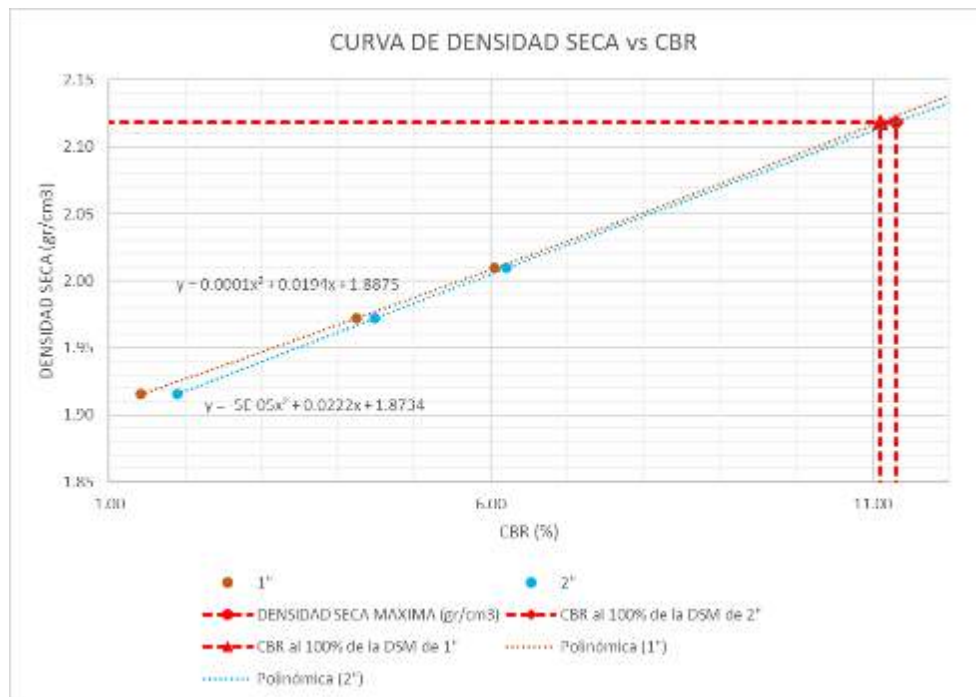




TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01 Esfuerzo	Molde 02 Esfuerzo	Molde 03 Esfuerzo
(mm)	(pulg)			
0.00	0.000	-0.16	0.01	0.01
0.64	0.025	0.08	1.40	1.73
1.27	0.050	0.33	2.09	2.76
1.91	0.075	0.58	2.71	3.84
2.54	0.100	0.83	2.98	4.25
3.81	0.150	1.33	3.96	5.38
5.08	0.200	1.83	4.72	6.54
6.35	0.250	2.33	6.05	8.20
7.62	0.300	2.83	6.69	10.41
10.16	0.400	3.83	7.64	15.80
12.70	0.500	4.82	8.50	18.90

OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1.00	2.00	2.98	4.72	4.25	6.54
Presión (kg/cm ²)	1.00	2.00	2.98	4.72	4.25	6.54
CBR (%)	1.42	1.89	4.24	4.48	6.05	6.21

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	1.42	1.89	1.92
26 Golpes	4.24	4.48	1.97
56 Golpes	6.05	6.21	2.01



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.1182
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	11.10	11.30

Fuente: Elaboración propia



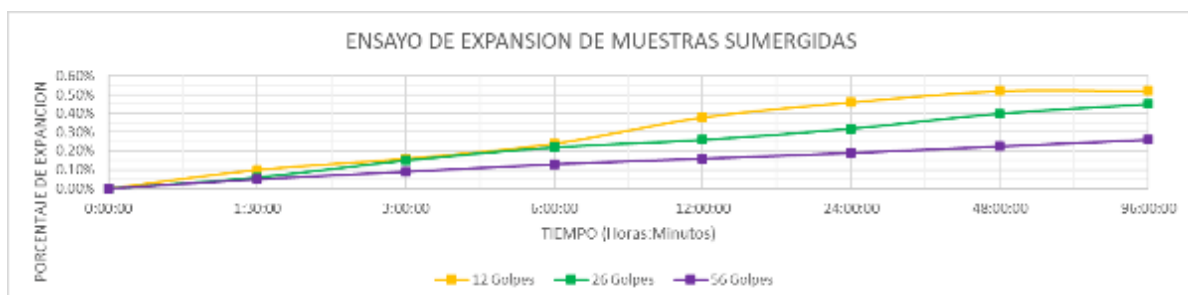
Tabla 140: Ensayo CBR C5 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	1.45%	3.32%	4.91%	5.54%	7.98%
Densidad seca (gr/cm3)	2.03	2.06	2.09	2.10	2.09

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.8	%
2	Densidad Seca Máxima	2.0973	gr/cm3
3	Humedad Natural	5.04%	%
4	% de Agua a añadir	6.8	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	7995		7935		6935	
Diametro (cm)	15.245		15.265		15.28	
Altura (cm)	17.77		17.78		17.775	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2124.70		2132.11		2135.38	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.8		6.8		6.8	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	340		340		340	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12305		12605		11825	
Peso suelo Humedo (gr)	4310		4670		4890	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.03		2.19		2.29	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	36.8	36.7	37.4	36.8	37.1	37.5
Peso de envase + suelo humedo	150.6	159.8	144.5	129	121.8	130.3
Peso de envase +Suelo seco	137.3	145.4	134.1	120.2	113.9	121.2
Peso del agua	13.3	14.4	10.4	8.8	7.9	9.1
peso suelo humedo	113.8	123.1	107.1	92.2	84.7	92.8
Peso del suelo seco	100.5	108.7	96.7	83.4	76.8	83.7
Contenido de humedad	13.23%	13.25%	10.75%	10.55%	10.29%	10.87%
Contenido de humedad promedio (%)	13.24%		10.65%		10.58%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.79		1.98		2.07	

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)						
Tiempo Transcurrido		Dial		Deformación		% de Expans.	Dial		Deformación		% de Expans.	Dial		Deformación		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	*0.001"		pulg	mm	*0.001"	pulg		mm	*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%			
0.0625	1 hor 30 min	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%			
0.125	3 hor 00 min	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	7.5	0.0075	0.1905	0.15%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%			
0.25	6 hor 00 min	12.0	0.0120	0.3048	0.24%	11.0	0.0110	0.2794	0.22%	6.5	0.0065	0.1651	0.13%			
0.5	12 hor 00 min	19.0	0.0190	0.4826	0.38%	13.0	0.0130	0.3302	0.26%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%			
1	24 hor 00 min	23.0	0.0230	0.5842	0.46%	16.0	0.0160	0.4064	0.32%	9.5	0.0095	0.2413	0.19%			
2	48 hor 00 min	26.0	0.0260	0.6604	0.52%	20.0	0.0200	0.5080	0.40%	11.3	0.0113	0.2858	0.23%			
4	96 hor 00 min	26.0	0.0260	0.6604	0.52%	22.5	0.0225	0.5715	0.45%	13.0	0.0130	0.3302	0.26%			

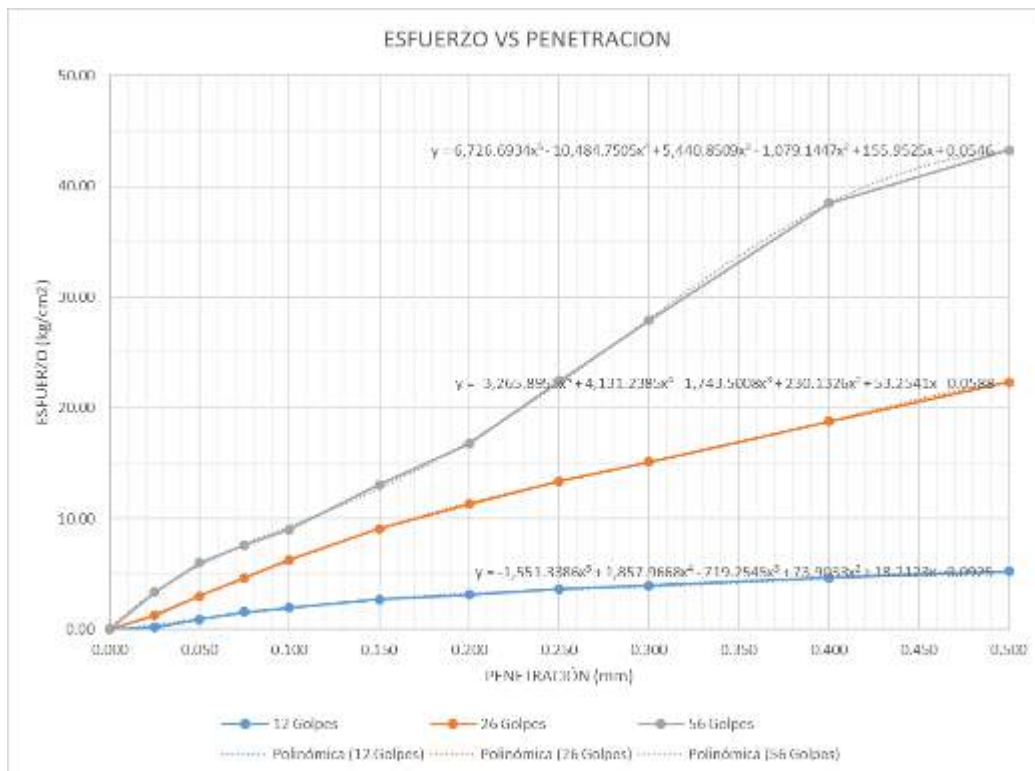




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.6604	0.5715	0.3302	mm
Hinchamiento	0.6604	0.5715	0.3302	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.52%	0.45%	0.26%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

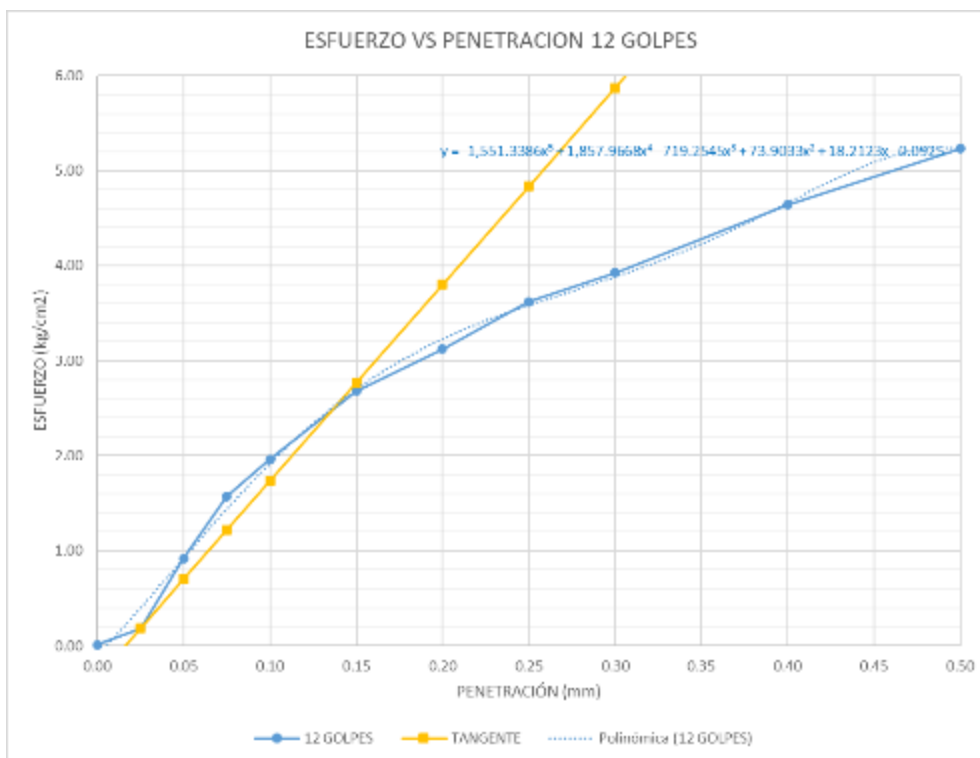
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.035	0.19	0.236	1.25	0.632	3.35
1.27	0.050	0.174	0.92	0.568	3.01	1.137	6.02
1.91	0.075	0.297	1.57	0.874	4.63	1.432	7.59
2.54	0.100	0.370	1.96	1.185	6.28	1.699	9.00
3.81	0.150	0.506	2.68	1.716	9.09	2.461	13.04
5.08	0.200	0.589	3.12	2.134	11.30	3.164	16.77
6.35	0.250	0.683	3.62	2.521	13.36	4.235	22.44
7.62	0.300	0.741	3.93	2.857	15.14	5.265	27.90
10.16	0.400	0.876	4.64	3.544	18.78	7.264	38.49
12.70	0.500	0.987	5.23	4.211	22.31	8.164	43.26



OBTENCIÓN DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	1.96	3.12	6.28	11.30	9.00	16.77
CBR (%)	2.79	2.96	8.93	10.72	12.80	15.90



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (12 GOLPES)				
$f(x) = -1551.3386 x^5 + 1857.9668 x^4 + -719.2545 x^3 + 73.9033 x^2 + 18.2123 x + -0.0925$				
$d/dx f(x) = -7756.6930 x^4 + 7431.8672 x^3 + -2157.7635 x^2 + 147.8066 x + 18.2123$				
Pendiente para la recta tangente		$x = 0.03$	$y = 0.19$	
$m = 20.67$		$x_1 = 0.03$	$y_1 = 0.19$	
Ecuacion de la Recta		$y = m*(x-x_1)+y_1$		
$y = 20.6720 x + -0.3313$				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.02	pulgadas	
		0.41	mm	
Penetracion para 1"	=	0.12	pulgadas	
Penetracion para 2"	=	0.22	pulgadas	
Esfuerzo para 1"	=	2.07	kg/cm2	
Esfuerzo para 2"	=	4.13	kg/cm2	

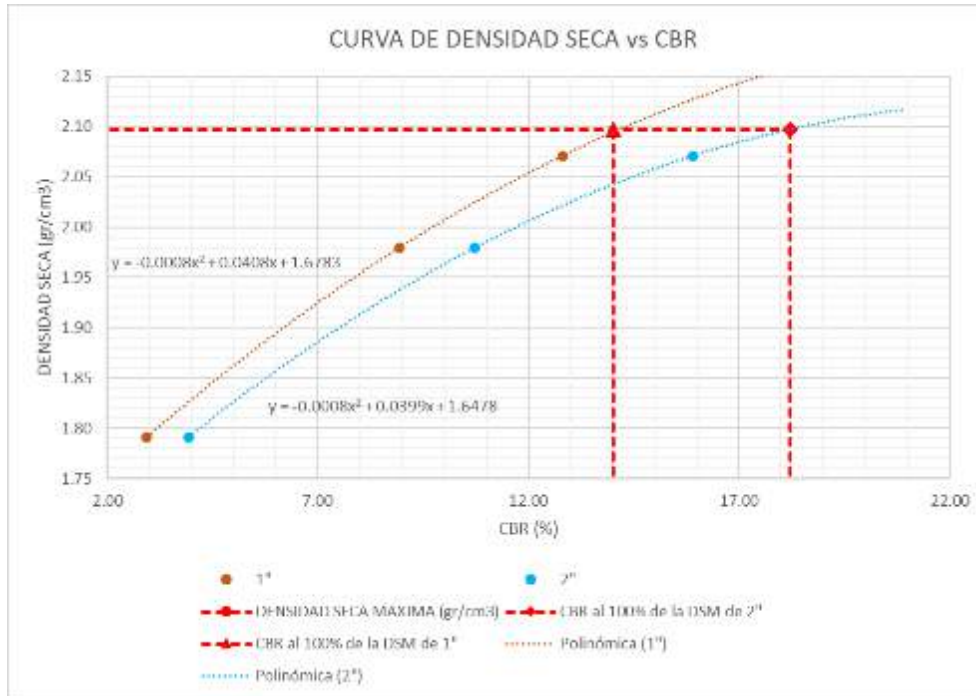


TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	-0.33	0.01	0.01
0.64	0.025	0.19	1.25	3.35
1.27	0.050	0.70	3.01	6.02
1.91	0.075	1.22	4.63	7.59
2.54	0.100	1.74	6.28	9.00
3.81	0.150	2.77	9.09	13.04
5.08	0.200	3.80	11.30	16.77
6.35	0.250	4.84	13.36	22.44
7.62	0.300	5.87	15.14	27.90
10.16	0.400	7.94	18.78	38.49
12.70	0.500	10.00	22.31	43.26



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	2.07	4.13	6.28	11.30	9.00	16.77
CBR (%)	2.94	3.92	8.93	10.72	12.80	15.90

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	2.94	3.92	1.79
26 Golpes	8.93	10.72	1.98
56 Golpes	12.80	15.90	2.07



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.0973
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	14.00	18.20

Fuente: Elaboración propia



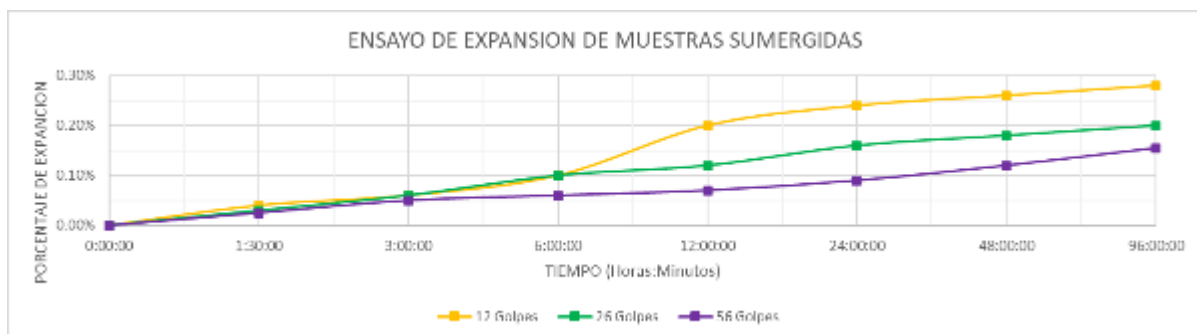
Tabla 141: Ensayo CBR C5 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	2.56%	4.85%	7.47%	10.30%	11.80%
Densidad seca (gr/cm3)	2.00	2.07	2.09	2.03	1.95

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.9	%
2	Densidad Seca Máxima	2.094	gr/cm3
3	Humedad Natural	5.04%	%
4	% de Agua a añadir	6.9	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	8461.3		6794.9		6946.4	
Diametro (cm)	15.25		15.285		15.28	
Altura (cm)	17.765		17.78		17.77	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2125.18		2137.70		2134.47	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.9		6.9		6.9	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	345		345		345	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12305		11645		11825	
Peso suelo Humedo (gr)	3843.7		4850.1		4878.6	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.81		2.27		2.29	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	36.5	36.6	37.5	36.7	38.4	38.8
Peso de envase + suelo humedo	130	148	120	116	113	135
Peso de envase +Suelo seco	118.5	134.5	112.2	108	106.8	124.4
Peso del agua	11.5	13.5	7.8	8	6.2	10.6
peso suelo humedo	93.5	111.4	82.5	79.3	74.6	96.2
Peso del suelo seco	82	97.9	74.7	71.3	68.4	85.6
Contenido de humedad	14.02%	13.79%	10.44%	11.22%	9.06%	12.38%
Contenido de humedad promedio (%)	13.91%		10.83%		10.72%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.59		2.05		2.06	

Muestra	Tiempo Transcurrido	Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
		Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.	Dial	Deformación		% de Expans.
Dias	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	2.0	0.0020	0.0508	0.04%	1.5	0.0015	0.0381	0.03%	1.3	0.0013	0.0318	0.03%
0.125	3 hor 00 min	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%
0.25	6 hor 00 min	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	3.0	0.0030	0.0762	0.06%
0.5	12 hor 00 min	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%	3.5	0.0035	0.0889	0.07%
1	24 hor 00 min	12.0	0.0120	0.3048	0.24%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	4.5	0.0045	0.1143	0.09%
2	48 hor 00 min	13.0	0.0130	0.3302	0.26%	9.0	0.0090	0.2286	0.18%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%
4	96 hor 00 min	14.0	0.0140	0.3556	0.28%	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	7.8	0.0078	0.1969	0.16%

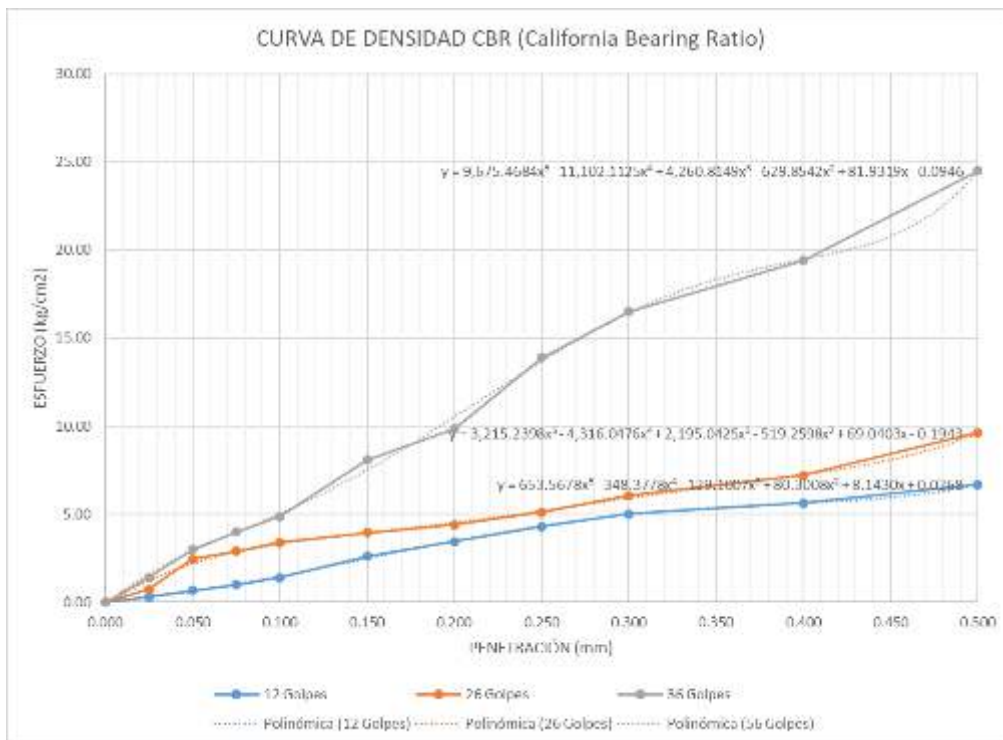




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.3556	0.254	0.19685	mm
Hinchamiento	0.3556	0.254	0.19685	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.28%	0.20%	0.16%	%

DATOS DEL PISTON		
diámetro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

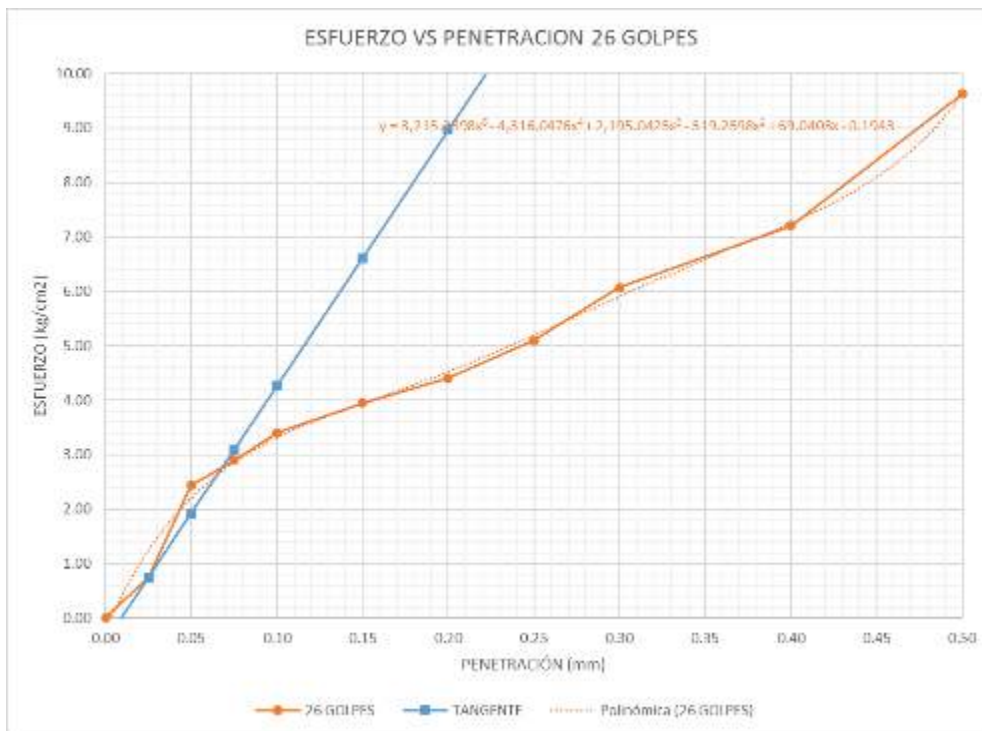
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.057	0.30	0.141	0.75	0.265	1.40
1.27	0.050	0.125	0.66	0.460	2.44	0.565	2.99
1.91	0.075	0.186	0.99	0.549	2.91	0.755	4.00
2.54	0.100	0.264	1.40	0.642	3.40	0.922	4.88
3.81	0.150	0.495	2.62	0.746	3.95	1.526	8.09
5.08	0.200	0.649	3.44	0.832	4.41	1.859	9.85
6.35	0.250	0.812	4.30	0.963	5.10	2.622	13.89
7.62	0.300	0.946	5.01	1.146	6.07	3.116	16.51
10.16	0.400	1.064	5.64	1.360	7.20	3.663	19.41
12.70	0.500	1.262	6.69	1.816	9.62	4.623	24.49



OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	1.40	3.44	3.40	4.41	4.88	9.85
CBR (%)	1.99	3.26	4.84	4.18	6.94	9.34



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (26 GOLPES)				
$f(x) = 3215.2398 x^5 + -4316.0476 x^4 + 2195.0425 x^3 + -519.2598 x^2 + 69.0403 x + -0.1943$				
$d/dx f(x) = 16076.20 x^4 + -17264.19 x^3 + 6585.13 x^2 + -1038.52 x + 69.04$				
Pendiente para la recta tangente		$x = 0.03$	$y = 0.75$	
$m = 46.93$		$x_1 = 0.03$	$y_1 = 0.75$	
Ecuacion de la Recta			$y = m*(x-x_1)+y_1$	
$y = 46.9295 x + -0.4261$				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.0091	pulgadas	
		0.2306	mm	
Penetracion para 1"	=	0.1091	pulgadas	
Penetracion para 2"	=	0.2091	pulgadas	
Esfuerzo para 1"	=	4.6930	kg/cm2	
Esfuerzo para 2"	=	9.3859	kg/cm2	



TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01 Esfuerzo	Molde 02 Esfuerzo	Molde 03 Esfuerzo
(mm)	(pulg)			
0.00	0.000	0.01	-0.43	0.01
0.64	0.025	0.30	0.75	1.40
1.27	0.050	0.66	1.92	2.99
1.91	0.075	0.99	3.09	4.00
2.54	0.100	1.40	4.27	4.88
3.81	0.150	2.62	6.61	8.09
5.08	0.200	3.44	8.96	9.85
6.35	0.250	4.30	11.31	13.89
7.62	0.300	5.01	13.65	16.51
10.16	0.400	5.64	18.35	19.41
12.70	0.500	6.69	23.04	24.49



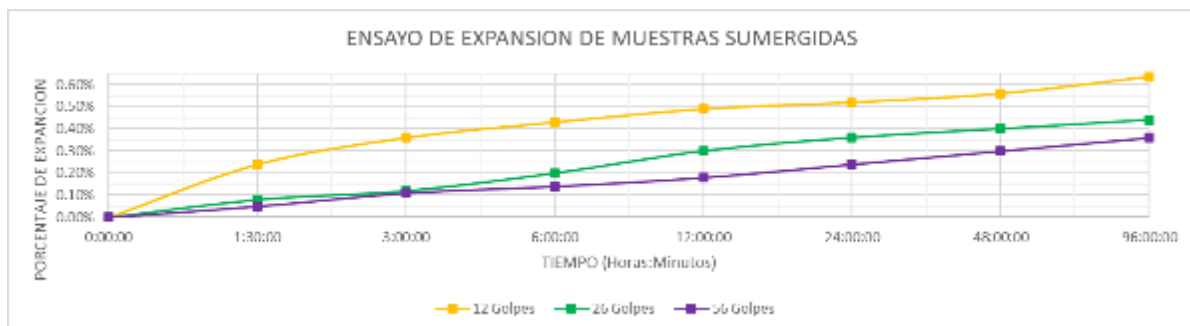
Tabla 142: Ensayo CBR C6 Suelo Natural - ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	1.72%	3.88%	6.32%	7.15%	9.15%
Densidad seca (gr/cm ³)	2.05	2.07	2.04	2.04	1.97

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.8	%
2	Densidad Seca Máxima	2.177	gr/cm ³
3	Humedad Natural	4.76%	%
4	% de Agua a añadir	6.8	%

DATOS					
Numero de Golpes	12		26		56
Peso del molde con base (gr)	7021.5		7480.8		8254.2
Diametro (cm)	15.28		15.277		15.265
Altura (cm)	17.8		17.78		17.765
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13
Volumen de Molde (cm ³)	2139.97		2135.46		2129.36
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.8		6.8		6.8
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000
Peso del agua para la muestra	340		340		340
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11148		11865.2		12542.5
Peso suelo Humedo (gr)	4126.5		4384.4		4288.3
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	1.93		2.05		2.01
Envase N°	1	2	3	4	5
Peso de envase	36.5	37.2	35.8	34.2	36.8
Peso de envase + suelo humedo	145.2	142.8	138.5	140.2	135.4
Peso de envase +Suelo seco	137	135.2	127.4	129.2	130.2
Peso del agua	8.2	7.6	11.1	11	5.2
peso suelo humedo	108.7	105.6	102.7	106	98.6
Peso del suelo seco	100.5	98	91.6	95	93.4
Contenido de humedad	8.16%	7.76%	12.12%	11.58%	5.57%
Contenido de humedad promedio (%)	7.96%		11.85%		5.49%
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.79		1.84		1.91

Muestra		Muestra 01 (12 golpes)				Muestra 02 (26 golpes)				Muestra 03 (56 golpes)			
Tiempo Transcurrido		Deformación				Deformación				Deformación			
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.	*0.001"	pulg	mm	% de Expans.
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	12.0	0.0120	0.3048	0.24%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%
0.125	3 hor 00 min	18.0	0.0180	0.4572	0.36%	6.0	0.0060	0.1524	0.12%	5.5	0.0055	0.1397	0.11%
0.25	6 hor 00 min	21.5	0.0215	0.5461	0.43%	10.0	0.0100	0.2540	0.20%	7.0	0.0070	0.1778	0.14%
0.5	12 hor 00 min	24.5	0.0245	0.6223	0.49%	15.0	0.0150	0.3810	0.30%	9.0	0.0090	0.2286	0.18%
1	24 hor 00 min	26.0	0.0260	0.6604	0.52%	18.0	0.0180	0.4572	0.36%	12.0	0.0120	0.3048	0.24%
2	48 hor 00 min	28.0	0.0280	0.7112	0.56%	20.0	0.0200	0.5080	0.40%	15.0	0.0150	0.3810	0.30%
4	96 hor 00 min	31.8	0.0318	0.8077	0.64%	22.0	0.0220	0.5588	0.44%	18.0	0.0180	0.4572	0.36%

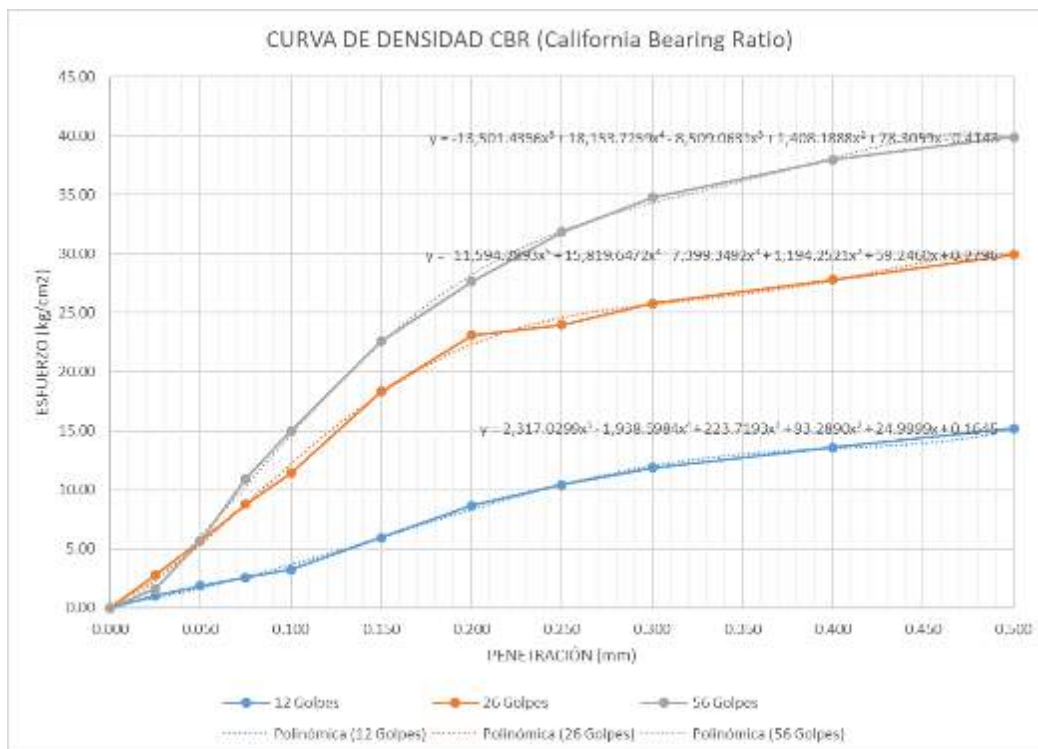




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.80772	0.5588	0.4572	mm
Hinchamiento	0.80772	0.5588	0.4572	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.64%	0.44%	0.36%	%

DATOS DEL PISTON		
diametro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

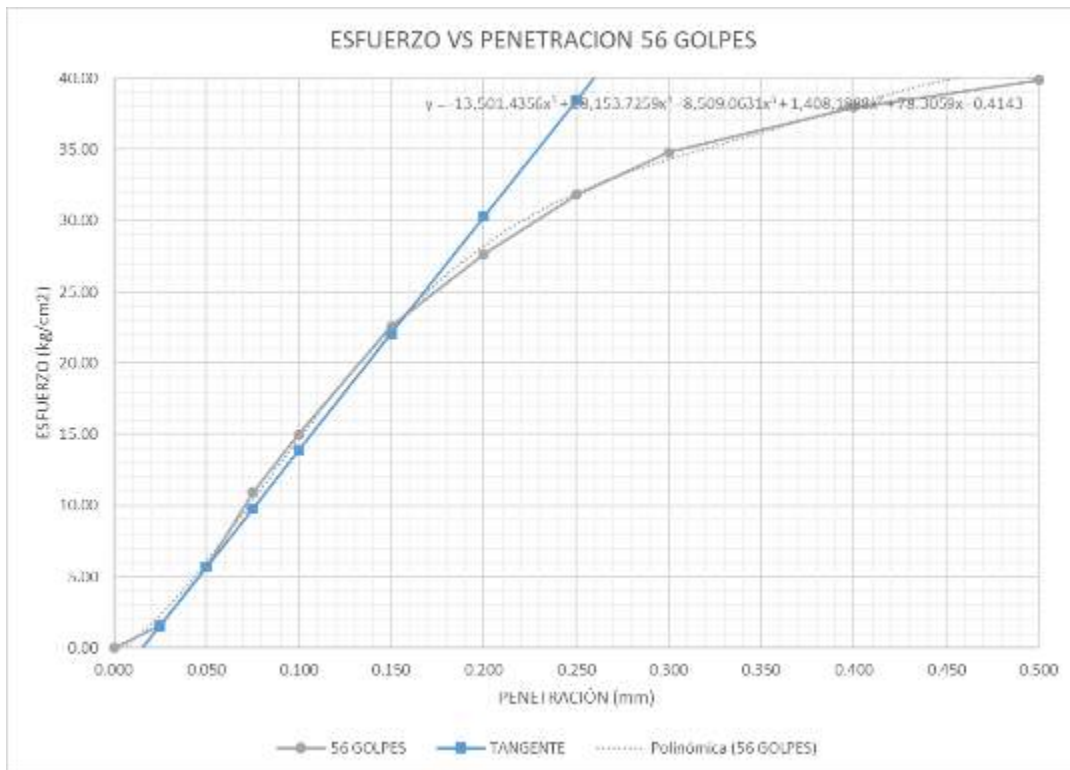
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.197	1.04	0.526	2.79	0.303	1.60
1.27	0.050	0.356	1.89	1.074	5.69	1.071	5.67
1.91	0.075	0.485	2.57	1.658	8.79	2.063	10.93
2.54	0.100	0.613	3.25	2.153	11.41	2.828	14.98
3.81	0.150	1.125	5.96	3.457	18.32	4.262	22.58
5.08	0.200	1.633	8.65	4.358	23.09	5.217	27.64
6.35	0.250	1.965	10.41	4.526	23.98	6.006	31.82
7.62	0.300	2.236	11.85	4.865	25.78	6.564	34.78
10.16	0.400	2.562	13.58	5.248	27.81	7.164	37.96
12.70	0.500	2.866	15.19	5.651	29.94	7.524	39.87



OBTENCIÓN DE CBR							
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03		
	1"	2"	1"	2"	1"	2"	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"	
Presión (kg/cm ²)	3.25	8.65	11.41	23.09	14.98	27.64	
CBR (%)	4.62	8.20	16.22	21.90	21.31	26.21	



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (56 GOLPES)				
$f(x) = -13501.4356 x^5 + 18153.7259 x^4 + -8509.0631 x^3 + 1408.1888 x^2 + 78.3059 x + -0.4143$				
$d/dx f(x) = -67507.18 x^4 + 72614.90 x^3 + -25527.19 x^2 + 2816.38 x + 78.31$				
Pendiente para la recta tangente		$x = 0.05$	$y = 5.67$	
$m = 163.96$		$x_1 = 0.05$	$y_1 = 5.67$	
Ecuacion de la Recta			$y = m*(x-x_1)+y_1$	
$y = 163.9617 x + -2.5231$				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.02	pulgadas	
		0.39	mm	
Penetracion para 1"	=	0.12	pulgadas	
Penetracion para 2"	=	0.22	pulgadas	
Esfuerzo para 1"	=	16.40	kg/cm2	
Esfuerzo para 2"	=	32.79	kg/cm2	

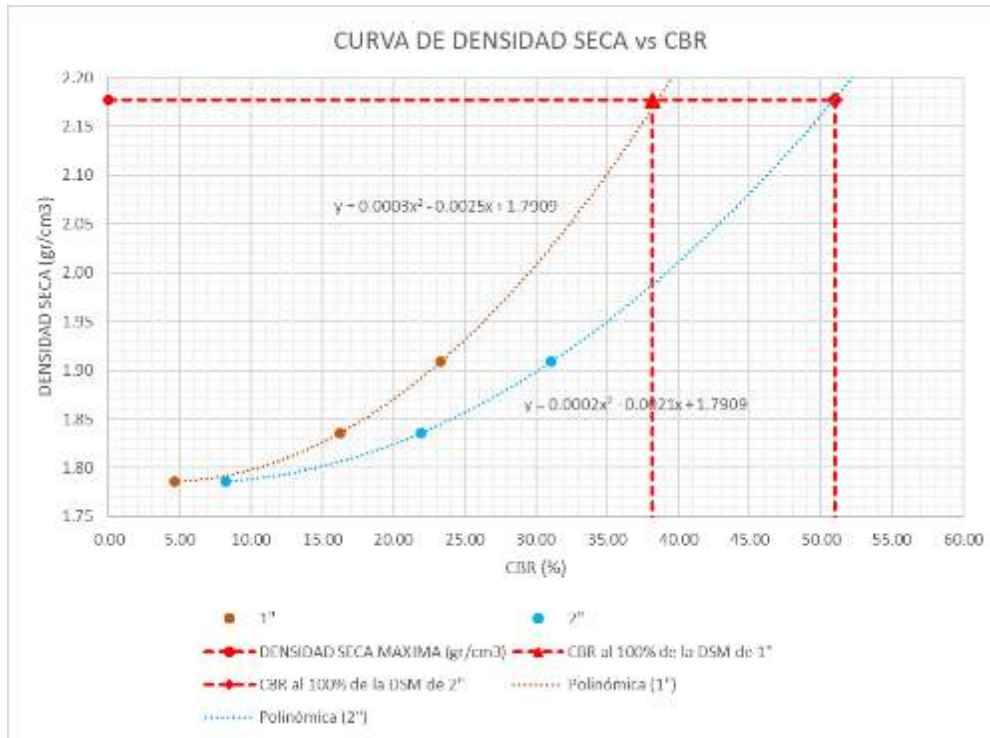


TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	0.01	0.01	-2.52
0.64	0.025	1.04	2.79	1.58
1.27	0.050	1.89	5.69	5.67
1.91	0.075	2.57	8.79	9.77
2.54	0.100	3.25	11.41	13.87
3.81	0.150	5.96	18.32	22.07
5.08	0.200	8.65	23.09	30.27
6.35	0.250	10.41	23.98	38.47
7.62	0.300	11.85	25.78	46.67
10.16	0.400	13.58	27.81	63.06
12.70	0.500	15.19	29.94	79.46



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	3.25	8.65	11.41	23.09	16.40	32.79
CBR (%)	4.62	8.20	16.22	21.90	23.32	31.09

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	4.62	8.20	1.79
26 Golpes	16.22	21.90	1.84
56 Golpes	23.32	31.09	1.91



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.1770
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	38.20	51.00

Fuente: Elaboración propia



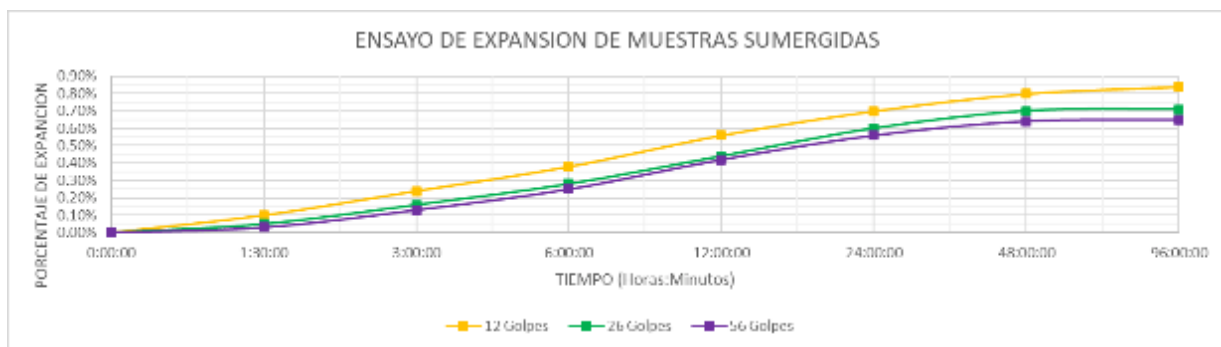
Tabla 143: Ensayo CBR C6 Suelo Natural + 1% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.65%	4.06%	5.86%	8.40%	9.25%
Densidad seca (gr/cm3)	2.01	2.04	2.08	2.01	1.93

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.6	%
2	Densidad Seca Máxima	2.212	gr/cm3
3	Humedad Natural	4.76%	%
4	% de Agua a añadir	6.6	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	8524		7021		7196.5	
Diametro (cm)	15.28		15.29		15.26	
Altura (cm)	17.78		17.77		17.8	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2136.30		2137.26		2134.37	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.6		6.6		6.6	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	330		330		330	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12656.5		11685		12215	
Peso suelo Humedo (gr)	4132.5		4664		5018.5	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.93		2.18		2.35	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	35.5	36.8	37.2	36.5	36	35.8
Peso de envase + suelo humedo	150.5	135.8	136.9	132.5	140.2	138.5
Peso de envase +Suelo seco	142.2	129.5	128.2	123.4	130.6	126.8
Peso del agua	8.3	6.3	8.7	9.1	9.6	11.7
peso suelo humedo	115	99	99.7	96	104.2	102.7
Peso del suelo seco	106.7	92.7	91	86.9	94.6	91
Contenido de humedad	7.78%	6.80%	9.56%	10.47%	10.15%	12.86%
Contenido de humedad promedio (%)	7.29%		10.02%		11.50%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.80		1.98		2.11	

Muestra	Muestra 01 (12 golpes)					Muestra 02 (26 golpes)					Muestra 03 (56 golpes)				
Tiempo Transcurrido	Dial		Deformación		% de Expans.	Dial		Deformación		% de Expans.	Dial		Deformación		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm			*0.001"	pulg	mm		
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%		0.0	0	0	0.00%	
0.0625	1 hor 30 min	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	2.5	0.0025	0.0635	0.05%		1.5	0.0015	0.0381	0.03%	
0.125	3 hor 00 min	12.0	0.0120	0.3048	0.24%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%		6.5	0.0065	0.1651	0.13%	
0.25	6 hor 00 min	19.0	0.0190	0.4826	0.38%	14.0	0.0140	0.3556	0.28%		12.5	0.0125	0.3175	0.25%	
0.5	12 hor 00 min	28.0	0.0280	0.7112	0.56%	22.0	0.0220	0.5588	0.44%		21.0	0.0210	0.5334	0.42%	
1	24 hor 00 min	35.0	0.0350	0.8890	0.70%	30.0	0.0300	0.7620	0.60%		28.0	0.0280	0.7112	0.56%	
2	48 hor 00 min	40.0	0.0400	1.0160	0.80%	35.0	0.0350	0.8890	0.70%		32.1	0.0321	0.8153	0.64%	
4	96 hor 00 min	42.0	0.0420	1.0668	0.84%	35.5	0.0355	0.9017	0.71%		32.5	0.0325	0.8255	0.65%	





Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	1.0668	0.9017	0.8255	mm
Hinchamiento	1.0668	0.9017	0.8255	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.84%	0.71%	0.65%	%

DATOS DEL PISTON		
diametro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

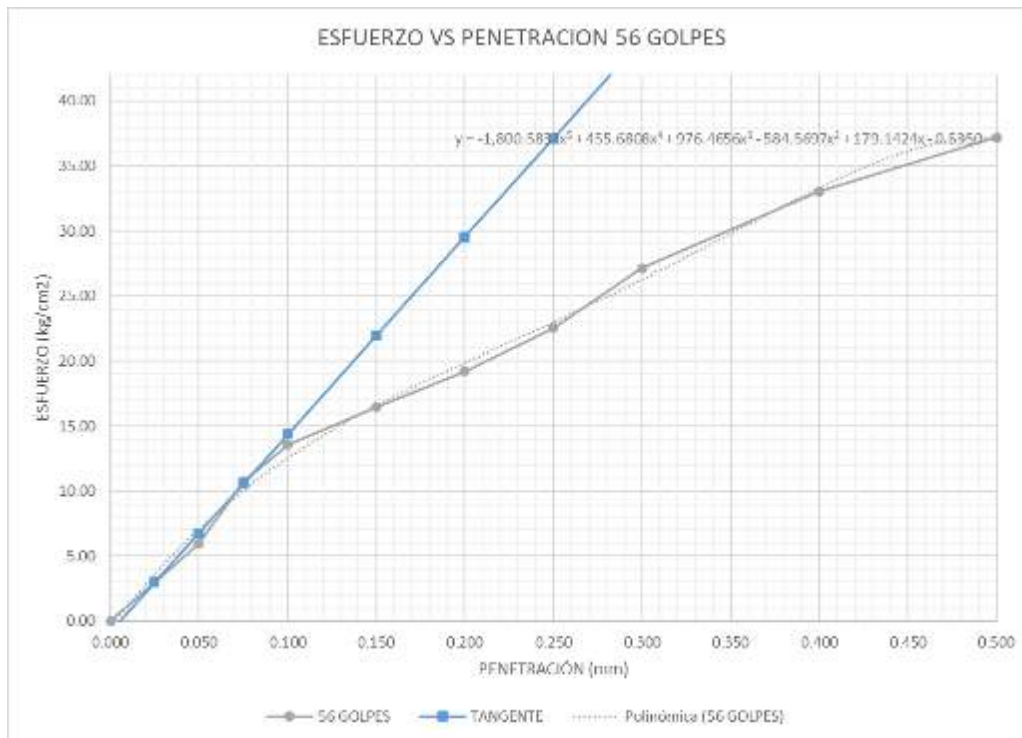
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.153	0.81	0.626	3.31	0.562	2.98
1.27	0.050	0.269	1.43	1.125	5.96	1.129	5.98
1.91	0.075	0.402	2.13	1.625	8.61	2.029	10.75
2.54	0.100	0.496	2.63	2.125	11.26	2.562	13.58
3.81	0.150	0.685	3.63	3.126	16.56	3.108	16.47
5.08	0.200	0.756	4.01	4.125	21.86	3.623	19.19
6.35	0.250	0.852	4.51	4.658	24.68	4.256	22.55
7.62	0.300	0.960	5.09	5.126	27.16	5.125	27.16
10.16	0.400	1.122	5.95	5.265	27.90	6.236	33.04
12.70	0.500	1.327	7.03	5.527	29.28	7.022	37.21



OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	2.63	4.01	11.26	21.86	13.58	19.19
CBR (%)	3.74	3.80	16.01	20.73	19.31	18.20



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (56 GOLPES)				
$f(x) = -1800.5832 x^5 + 455.6808 x^4 + 976.4656 x^3 + -584.5697 x^2 + 179.1424 x + -0.5350$				
$d/dx f(x) = -9002.92 x^4 + 1822.72 x^3 + 2929.40 x^2 + -1169.14 x + 179.14$				
Pendiente para la recta tangente		$x = 0.03$	$y = 2.98$	
$m = 151.77$		$x_1 = 0.03$	$y_1 = 2.98$	
Ecuacion de la Recta			$y = m*(x-x_1)+y_1$	
$y = 151.7698 x + -0.8164$				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.01	pulgadas	
		0.14	mm	
Penetracion para 1"	=	0.11	pulgadas	
Penetracion para 2"	=	0.21	pulgadas	
Esfuerzo para 1"	=	15.18	kg/cm2	
Esfuerzo para 2"	=	30.35	kg/cm2	

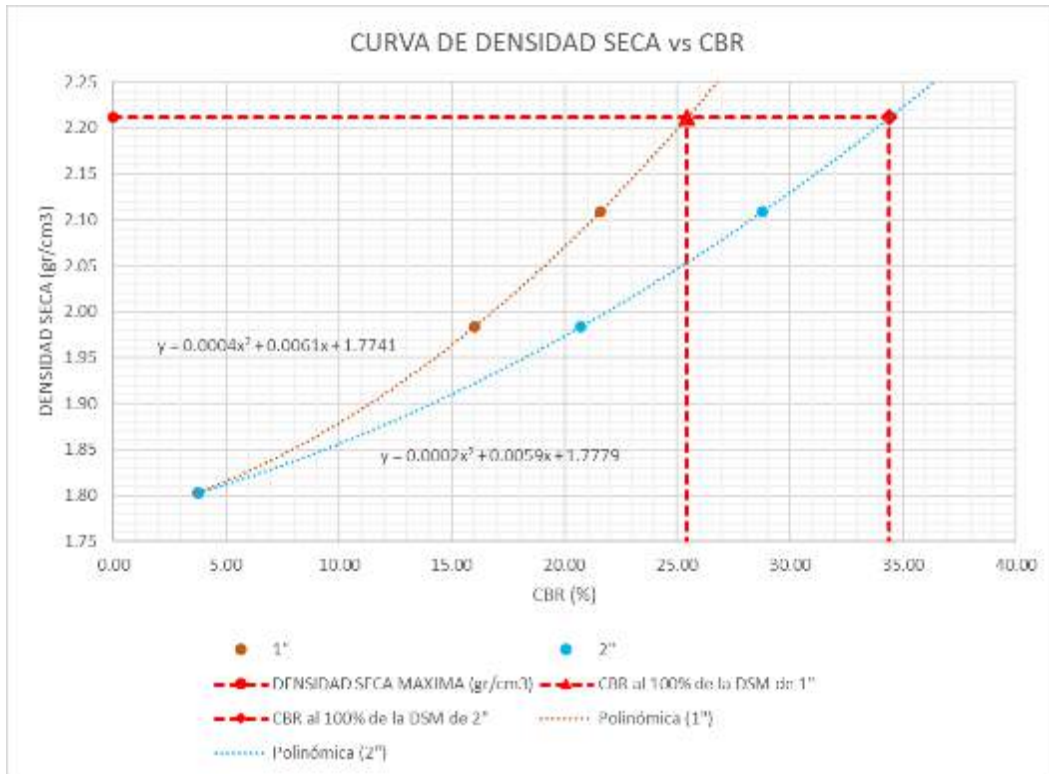


TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01	Molde 02	Molde 03
(mm)	(pulg)	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
0.00	0.000	0.01	0.01	-0.82
0.64	0.025	0.81	3.31	2.98
1.27	0.050	1.43	5.96	6.77
1.91	0.075	2.13	8.61	10.57
2.54	0.100	2.63	11.26	14.36
3.81	0.150	3.63	16.56	21.95
5.08	0.200	4.01	21.86	29.54
6.35	0.250	4.51	24.68	37.13
7.62	0.300	5.09	27.16	44.71
10.16	0.400	5.95	27.90	59.89
12.70	0.500	7.03	29.28	75.07



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	2.63	4.01	11.26	21.86	15.18	30.35
CBR (%)	3.74	3.80	16.01	20.73	21.59	28.78

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	3.74	3.80	1.80
26 Golpes	16.01	20.73	1.98
56 Golpes	21.59	28.78	2.11



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.2120
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	25.40	34.40

Fuente: Elaboración propia



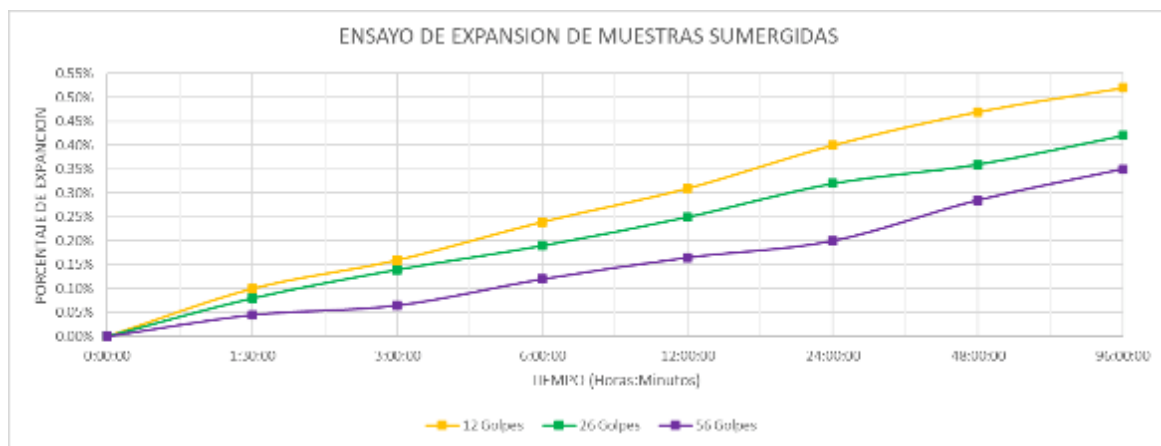
Tabla 144: Ensayo CBR C6 Suelo Natural + 2% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	3.41%	4.15%	5.51%	7.90%	8.98%
Densidad seca (gr/cm3)	2.02	2.04	2.06	1.99	1.94

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.4	%
2	Densidad Seca Máxima	2.18	gr/cm3
3	Humedad Natural	4.76%	%
4	% de Agua a añadir	6.4	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	7584		8329.5		8695.5	
Diametro (cm)	15.28		15.277		15.265	
Altura (cm)	17.78		17.8		17	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2136.30		2139.13		1989.36	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.4		6.4		6.4	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	320		320		320	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	11352.5		12245		12584	
Peso suelo Humedo (gr)	3768.5		3915.5		3888.5	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.76		1.83		1.95	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	36.5	34.8	36.6	37.2	38.5	34.9
Peso de envase + suelo humedo	138.9	145.2	136.8	145.5	150.2	146.8
Peso de envase +Suelo seco	130.2	134.8	129.5	135.2	137.6	135.7
Peso del agua	8.7	10.4	7.3	10.3	12.6	11.1
peso suelo humedo	102.4	110.4	100.2	108.3	111.7	111.9
Peso del suelo seco	93.7	100	92.9	98	99.1	100.8
Contenido de humedad	9.28%	10.40%	7.86%	10.51%	12.71%	11.01%
Contenido de humedad promedio (%)	9.84%		9.18%		11.86%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.61		1.68		1.75	

Muestra	Muestra 01 (12 golpes)					Muestra 02 (26 golpes)					Muestra 03 (56 golpes)				
Tiempo Transcurrido	Dial		Deformación		% de Expans.	Dial		Deformación		% de Expans.	Dial		Deformación		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm			*0.001"	pulg	mm		
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%		0.0	0	0	0.00%	
0.0625	1 hor 30 min	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	4.0	0.0040	0.1016	0.08%		2.3	0.0023	0.0572	0.05%	
0.125	3 hor 00 min	8.0	0.0080	0.2032	0.16%	7.0	0.0070	0.1778	0.14%		3.3	0.0033	0.0826	0.07%	
0.25	6 hor 00 min	12.0	0.0120	0.3048	0.24%	9.5	0.0095	0.2413	0.19%		6.0	0.0060	0.1524	0.12%	
0.5	12 hor 00 min	15.5	0.0155	0.3937	0.31%	12.5	0.0125	0.3175	0.25%		8.3	0.0083	0.2096	0.17%	
1	24 hor 00 min	20.0	0.0200	0.5080	0.40%	16.0	0.0160	0.4064	0.32%		10.0	0.0100	0.2540	0.20%	
2	48 hor 00 min	23.5	0.0235	0.5969	0.47%	18.0	0.0180	0.4572	0.36%		14.3	0.0143	0.3620	0.29%	
4	96 hor 00 min	26.0	0.0260	0.6604	0.52%	21.0	0.0210	0.5334	0.42%		17.5	0.0175	0.4445	0.35%	

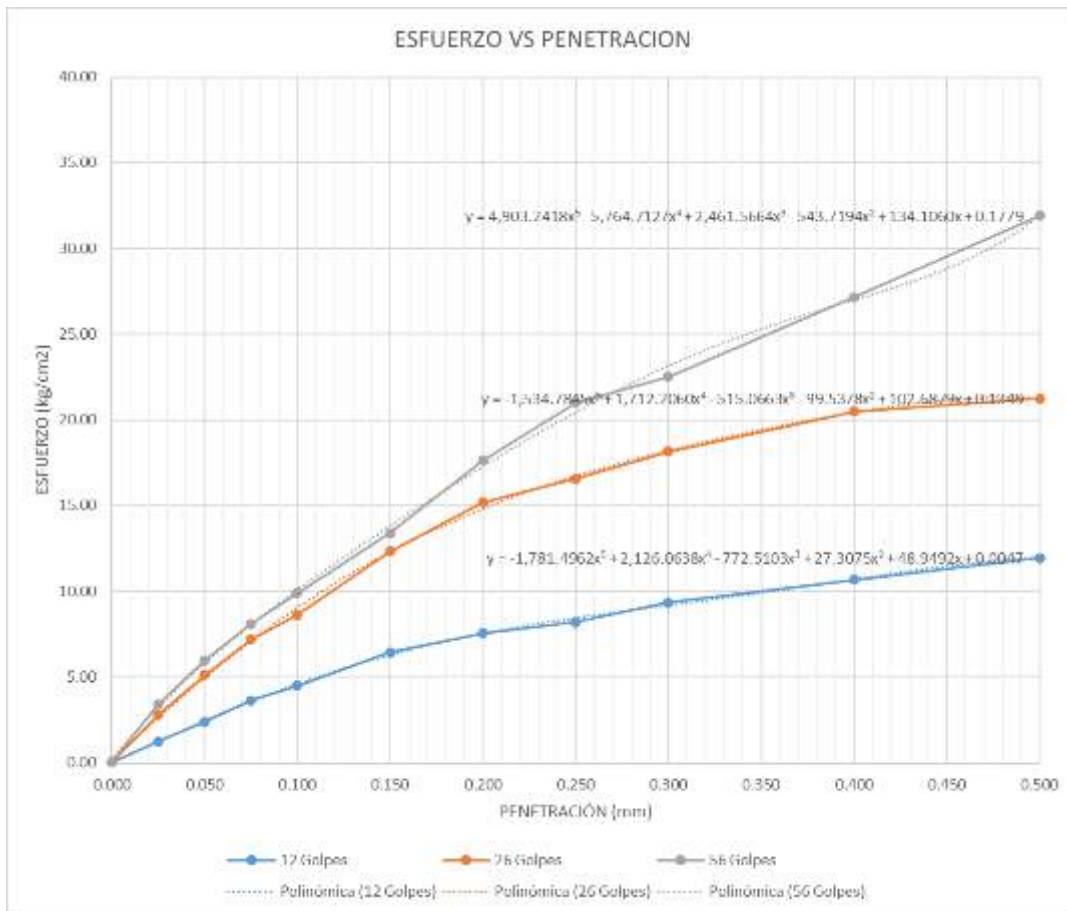




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.6604	0.5334	0.4445	mm
Hinchamiento	0.6604	0.5334	0.4445	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.52%	0.42%	0.35%	%

DATOS DEL PISTON		
diametro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

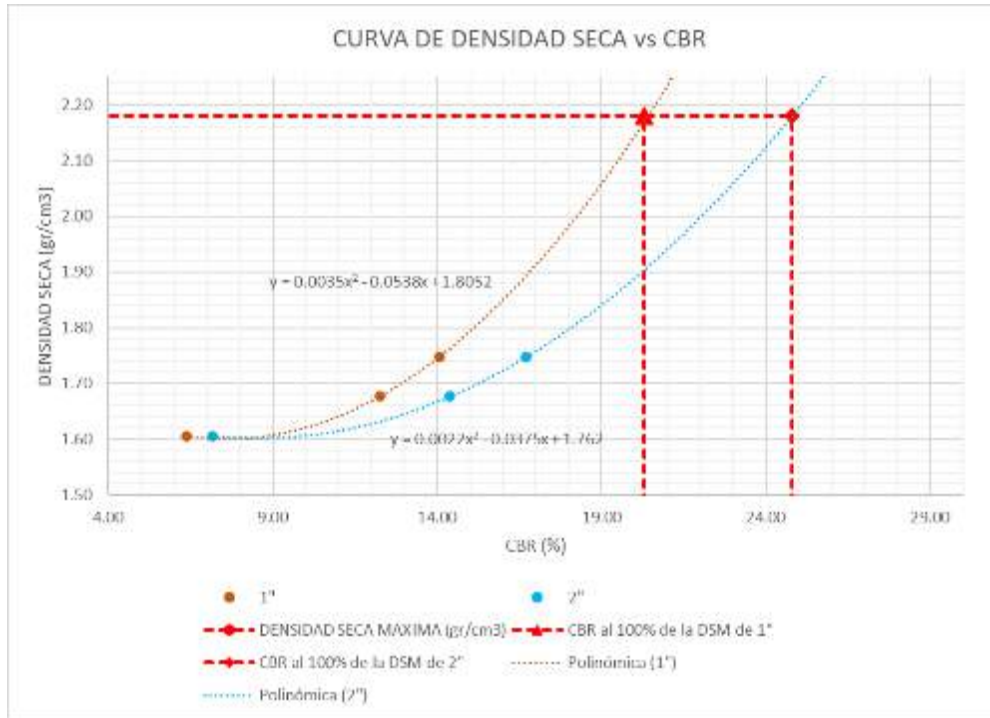
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.235	1.25	0.527	2.79	0.646	3.42
1.27	0.050	0.452	2.40	0.965	5.11	1.125	5.96
1.91	0.075	0.685	3.63	1.356	7.19	1.527	8.09
2.54	0.100	0.845	4.48	1.626	8.61	1.866	9.89
3.81	0.150	1.216	6.44	2.326	12.32	2.526	13.39
5.08	0.200	1.427	7.56	2.866	15.19	3.327	17.63
6.35	0.250	1.550	8.21	3.125	16.56	3.965	21.01
7.62	0.300	1.765	9.35	3.425	18.15	4.251	22.52
10.16	0.400	2.013	10.66	3.865	20.48	5.125	27.16
12.70	0.500	2.256	11.95	4.011	21.25	6.022	31.91





OBTENCIÓN DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	4.48	7.56	8.61	15.19	9.89	17.63
CBR (%)	6.37	7.17	12.25	14.40	14.06	16.71

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	6.37	7.17	1.61
26 Golpes	12.25	14.40	1.68
56 Golpes	14.06	16.71	1.75



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.1800
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	20.30	24.80

Fuente: Elaboración propia



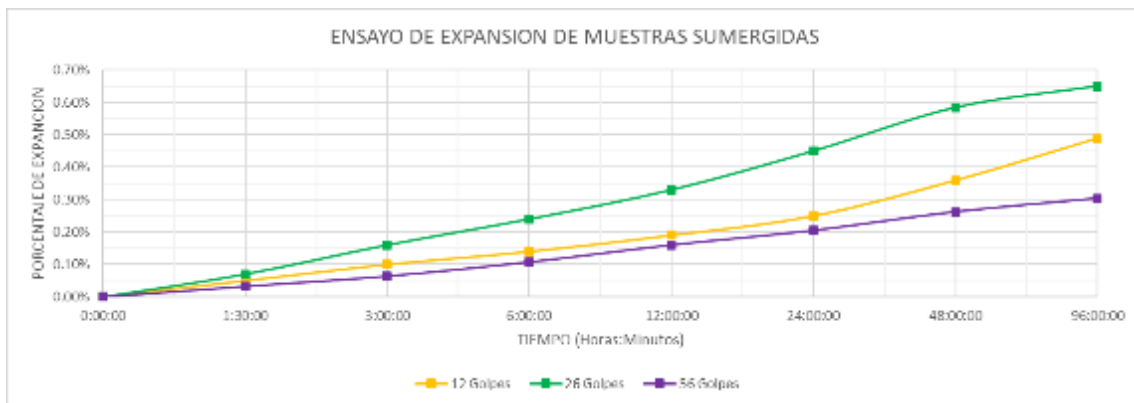
Tabla 145 Ensayo CBR C3 Suelo Natural + 3% YH – ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de Datos

Ensayo Preliminar: Proctor Modificado					
Contenido de Humedad promedio (%)	2.21%	4.01%	5.64%	9.46%	10.02%
Densidad seca (gr/cm3)	2.02	2.03	2.05	2.04	2.02

Humedad de Compactación			
1	Contenido de Humedad Optimo	6.7	%
2	Densidad Seca Máxima	2.0458	gr/cm3
3	Humedad Natural	4.76%	%
4	% de Agua a añadir	6.7	%

DATOS						
Numero de Golpes	12		26		56	
Peso del molde con base (gr)	8325.5		7348		8256.4	
Diametro (cm)	15.28		15.25		15.3	
Altura (cm)	17.76		17.8		17.78	
Altura de Disco Espaciador (cm)	6.13		6.13		6.13	
Volumen de Molde (cm3)	2132.63		2131.57		2141.90	
Porcentaje de Humedad del suelo (%)	6.7		6.7		6.7	
Peso de muestra (gr)	5000		5000		5000	
Peso del agua para la muestra	335		335		335	
Peso suelo Humedo + Molde (gr)	12485.5		11526		12652	
Peso suelo Humedo (gr)	4160		4178		4395.6	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.95		1.96		2.05	
Envase N°	1	2	3	4	5	6
Peso de envase	35.8	36.7	34.5	36.8	34.8	35.5
Peso de envase + suelo humedo	162.2	158.8	155.1	135.9	138.5	132.7
Peso de envase +Suelo seco	150.2	147.5	145.7	128.4	130.2	127.2
Peso del agua	12	11.3	9.4	7.5	8.3	5.5
peso suelo humedo	126.4	122.1	120.6	99.1	103.7	97.2
Peso del suelo seco	114.4	110.8	111.2	91.6	95.4	91.7
Contenido de humedad	10.49%	10.20%	8.45%	8.19%	8.70%	6.00%
Contenido de humedad promedio (%)	10.34%		8.32%		7.35%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.77		1.81		1.91	

Muestra	Muestra 01 (12 golpes)					Muestra 02 (26 golpes)					Muestra 03 (56 golpes)				
Tiempo Transcurrido	Dial		Deformación		% de Expans.	Dial		Deformación		% de Expans.	Dial		Deformación		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm			*0.001"	pulg	mm		
0	0 hor 00 min	0.0	0	0	0.00%	0.0	0	0	0.00%		0.0	0	0	0.00%	
0.0625	1 hor 30 min	2.5	0.0025	0.0635	0.05%	3.5	0.0035	0.0889	0.07%		1.6	0.0016	0.0413	0.03%	
0.125	3 hor 00 min	5.0	0.0050	0.1270	0.10%	8.0	0.0080	0.2032	0.16%		3.2	0.0032	0.0813	0.06%	
0.25	6 hor 00 min	7.0	0.0070	0.1778	0.14%	12.0	0.0120	0.3048	0.24%		5.4	0.0054	0.1365	0.11%	
0.5	12 hor 00 min	9.5	0.0095	0.2413	0.19%	16.5	0.0165	0.4191	0.33%		8.0	0.0080	0.2032	0.16%	
1	24 hor 00 min	12.5	0.0125	0.3175	0.25%	22.5	0.0225	0.5715	0.45%		10.3	0.0103	0.2604	0.21%	
2	48 hor 00 min	18.0	0.0180	0.4572	0.36%	29.2	0.0292	0.7417	0.58%		13.1	0.0131	0.3334	0.26%	
4	96 hor 00 min	24.5	0.0245	0.6223	0.49%	32.5	0.0325	0.8255	0.65%		15.2	0.0152	0.3861	0.30%	

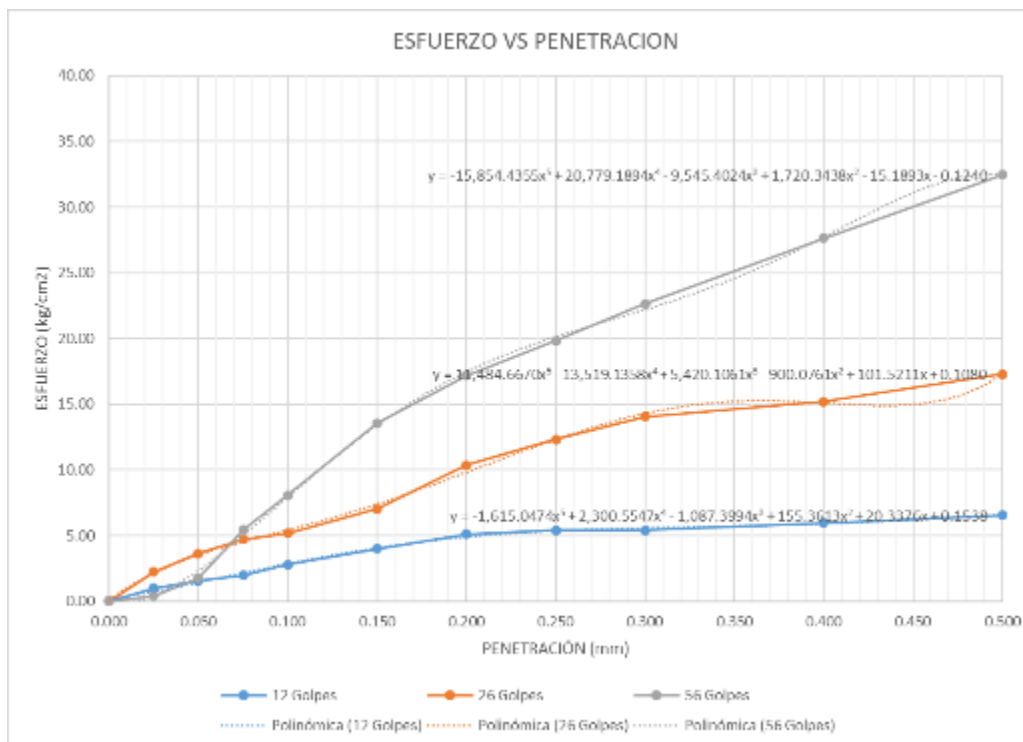




Datos de Hinchamiento				
NUMERO DE GOLPES	12	26	56	
Lectura Original	0	0	0	mm
Lectura después de 4 días	0.6223	0.8255	0.38608	mm
Hinchamiento	0.6223	0.8255	0.38608	mm
Porcentaje de Hinchamiento	0.49%	0.65%	0.30%	%

DATOS DEL PISTON		
diametro de piston	4.95	cm
area de piston	19.2442185	cm ² .

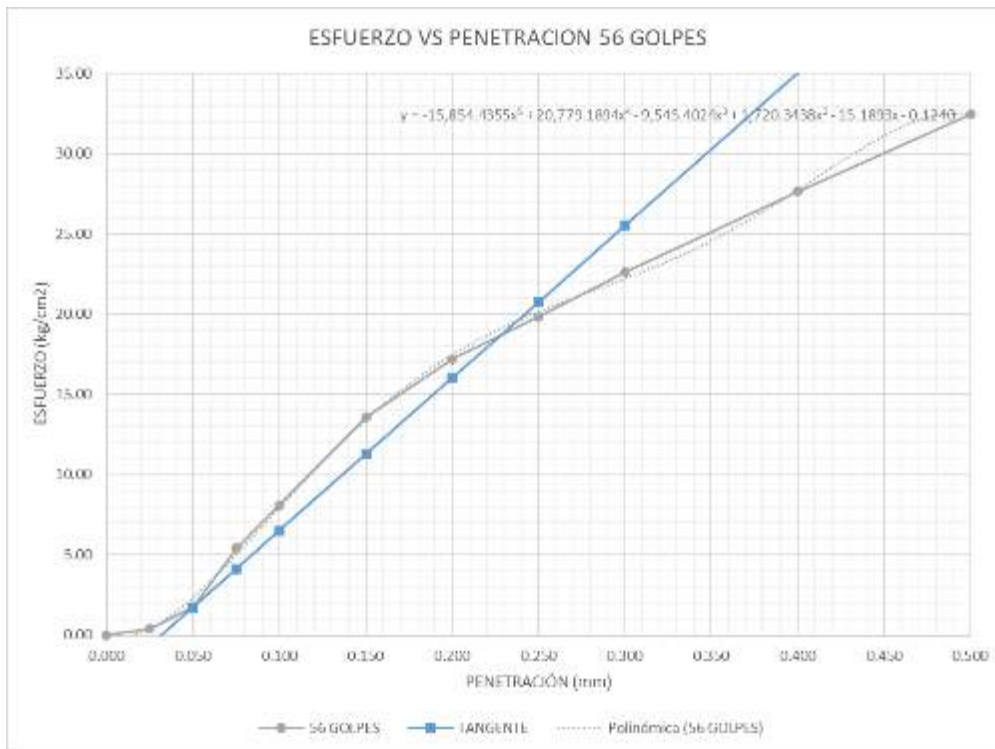
Etapa de aplicación de Presion							
Penetración		Molde 01	Molde 01	Molde 02	Molde 02	Molde 03	Molde 03
(mm)	(pulg)	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo	Carga (KN)	Esfuerzo
0.00	0.000	0.002	0.01	0.002	0.01	0.002	0.01
0.64	0.025	0.186	0.98	0.425	2.25	0.077	0.41
1.27	0.050	0.293	1.55	0.685	3.63	0.330	1.75
1.91	0.075	0.371	1.97	0.893	4.73	1.024	5.43
2.54	0.100	0.527	2.79	0.976	5.17	1.526	8.09
3.81	0.150	0.754	4.00	1.327	7.03	2.562	13.58
5.08	0.200	0.966	5.12	1.956	10.36	3.245	17.19
6.35	0.250	1.022	5.41	2.327	12.33	3.744	19.84
7.62	0.300	1.023	5.42	2.653	14.06	4.271	22.63
10.16	0.400	1.126	5.96	2.866	15.19	5.215	27.63
12.70	0.500	1.235	6.54	3.265	17.30	6.125	32.46



OBTENCION DE CBR						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	2.79	5.12	5.17	10.36	8.09	17.19
CBR (%)	3.97	4.85	7.35	9.83	11.50	16.30



CORRECCION METODO DE LA TANGENTE (56 GOLPES)				
$f(x) = -15854.4355 x^5 + 20779.1894 x^4 + -9545.4024 x^3 + 1720.3438 x^2 + -15.1893 x + -0.1240$				
$d/dx f(x) = -79272.18 x^4 + 83116.76 x^3 + -28636.21 x^2 + 3440.69 x + -15.19$				
Pendiente para la recta tangente		$x = 0.05$	$y = 1.75$	
$m = 95.15$		$x_1 = 0.05$	$y_1 = 1.75$	
Ecuacion de la Recta			$y = m*(x-x_1)+y_1$	
$y = 95.1487 x + -3.0115$				
DESPLAZAMIENTO POR ORIGEN	=	0.03	pulgadas	
		0.80	mm	
Penetracion para 1"	=	0.13	pulgadas	
Penetracion para 2"	=	0.23	pulgadas	
Esfuerzo para 1"	=	9.51	kg/cm ²	
Esfuerzo para 2"	=	19.03	kg/cm ²	



TANGENTE para aplicación de Presion CORREGIDO				
Penetración		Molde 01 Esfuerzo	Molde 02 Esfuerzo	Molde 03 Esfuerzo
(mm)	(pulg)			
0.00	0.000	0.01	0.01	-3.01
0.64	0.025	0.98	2.25	-0.63
1.27	0.050	1.55	3.63	1.75
1.91	0.075	1.97	4.73	4.12
2.54	0.100	2.79	5.17	6.50
3.81	0.150	4.00	7.03	11.26
5.08	0.200	5.12	10.36	16.02
6.35	0.250	5.41	12.33	20.78
7.62	0.300	5.42	14.06	25.53
10.16	0.400	5.96	15.19	35.05
12.70	0.500	6.54	17.30	44.56



OBTENCION DE CBR (Corregido)						
Identificación	Molde 01		Molde 02		Molde 03	
Penetración (pulg)	1"	2"	1"	2"	1"	2"
Presión (kg/cm ²)	2.79	5.12	5.17	10.36	9.51	19.03
CBR (%)	3.97	4.85	7.35	9.83	13.53	18.04

NUMERO DE GOLPES	CBR (%)		DENSIDAD SECA
	1"	2"	
12 Golpes	3.97	4.85	1.77
26 Golpes	7.35	9.83	1.81
56 Golpes	13.53	18.04	1.91



DENSIDAD SECA MAXIMA	2.0458
----------------------	--------

CBR al 100% de la DSM	CBR (%)	
	1"	2"
	19.60	25.80

Fuente: Elaboración propia

c) Análisis de prueba

Se puede observar que, por los ensayos realizados de CBR, este último tiene incrementos en ciertas calicatas como son la: C1 y C5, ya que a medida que se adiciona gradualmente el porcentaje de Yeso Hidráulico, se tiene mejores resultados. Mientras en las demás que son: C2, C3, C4, y C6 no tienen incremento en el CBR.



3.5.2.8. Análisis de datos obtenidos en el Ensayo de Resistencia a la Erosión (Ensayo de Erosión Acelerada Swinburne – SAET)

a) Procesamiento

El método de evaluación para este ensayo será la medición de la oquedad producida por el goteo acelerado y el equipo de SAET, con una varilla de 3mm. (Norma Española UNE 41410 2008)

b) Diagramas y Tablas

Tabla 146: Medición de la profundidad de la oquedad

CALICATA	OQUEDAD (mm)			
	0%	1%	2%	3%
C1	26.0	25.0	22.0	24.0
C2	30.0	28.0	24.0	27.0
C3	25.0	30.0	10.0	30.0
C4	31.0	29.0	25.0	28.0
C5	29.0	26.0	20.0	23.0
C6	24.0	23.0	25.0	20.0

Fuente: Elaboración propia

c) Análisis de Prueba

Se puede observar que la menor profundidad de la oquedad producida por la erosión acelerada es la mezcla de suelo natural + 2% de YH en todas las calicatas.



Capitulo IV: Resultados

4.1.Resultado de los ensayos

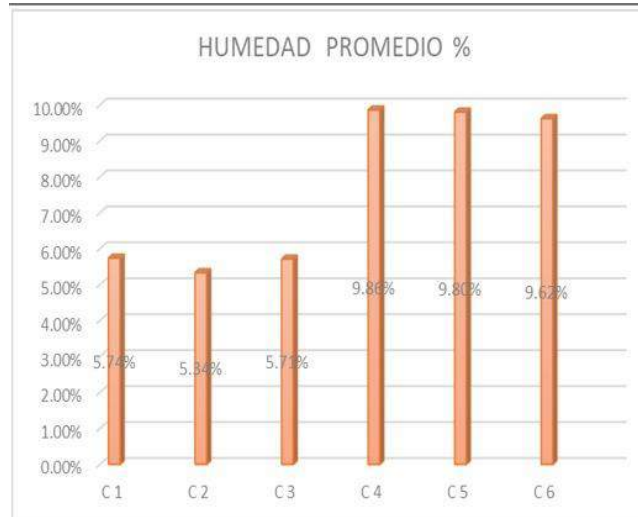
4.1.1. Ensayo de contenido de humedad

Tabla 147: Resumen de los contenidos de humedad

CALICATA	MUESTRA	HUMEDAD %	HUMEDAD PROMEDIO %
C 1	Tara 1	5.37%	5.74%
	Tara 2	6.40%	
	Tara 3	5.45%	
C 2	Tara 4	6.37%	5.34%
	Tara 5	3.84%	
	Tara 6	5.80%	
C 3	Tara 7	4.95%	5.71%
	Tara 8	3.61%	
	Tara 9	8.58%	
C 4	Tara 10	11.16%	9.86%
	Tara 11	7.92%	
	Tara 12	10.51%	
C 6	Tara 13	9.86%	9.80%
	Tara 14	10.02%	
	Tara 15	9.53%	
C5	Tara 16	9.76%	9.62%
	Tara 17	9.02%	
	Tara 18	10.09%	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 117: Contenido de Humedad Natural



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que la calicata C2 tiene menor porcentaje de humedad natural con 5.34%, y la calicata C4 tiene mayor porcentaje de humedad con 9.86%



4.1.2. Análisis granulométrico por tamizado

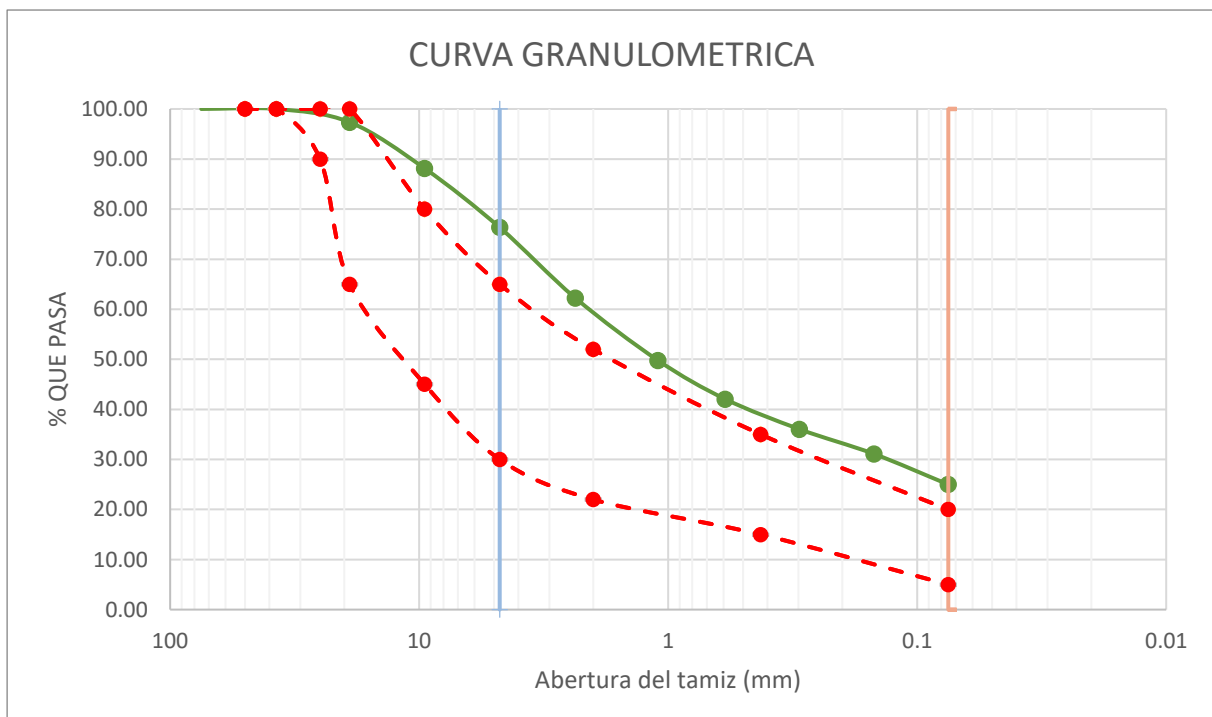
- Calicata C1

Tabla 148: Cuadro resumen de granulometría C1

TAMICES (ASTM)	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
3"	75	100.00
1 1/2"	37.5	100.00
3/4"	19	97.35
3/8"	9.5	88.13
N° 4	4.75	76.34
N° 8	2.36	62.25
N°16	1.1	49.79
N°30	0.59	42.05
N°50	0.297	36.04
N°100	0.149	31.09
N°200	0.075	24.99
Cazuela	-	22.88

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 118: Curva granulométrica C1



Fuente: Elaboración propia



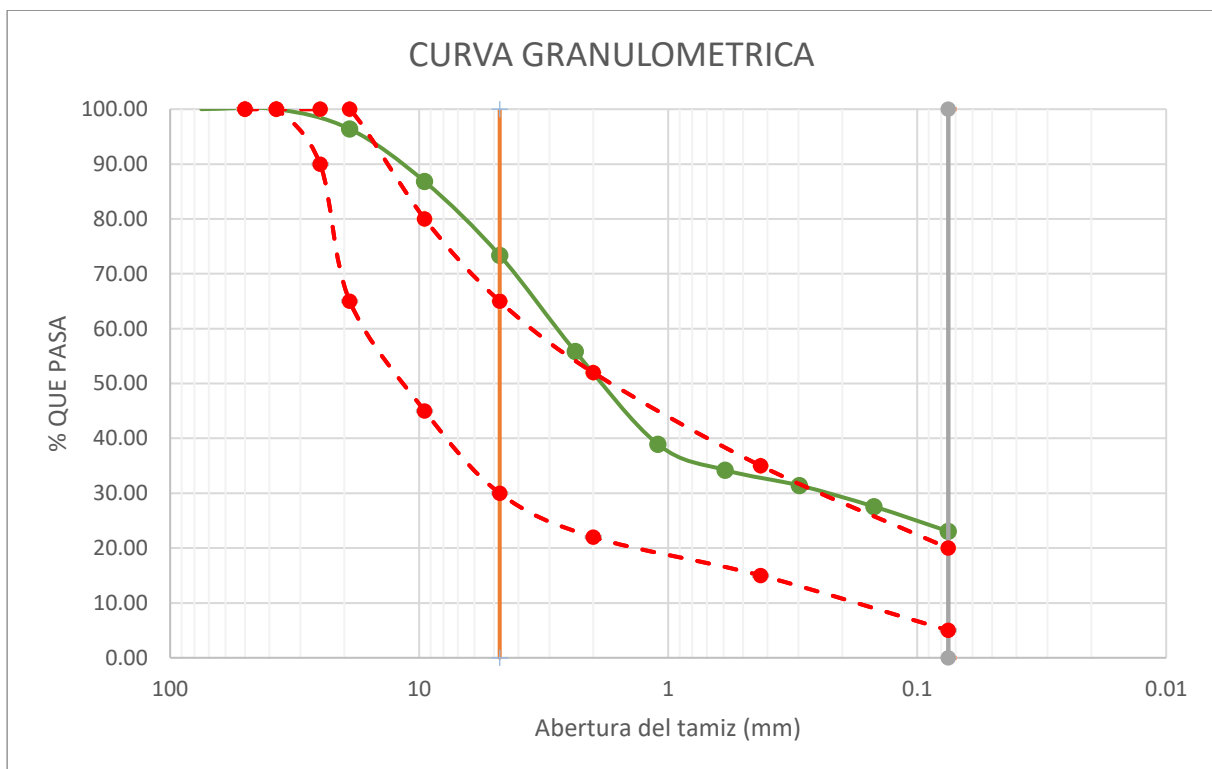
- Calicata C2

Tabla 149: Cuadro resumen de granulometría C2

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
3"	75	100.00
1 1/2"	37.5	100.00
3/4"	19	96.38
3/8"	9.5	86.79
N° 4	4.75	73.36
N° 8	2.36	55.85
N°16	1.1	38.92
N°30	0.59	34.22
N°50	0.297	31.41
N°100	0.149	27.56
N°200	0.075	23.05
Cazuela	-	22.22

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 119: Curva granulométrica C2



Fuente: Elaboración propia



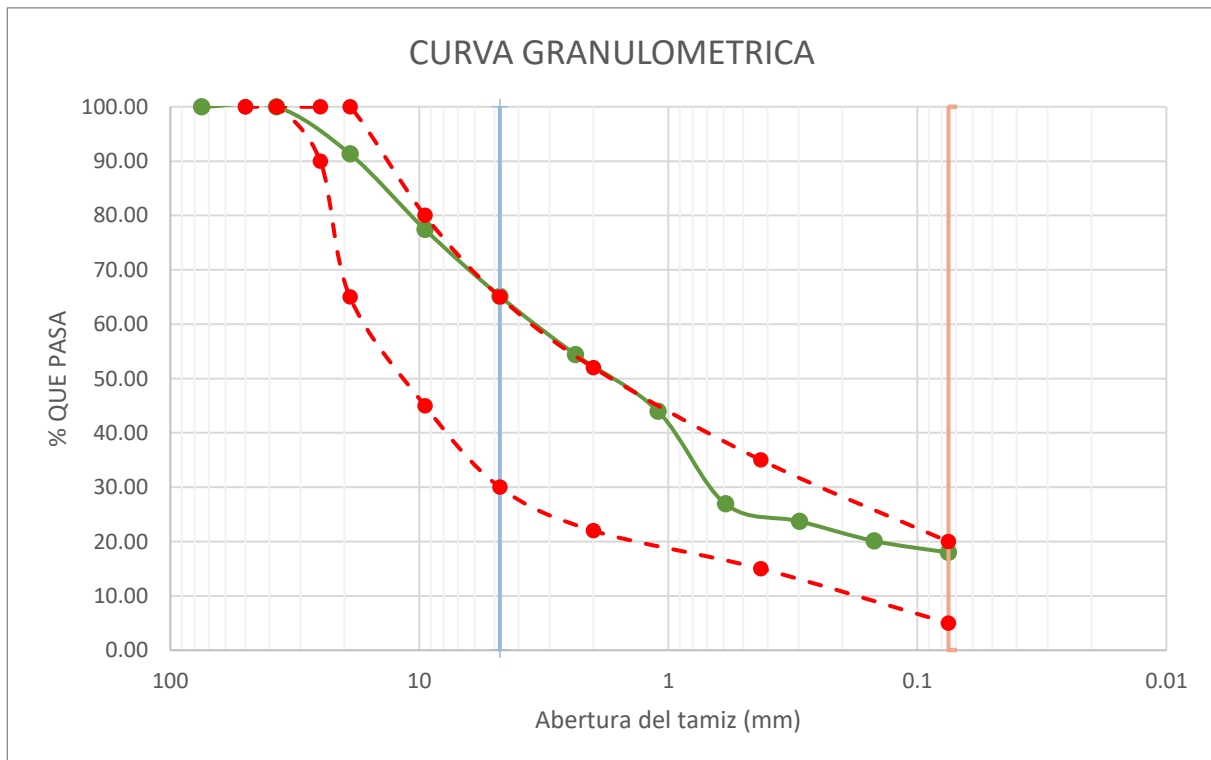
- Calicata C3

Tabla 150: Cuadro resumen de granulometría C3

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
3"	75	100.00
1 1/2"	37.5	100.00
3/4"	19	91.33
3/8"	9.5	77.44
N° 4	4.75	65.14
N° 8	2.36	54.39
N°16	1.1	43.97
N°30	0.59	26.93
N°50	0.297	23.72
N°100	0.149	20.10
N°200	0.075	17.97
Cazuela	-	17.35

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 120: Curva granulométrica C3



Fuente: Elaboración propia



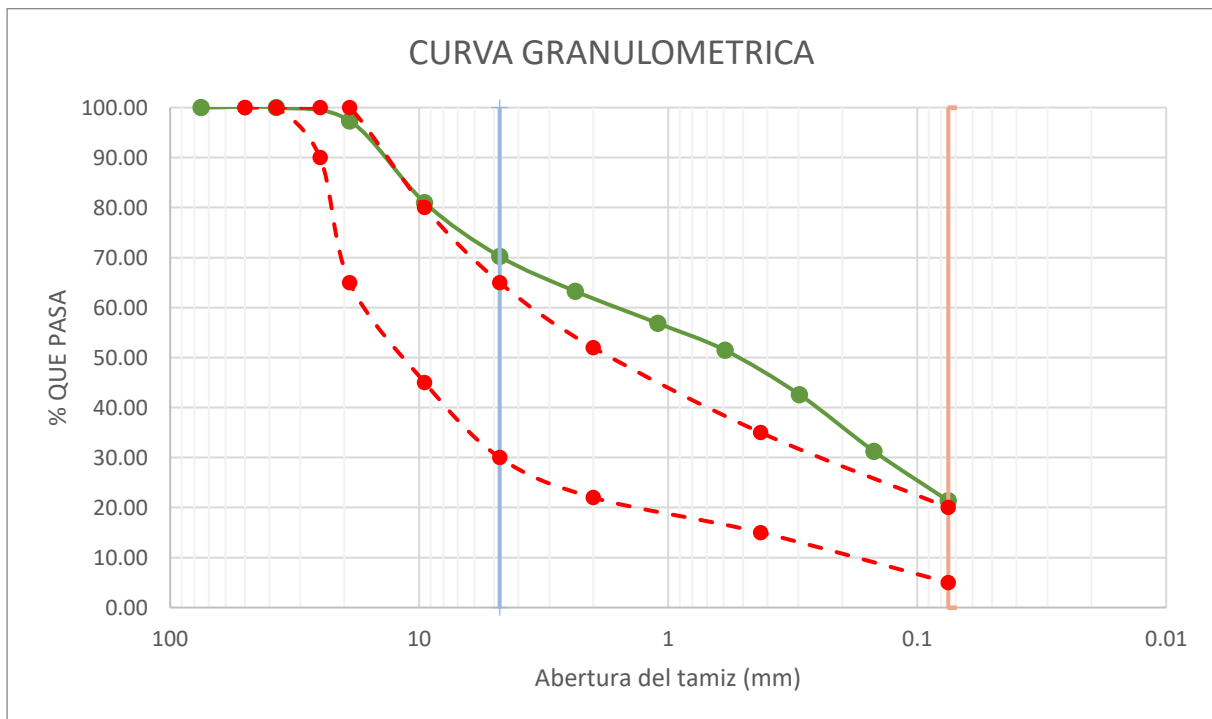
- Calicata C4

Tabla 151: Cuadro resumen de granulometría C4

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
3"	75	100.00
1 1/2"	37.5	100.00
3/4"	19	97.33
3/8"	9.5	80.98
N° 4	4.75	70.24
N° 8	2.36	63.27
N°16	1.1	56.86
N°30	0.59	51.44
N°50	0.297	42.59
N°100	0.149	31.24
N°200	0.075	21.35
Cazuela	-	17.80

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 121: Curva granulométrica C4



Fuente: Elaboración propia



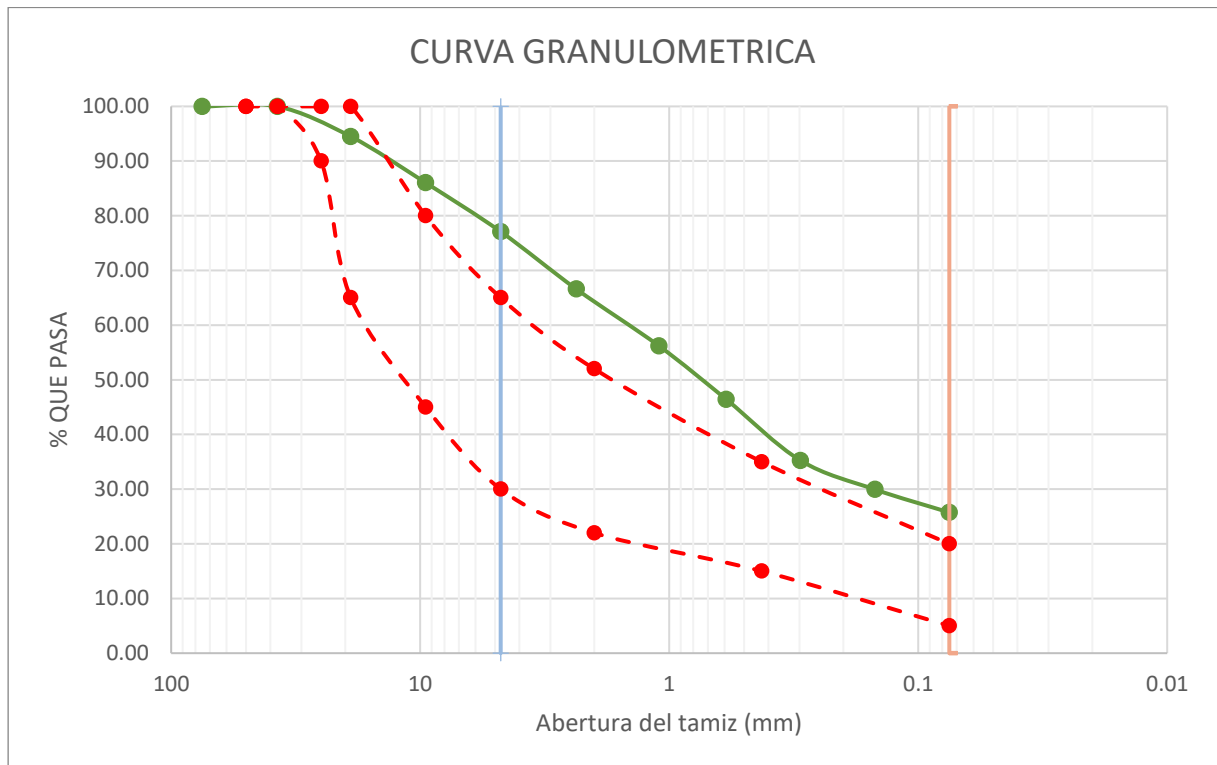
- Calicata C5

Tabla 152: Cuadro resumen granulometría de C5

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
3"	75	100.00
1 1/2"	37.5	100.00
3/4"	19	94.49
3/8"	9.5	86.03
N° 4	4.75	77.09
N° 8	2.36	66.59
N°16	1.1	56.21
N°30	0.59	46.42
N°50	0.297	35.24
N°100	0.149	29.93
N°200	0.075	25.74
Cazuela	-	23.20

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 122: Curva granulométrica C5



Fuente: Elaboración propia



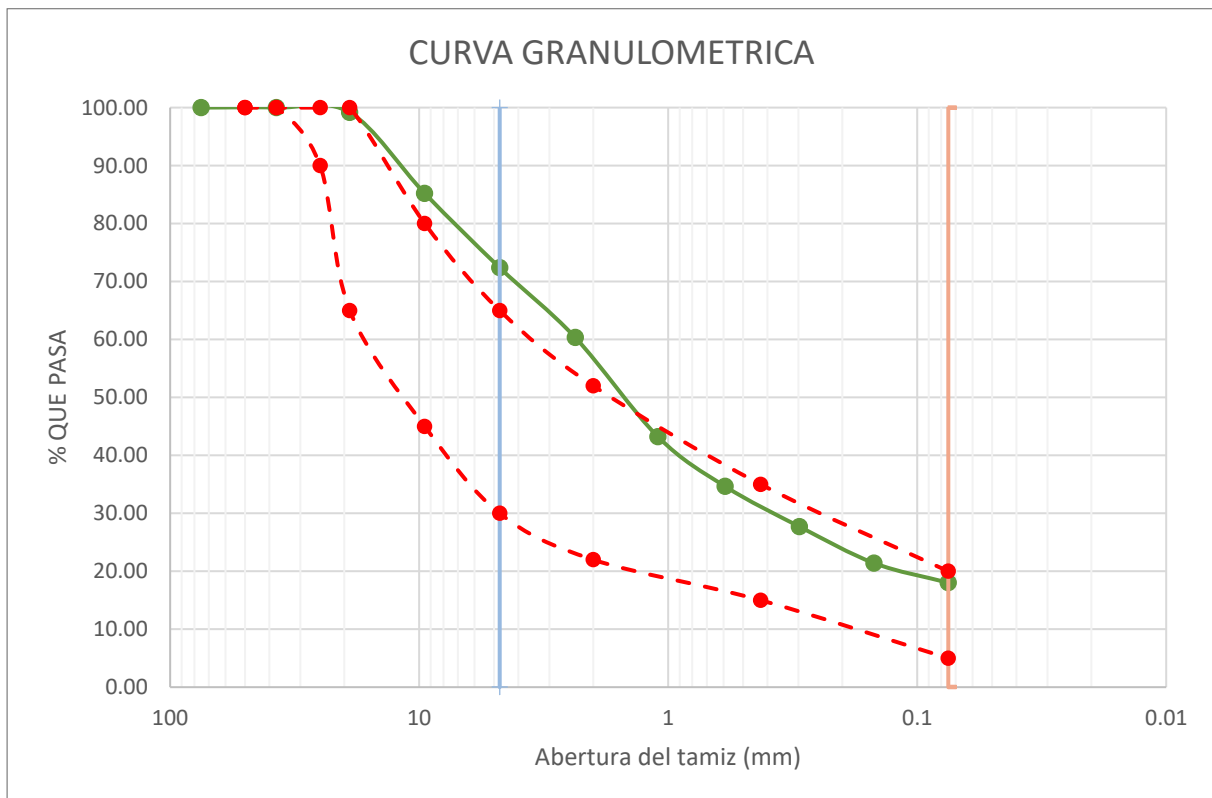
- Calicata C6

Tabla 153: Cuadro resumen granulometría C6

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
3"	75	100.00
1 1/2"	37.5	100.00
3/4"	19	99.16
3/8"	9.5	85.20
N° 4	4.75	72.38
N° 8	2.36	60.32
N°16	1.1	43.22
N°30	0.59	34.63
N°50	0.297	27.70
N°100	0.149	21.41
N°200	0.075	18.02
Cazuela	-	14.62

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 123: Curva granulométrica C6



Fuente: Elaboración propia



4.1.3. Determinación de Límites de Atterberg

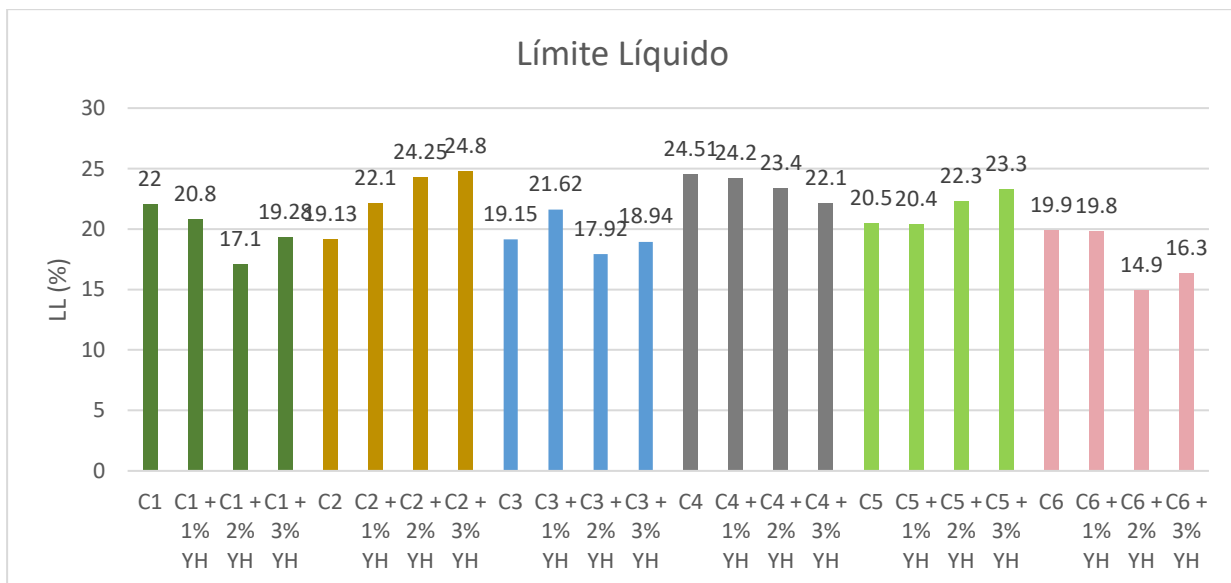
1. Límite Líquido

Tabla 154: Cuadro resumen de Límite Líquido

Muestra Ensayada	LL
C1	22
C1 + 1% YH	20.8
C1 + 2% YH	17.1
C1 + 3% YH	19.28
C2	19.13
C2 + 1% YH	22.1
C2 + 2% YH	24.25
C2 + 3% YH	24.8
C3	19.15
C3 + 1% YH	21.62
C3 + 2% YH	17.92
C3 + 3% YH	18.94
C4	24.51
C4 + 1% YH	24.2
C4 + 2% YH	23.4
C4 + 3% YH	22.1
C5	20.5
C5 + 1% YH	20.4
C5 + 2% YH	22.3
C5 + 3% YH	23.3
C6	19.9
C6 + 1% YH	19.8
C6 + 2% YH	14.9
C6 + 3% YH	16.3

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 124: Límite Líquido vs. Tipo de suelo



Fuente: Elaboración propia



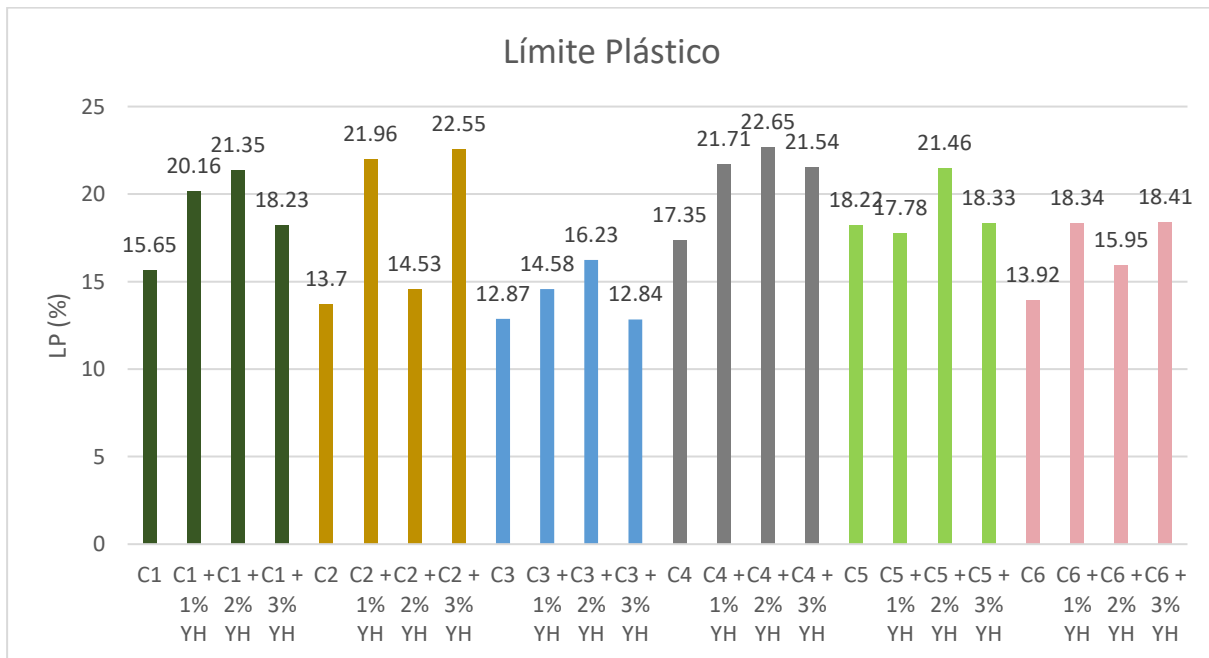
2. Límite Plástico

Tabla 155: Cuadro resumen de Límite Plástico

Muestra Ensayada	LP
C1	15.65
C1 + 1% YH	20.16
C1 + 2% YH	21.35
C1 + 3% YH	18.23
C2	13.7
C2 + 1% YH	21.96
C2 + 2% YH	14.53
C2 + 3% YH	22.55
C3	12.87
C3 + 1% YH	14.58
C3 + 2% YH	16.23
C3 + 3% YH	12.84
C4	17.35
C4 + 1% YH	21.71
C4 + 2% YH	22.65
C4 + 3% YH	21.54
C5	18.22
C5 + 1% YH	17.78
C5 + 2% YH	21.46
C5 + 3% YH	18.33
C6	13.92
C6 + 1% YH	18.34
C6 + 2% YH	15.95
C6 + 3% YH	18.41

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 125: Límite Plástico vs. Tipo de suelo



Fuente: Elaboración propia



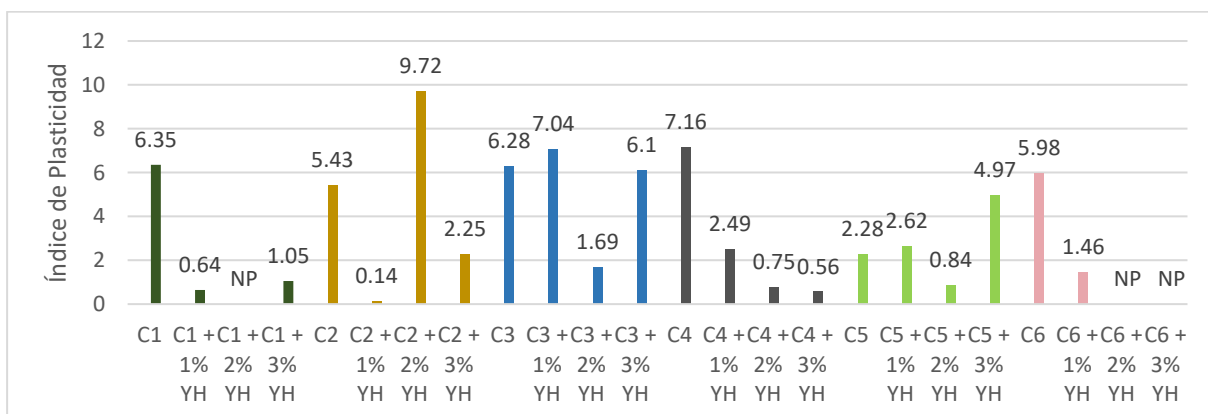
3. Índice de Plasticidad

Tabla 156: Cuadro resumen de Índice de Plasticidad

Muestra Ensayada	IP
C1	6.35
C1 + 1% YH	0.64
C1 + 2% YH	NP
C1 + 3% YH	1.05
C2	5.43
C2 + 1% YH	0.14
C2 + 2% YH	9.72
C2 + 3% YH	2.25
C3	6.28
C3 + 1% YH	7.04
C3 + 2% YH	1.69
C3 + 3% YH	6.1
C4	7.16
C4 + 1% YH	2.49
C4 + 2% YH	0.75
C4 + 3% YH	0.56
C5	2.28
C5 + 1% YH	2.62
C5 + 2% YH	0.84
C5 + 3% YH	4.97
C6	5.98
C6 + 1% YH	1.46
C6 + 2% YH	NP
C6 + 3% YH	NP

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 126: Índice de Plasticidad vs. Tipo de suelo



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, el índice plástico reduce cuando se le agrega 2% de YH al suelo natural, porque lo que se puede entender que el suelo se vuelve menos maleable según el manual de Suelos, Geotecnia, Geología y Pavimentos



4.1.4. Clasificación de Suelos

- **Calicata 1**

Tabla 157: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C1

Clasificación de Suelos	
Según SUCS	Según AASHTO
CL	A-2-4
Arcilla Limosa	Gravas y arenas limosas o arcillosas

Fuente: Elaboración propia

- **Calicata 2**

Tabla 158: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C2

Clasificación de Suelos	
Según SUCS	Según AASHTO
CL	A-2-4
Arcilla Limosa	Gravas y arenas limosas o arcillosas

Fuente: Elaboración propia

- **Calicata 3**

Tabla 159: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C3

Clasificación de Suelos	
Según SUCS	Según AASHTO
CL	A-2-4
Arcilla Limosa	Gravas y arenas limosas o arcillosas

Fuente: Elaboración propia

- **Calicata 4**

Tabla 160: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C4

Clasificación de Suelos	
Según SUCS	Según AASHTO
CL	A-2-4
Arcillosa Limosa	Gravas y arenas limosas o arcillosas

Fuente: Elaboración propia



- **Calicata 5**

Tabla 161: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C5

Clasificación de Suelos	
Según SUCS	Según AASHTO
CL	A-2-4
Arcillosa Limosa	Gravas y arenas limosas o arcillosas

Fuente: Elaboración propia

- **Calicata 6**

Tabla 162: Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS C6

Clasificación de Suelos	
Según SUCS	Según AASHTO
ML	A-2-4
Limo de baja plasticidad	Gravas y arenas limosas o arcillosas

Fuente: Elaboración propia



4.1.5. Compactación de Suelos (Proctor Modificado)

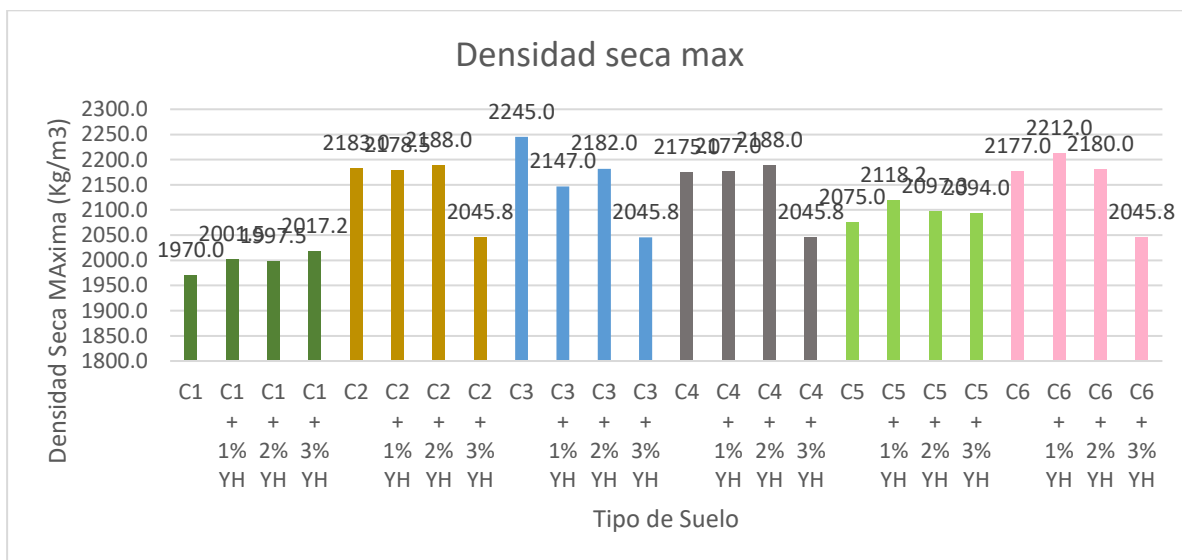
- Densidad Seca Máxima

Tabla 163: Cuadro resumen de Densidades Secas Máximas

Muestra Ensayada	Tipo de suelo	Densidad seca Max (Kg/m ³)	Densidad seca Max (g/cm ³)
C1	CL (Arcilla Limosa)	1970.0	1.97
C1 + 1% YH		2001.5	2.00
C1 + 2% YH		1997.5	2.00
C1 + 3% YH		2017.2	2.02
C2	CL (Arcilla Limosa)	2183.0	2.18
C2 + 1% YH		2178.5	2.18
C2 + 2% YH		2188.0	2.19
C2 + 3% YH		2045.8	2.05
C3	CL (Arcilla Limosa)	2245.0	2.25
C3 + 1% YH		2147.0	2.15
C3 + 2% YH		2182.0	2.18
C3 + 3% YH		2045.8	2.05
C4	CL (Arcilla Limosa)	2175.0	2.18
C4 + 1% YH		2177.0	2.18
C4 + 2% YH		2188.0	2.19
C4 + 3% YH		2045.8	2.05
C5	CL (Arcilla Limosa)	2075.0	2.08
C5 + 1% YH		2118.2	2.12
C5 + 2% YH		2097.3	2.10
C5 + 3% YH		2094.0	2.09
C6	ML (Limo de baja Plasticidad)	2177.0	2.18
C6 + 1% YH		2212.0	2.21
C6 + 2% YH		2180.0	2.18
C6 + 3% YH		2045.8	2.05

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 127: Densidad seca máxima Vs. Tipo de Suelo



Fuente: Elaboración propia



Como se puede observar, la densidad seca máxima se mantuvo con el mismo valor, lo que significa que bajo las mismas condiciones específicas, el suelo ha alcanzado aproximadamente la misma densidad máxima en diferentes momentos según el MTC.

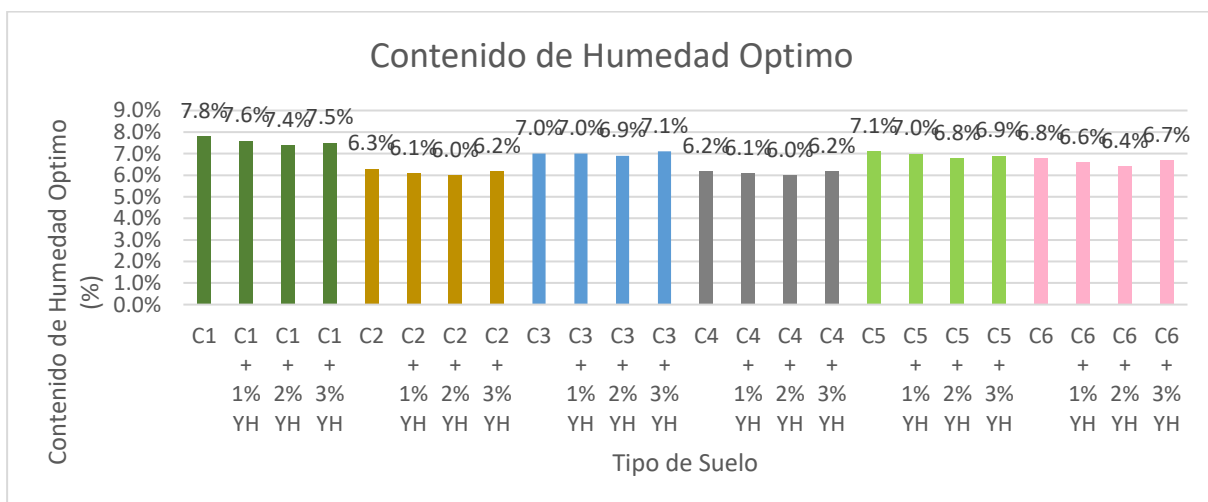
- Contenido de Humedad Optimo

Tabla 164: Resumen de Contenidos de Humedad Óptimos

Muestra Ensayada	CHO
C1	7.8%
C1 + 1% YH	7.6%
C1 + 2% YH	7.4%
C1 + 3% YH	7.5%
C2	6.3%
C2 + 1% YH	6.1%
C2 + 2% YH	6.0%
C2 + 3% YH	6.2%
C3	7.0%
C3 + 1% YH	7.0%
C3 + 2% YH	6.9%
C3 + 3% YH	7.1%
C4	6.2%
C4 + 1% YH	6.1%
C4 + 2% YH	6.0%
C4 + 3% YH	6.2%
C5	7.1%
C5 + 1% YH	7.0%
C5 + 2% YH	6.8%
C5 + 3% YH	6.9%
C6	6.8%
C6 + 1% YH	6.6%
C6 + 2% YH	6.4%
C6 + 3% YH	6.7%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 128: Contenido de Humedad Optimo Vs. Tipo de Suelo



Fuente: Elaboración propia



Como se puede observar, el contenido de humedad óptimo se mantiene equilibrado, se podría decir que, independientemente del tiempo en el que se realizó la compactación, el contenido de humedad óptimo para lograr la máxima densidad seca se ha mantenido constante. Esta consistencia es esencial para garantizar una calidad constante en la compactación de suelos. También se pudo decir que se sugiere que el proceso de compactación es reproducible y controlable, lo que es fundamental para la construcción de calidad y estabilidad estructural según el MTC.

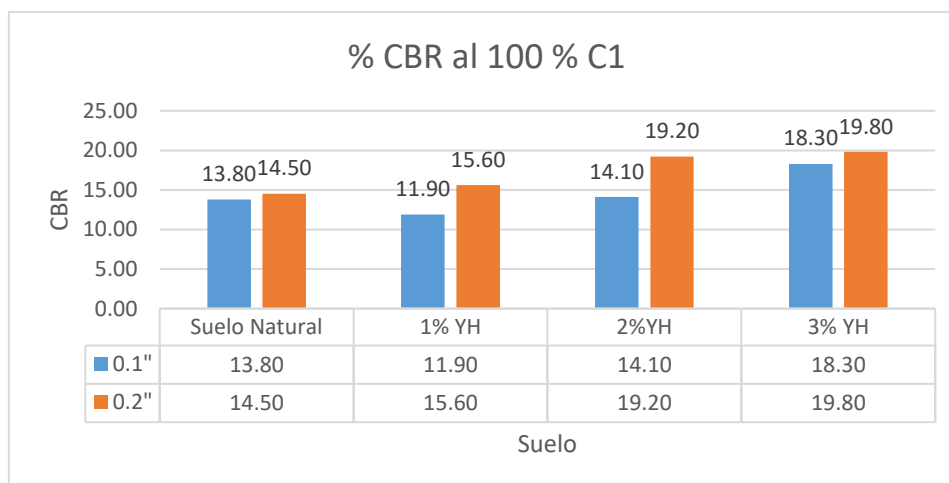
4.1.6. Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)

- CBR al 100%

Tabla 165: Resumen ensayo CBR C1

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
0.1"	13.80	11.90	14.10	18.30
0.2"	14.50	15.60	19.20	19.80

Ilustración 129: CBR al 100% C1



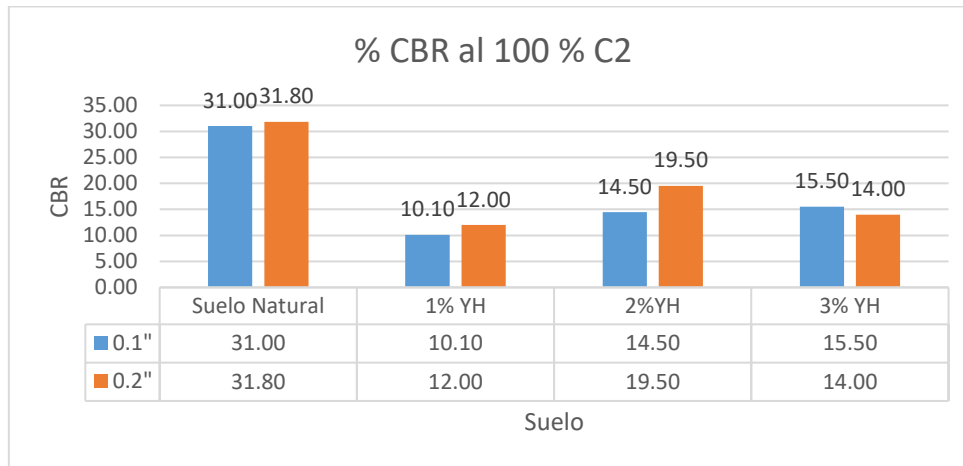
Fuente: Elaboración propia

Tabla 166: Resumen ensayo CBR C2

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
0.1"	31.00	10.10	14.50	15.50
0.2"	31.80	12.00	19.50	14.00



Ilustración 130: CBR al 100% C2

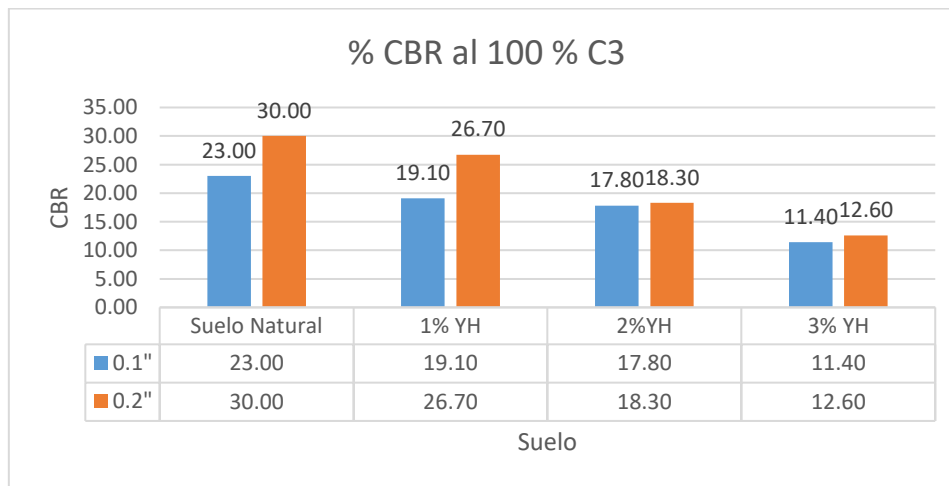


Fuente: Elaboración propia

Tabla 167: Resumen ensayo CBR C3

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
0.1"	23.00	19.10	17.80	11.40
0.2"	30.00	26.70	18.30	12.60

Ilustración 131: CBR al 100% C3



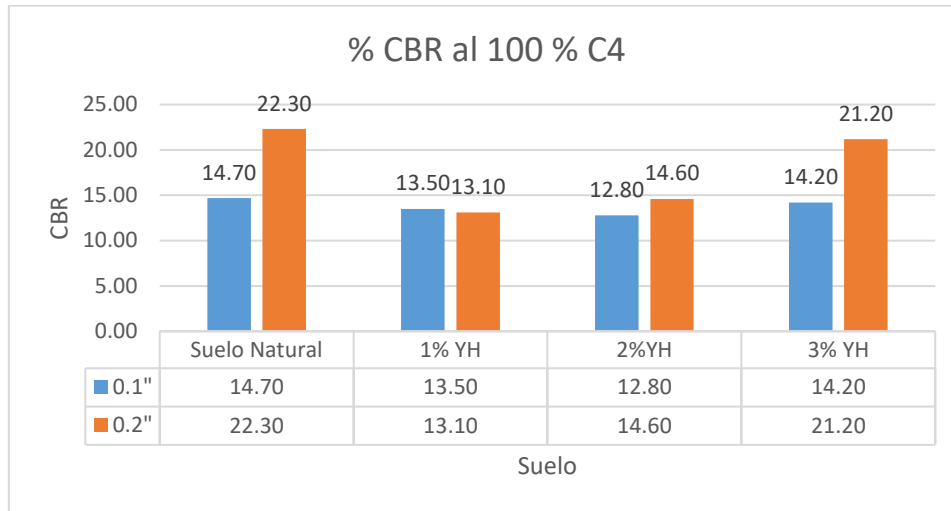
Fuente: Elaboración propia

Tabla 168: Resumen ensayo CBR C4

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
0.1"	14.70	13.50	12.80	14.20
0.2"	22.30	13.10	14.60	21.20



Ilustración 132: CBR al 100% C4

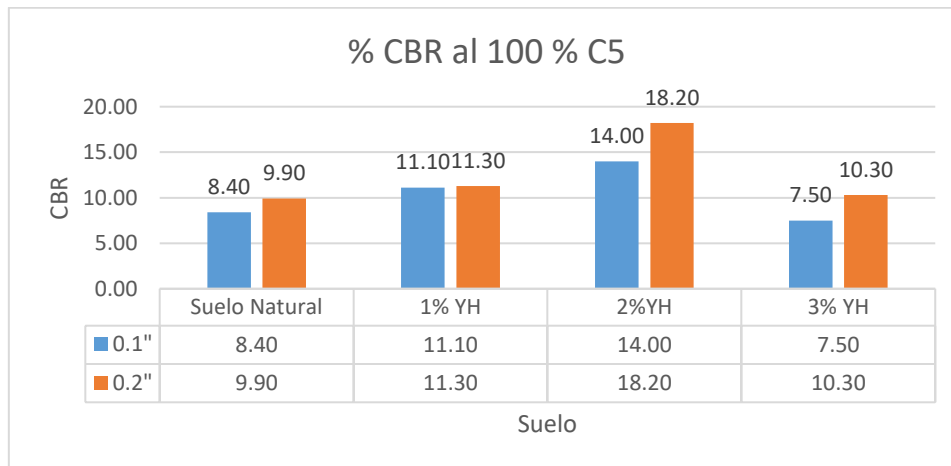


Fuente: Elaboración propia

Tabla 169: Resumen ensayo CBR C5

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
0.1"	8.40	11.10	14.00	7.50
0.2"	9.90	11.30	18.20	10.30

Ilustración 133: CBR al 100% C5



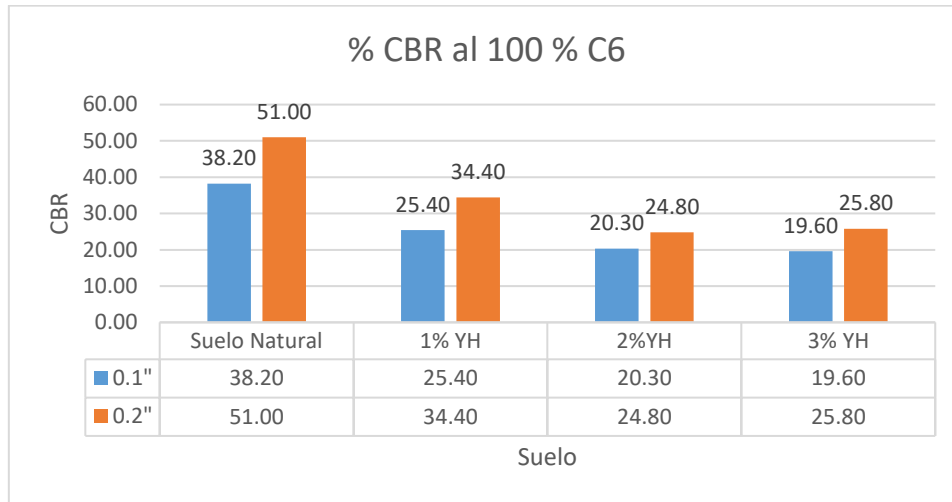
Fuente: Elaboración propia

Tabla 170: Resumen ensayo CBR C6

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
0.1"	38.20	25.40	20.30	19.60
0.2"	51.00	34.40	24.80	25.80



Ilustración 134: CBR al 100% C6



Fuente: Elaboración propia

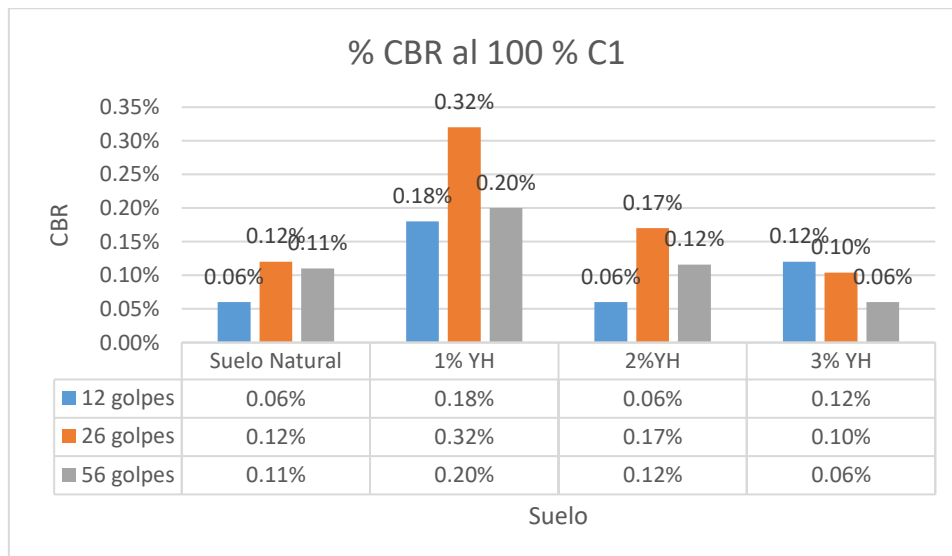
- **Expansión**

Tabla 171: Resumen de expansión C1

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
12 golpes	0.06%	0.18%	0.06%	0.12%
26 golpes	0.12%	0.32%	0.17%	0.10%
56 golpes	0.11%	0.20%	0.12%	0.06%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 135: Comparación de expansión C1



Fuente: Elaboración propia

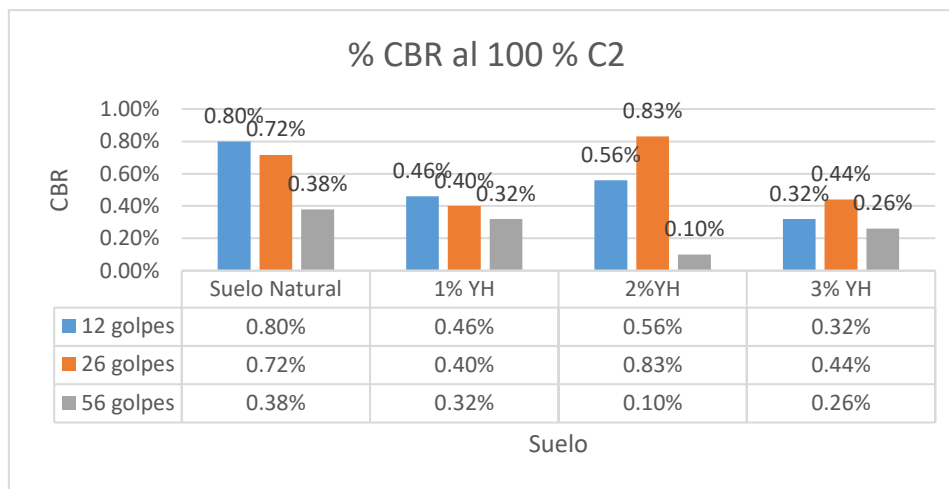


Tabla 172: Resumen de expansión C2

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
12 golpes	0.80%	0.46%	0.56%	0.32%
26 golpes	0.72%	0.40%	0.83%	0.44%
56 golpes	0.38%	0.32%	0.10%	0.26%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 136: Comparación de expansión C2



Fuente: Elaboración propia

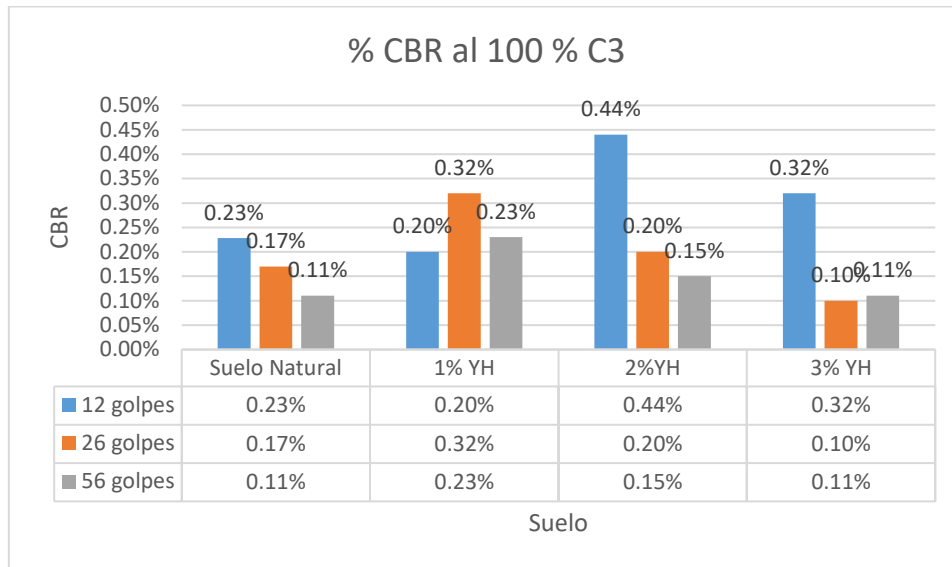
Tabla 173: Resumen de expansión C3

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
12 golpes	0.23%	0.20%	0.44%	0.32%
26 golpes	0.17%	0.32%	0.20%	0.10%
56 golpes	0.11%	0.23%	0.15%	0.11%

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 137: Comparación de expansión C3



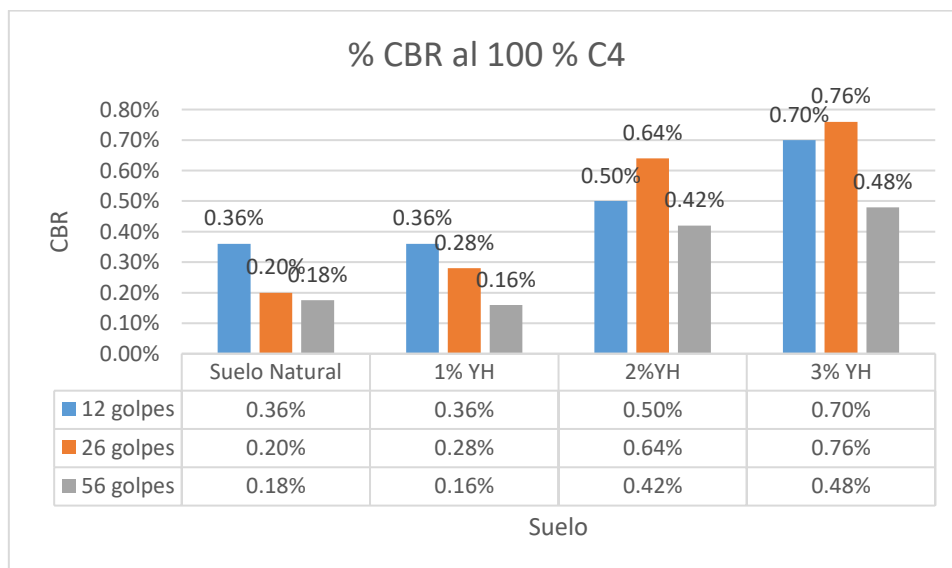
Fuente: Elaboración propia

Tabla 174: Resumen de expansión C4

	Suelo Natural	1% YH	2% YH	3% YH
12 golpes	0.36%	0.36%	0.50%	0.70%
26 golpes	0.20%	0.28%	0.64%	0.76%
56 golpes	0.18%	0.16%	0.42%	0.48%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 138: Comparación de expansión C4



Fuente: Elaboración propia

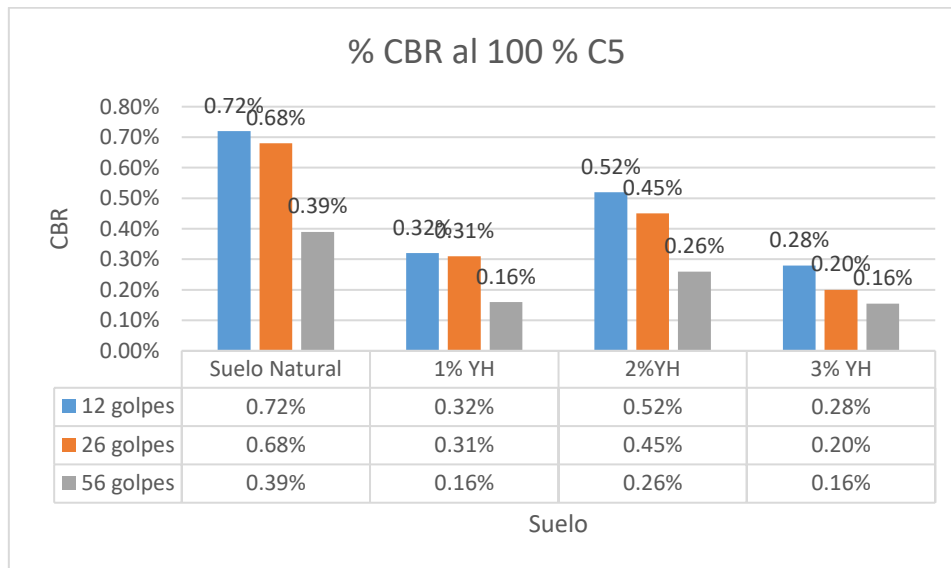


Tabla 175: Resumen de expansión C5

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
12 golpes	0.72%	0.32%	0.52%	0.28%
26 golpes	0.68%	0.31%	0.45%	0.20%
56 golpes	0.39%	0.16%	0.26%	0.16%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 139: Comparación de expansión C5



Fuente: Elaboración propia

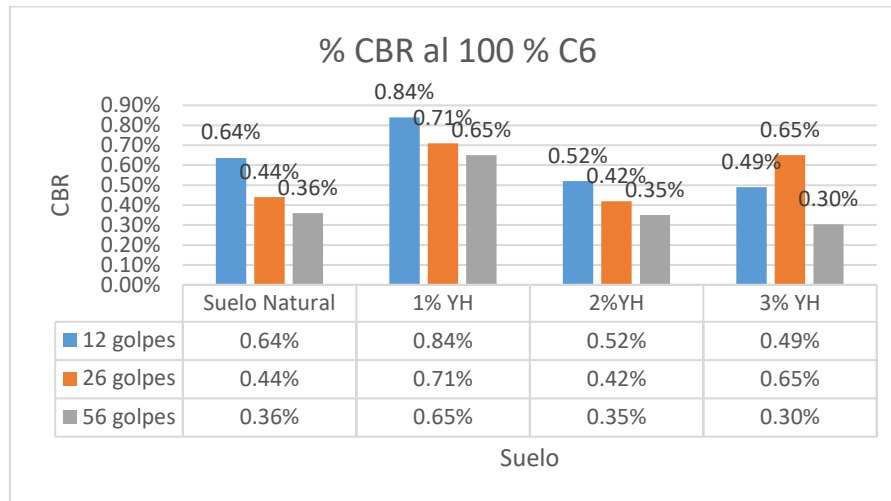
Tabla 176: Resumen de expansión C6

	Suelo Natural	1% YH	2%YH	3% YH
12 golpes	0.64%	0.84%	0.52%	0.49%
26 golpes	0.44%	0.71%	0.42%	0.65%
56 golpes	0.36%	0.65%	0.35%	0.30%

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 140: Comparación de expansión C6



Fuente: Elaboración propia

Desarrollados los cálculos pertinentes, podemos observar que en la C1 y C5, el valor de CBR aumento, ya que estas en su condición natural serian una S2 (Subrasante regular), y adicionando el YH con aditivo estas se vuelven en S3 (Subrasante Buena), por lo que se pudo observar que el suelo evaluado mas YH ha experimentado un aumento en su capacidad de soporte y resistir deformación según el MTC.

4.1.7. Ensayo de Resistencia a la Erosión

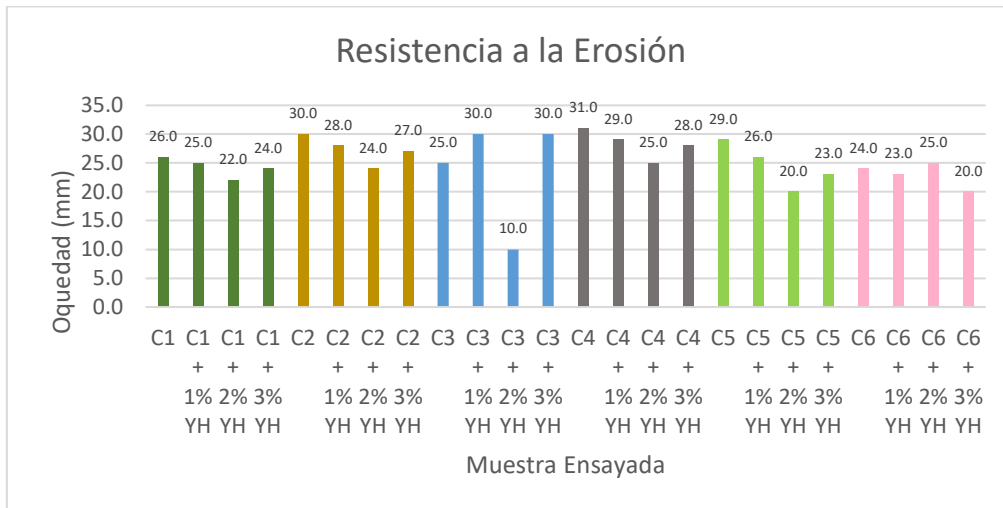
Tabla 177: Tabla resumen del Ensayo de Resistencia a la Erosión

Muestra Ensayada	Oquedad (mm)
C1	26.0
C1 + 1% YH	25.0
C1 + 2% YH	22.0
C1 + 3% YH	24.0
C2	30.0
C2 + 1% YH	28.0
C2 + 2% YH	24.0
C2 + 3% YH	27.0
C3	25.0
C3 + 1% YH	30.0
C3 + 2% YH	10.0
C3 + 3% YH	30.0
C4	31.0
C4 + 1% YH	29.0
C4 + 2% YH	25.0
C4 + 3% YH	28.0
C5	29.0
C5 + 1% YH	26.0
C5 + 2% YH	20.0
C5 + 3% YH	23.0
C6	24.0
C6 + 1% YH	23.0
C6 + 2% YH	25.0
C6 + 3% YH	20.0

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 141: Grafico de resultados del ensayo de Resistencia a la Erosión



Fuente: Elaboración propia

Como se pudo observar, el suelo natural mas YH, presento menos desgaste a medida que se le aumentaba el porcentaje de aditivo, pudiendo decir que dicho aditivo hace resistente a los deterioros provocados por la lluvia natural que es afectada la carretera Tica Tica- Chinchero según la norma UNE 41410.



Capítulo V: Discusión

a) Contraste de resultados con referente del marco teórico

¿El suelo procedente de la carretera Tica Tica – Chinchero, utilizado a nivel de subrasante, necesita mejoramiento?

Las zonas con suelo inestable de la carretera Tica Tica – Chinchero que fueron evaluadas, si necesitan un mejoramiento en las propiedades físico-mecánicas, ya que con los ensayos realizados en los suelos en estado natural sin aditivo, se puede evidenciar que dichas propiedades no corresponden en su mayoría a los parámetros necesarios para subrasante.

¿De alguna manera cambia el suelo cuando se agrega Yeso Hidráulico?

No, ya que el suelo estudiado no se verá afectado de forma física por la adición de Yeso Hidráulico en diferentes porcentajes, debido que el suelo estudiado tiene la misma granulometría, por consiguiente, perdura la granulometría original, lo único que cambia son las propiedades mecánicas.

b) Interpretación de los resultados encontrados en la investigación

¿Cuál es la dosificación de Yeso Hidráulico para una mayor optimización?

Según los ensayos realizados en la investigación, se pudo observar que el suelo natural tiene una mayor optimización con un incremento del 2% de Yeso Hidráulico como aditivo estabilizador en ciertos tipos de suelo, especialmente en la Capacidad de Soporte CBR.

c) Aporte de la investigación

¿Qué aporte deja la investigación?

La presente investigación está dentro de la rama de geotecnia y pavimentos, ya que se realiza una evaluación de las propiedades físico – mecánicas de suelos a nivel de sub rasante procedente de la Carretera Tica Tica – Chinchero adicionando con Yeso Hidráulico en distintos porcentajes. Estos suelos estudiados son muy comunes en las



obras viales de nuestra región, por lo tanto, se debe de tener en cuenta que el estudio realizado del suelo obtenido en la Carretera Tica Tica – Chinchero, se puede mejorar las propiedades físico-mecánicas de diferentes suelos de la Región.

¿Los porcentajes de yeso hidráulico como aditivo a un suelo inestable son adecuados?

Si, se elaboró previamente a la investigación pruebas piloto en laboratorio las cuales mostraron resultados aplicados a arcilla de tipo caolinita favorables hasta un 3 % de aditivo con relación al peso de arcilla evaluada, esto determino la consideración de los porcentajes de aditivo a evaluar en esta investigación, que seria 1% 2% y 3% para cada punto de evaluación.



Glosario

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

ADITIVO: Sustancia o elemento que modifica las propiedades físico mecánicas de la muestra de suelo.

ASTM: American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para ensayos de Materiales.

CHO: Contenido de Humedad Optimo

COMPACTACIÓN: Densificación de un suelo por medio de una manipulación mecánica.

DENSIDAD: Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

DMS: Densidad Máxima Seca del Suelo.

GS: Gravedad específica del suelo.

MATERIAL FINO: Suelo que pasa por el tamiz N° 4

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

NTO: Norma Técnica Peruana.

OQUEDAD: Espacio hueco en cuerpo de un sólido.

SUB RASANTE: Superficie terminada sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

SUELOS INESTABLES: suelos cuyo comportamiento no solo está en relación con sollicitaciones mecánicas, sino que también está controlado por factores externos como factores químicos, variaciones ambientales, etc.

TAMIZ: Instrumento de laboratorio que se utiliza para separar tamaños de material.

YH: Yeso Hidráulico, yeso calcinado a más de 900°C.



Conclusiones

Conclusión N° 1

La hipótesis general no cumple, la cual menciona:

- ✓ **Las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables mejoran al incorporar Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. En la carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021.**

El suelo de la carretera Tica Tica – Chincheru a nivel de subrasante, tiene un mejoramiento leve de sus propiedades físico-mecánicas a medida que se le adiciona Yeso Hidráulico progresivamente, teniendo así una dosificación de este aditivo del 2% como la más apropiada (se verifica en la pag. 256 y 258 del ensayo de CBR realizado, así mismo en la pag. 263 del ensayo de Resistencia a la erosión), teniendo con este porcentaje de YH un menor índice de plasticidad en la mayoría de casos investigados como se verifica en la pag. 251 en la ilustración 126, lo que nos lleva a una mejoría en sus propiedades físicas, ya que será menos propenso a cambios de forma bajo presión. Respecto a las propiedades mecánicas se obtuvo ligeramente una mayor densidad seca máxima (pag. 254, ilustración 127), un menor contenido de humedad óptimo (pag. 255, ilustración 128), y un CBR de 14.80% a 19.80% en C1 y de 9.90% a 18.20% en C5 (pag. 256 y 258), siendo estos superior comparado con el suelo natural sin aditivo.

Conclusión N°02

La sub hipótesis N°1 no se cumple, la cual menciona:

- ✓ **El Índice de plasticidad de suelos inestables reduce incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021.**

No cumple puesto que la reacción de un suelo inestable de la Carretera Tica Tica- Chincheru y el aditivo que es el yeso hidráulico, presenta una disminución progresiva a medida que se aumenta el porcentaje de este aditivo en lo que es el valor del índice de plasticidad, más que todo cuando se adiciona 2% de YH al suelo natural.

En el caso de las calicatas C1, C3 y C5 con 2% de YH, el índice de plasticidad disminuye, pero si adicionamos 3% de YH al suelo natural, el Índice de Plasticidad se incrementa (pág. 251).

En el caso de la calicata C2, el índice de plasticidad se incrementa cuando al suelo natural se le agrega 2% de YH, pero disminuye al incrementar 3% de YH como se verifica en la ilustración 126.



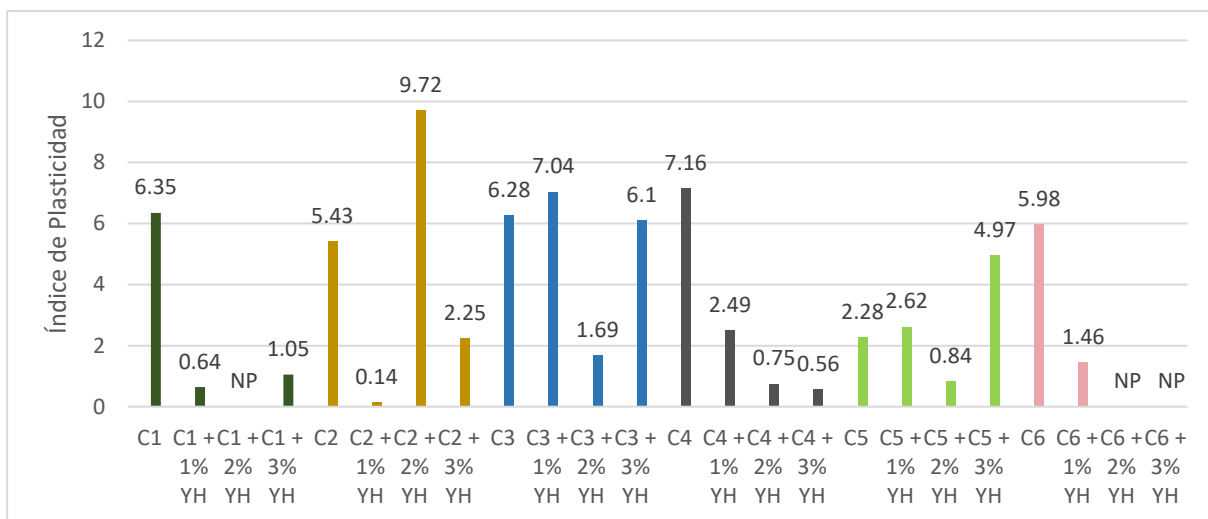
En el caso de la calicata C4 y C6, el Índice de Plasticidad disminuye progresivamente a medida que el porcentaje de YH se incrementa (pág. 251).

Según el manual de Suelos, Geotecnia, Geología y Pavimentos se evidencio que el índice de plasticidad nos categoriza suelos arcillosos de baja y mediana plasticidad:

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

Fuente: *Manual de Suelos, Geotecnia, Geología y Pavimentos*

Ilustración 142: Grafico índice de plasticidad vs. Tipo de suelo



Fuente: Elaboración propia

Conclusión N°03

Se cumple de manera satisfactoria la sub hipótesis N° 2, la cual menciona:

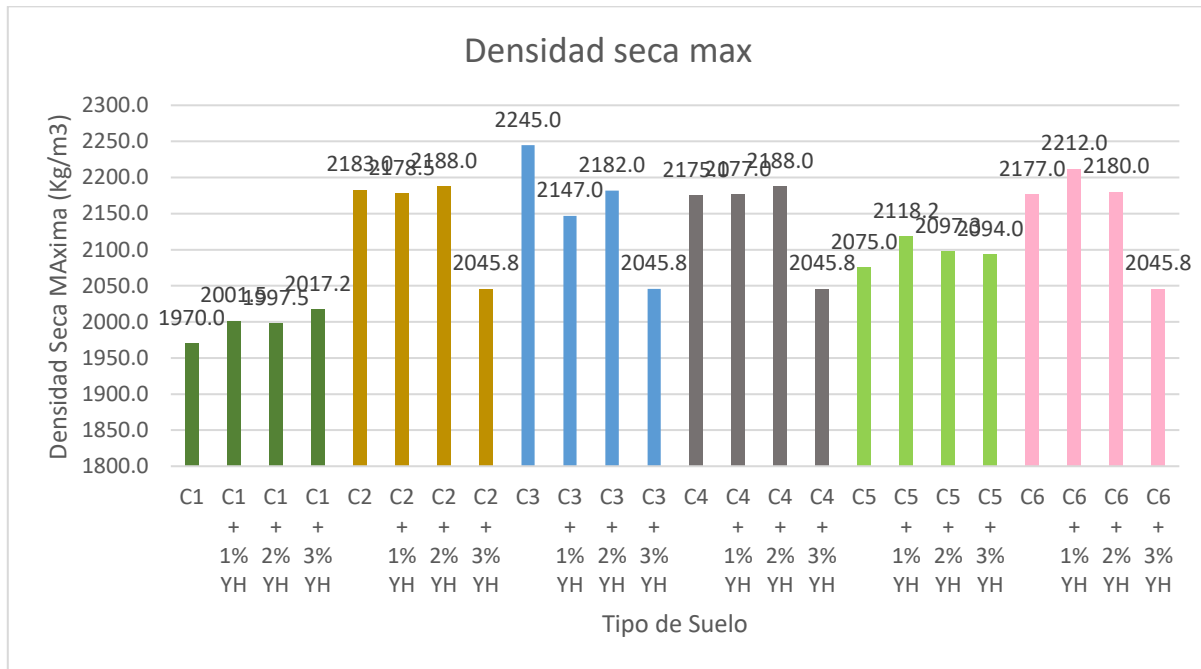
- ✓ **La Densidad seca máxima de suelos inestables es equilibrada incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021.**

La densidad seca máxima del suelo estudiado adicionado con Yeso Hidráulico, se mantiene de manera equilibrada, es decir, los valores de los resultados de la densidad seca máxima no varían,



tomando en cuenta la dosificación apropiada de suelo natural + 2% de YH como la más apropiada para una densidad seca máxima aproximada a la del suelo natural sin aditivo (pág. 254).

Ilustración 143: Densidad Seca Máxima



Fuente: Elaboración propia

Conclusión N° 04

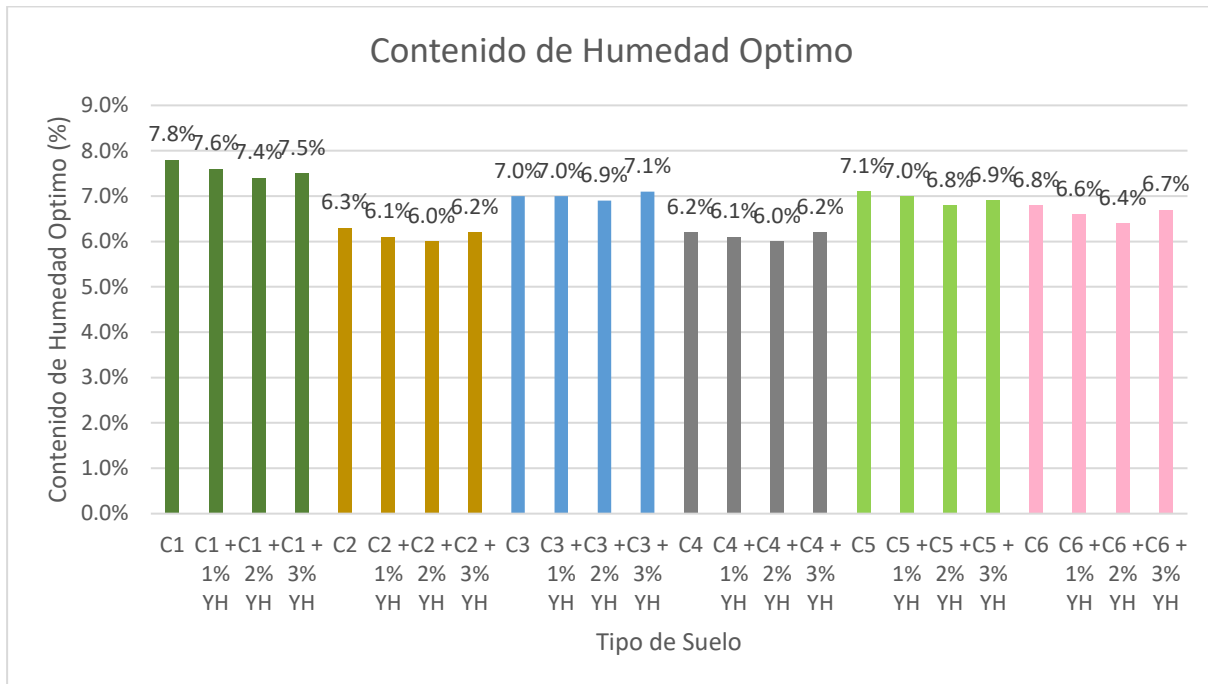
Se cumple la sub hipótesis N° 3, la cual menciona:

- ✓ **El Contenido de Humedad Óptimo de suelos inestables reduce respectivamente incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincheru, Cusco 2021.**

El contenido de humedad óptimo (CHO) del suelo estudiado adicionado con yeso hidráulico, reduce respectivamente comparando con el CHO del suelo natural sin aditivo, teniendo la combinación de suelo natural + 2% de YH como la más apropiada, ya que al adicionar un mayor porcentaje de aditivo aumenta el contenido de humedad óptimo (pág. 255).



Ilustración 144: Comparación del Contenido de Humedad Óptima



Fuente: Elaboración propia

Conclusión N° 05

No se cumple la sub hipótesis N°4 la cual menciona:

- ✓ **La capacidad de soporte CBR de suelos inestables mejora incorporando Yeso Hidráulico, en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chinchero, Cusco 2021.**

Se pudo observar que el CBR de los suelos inestables estudiados de la carretera Tica Tica-Chinchero, con los ensayos realizados, no es suficientemente buena a nivel de subrasante en la mayoría de casos, siendo categorizada según el Manual de Carreteras (2016) como una subrasante Regular (S2). Por lo que al adicionar Yeso Hidráulico se pudo comprobar la sub hipótesis, ya que tiene una mejora en el CBR en ciertas calicatas como la C1 y C5, teniendo como mayor valor obtenido de 19.80% y 18.20% respectivamente (se verifica en la pág. 256 y 258 del ensayo de CBR realizado).



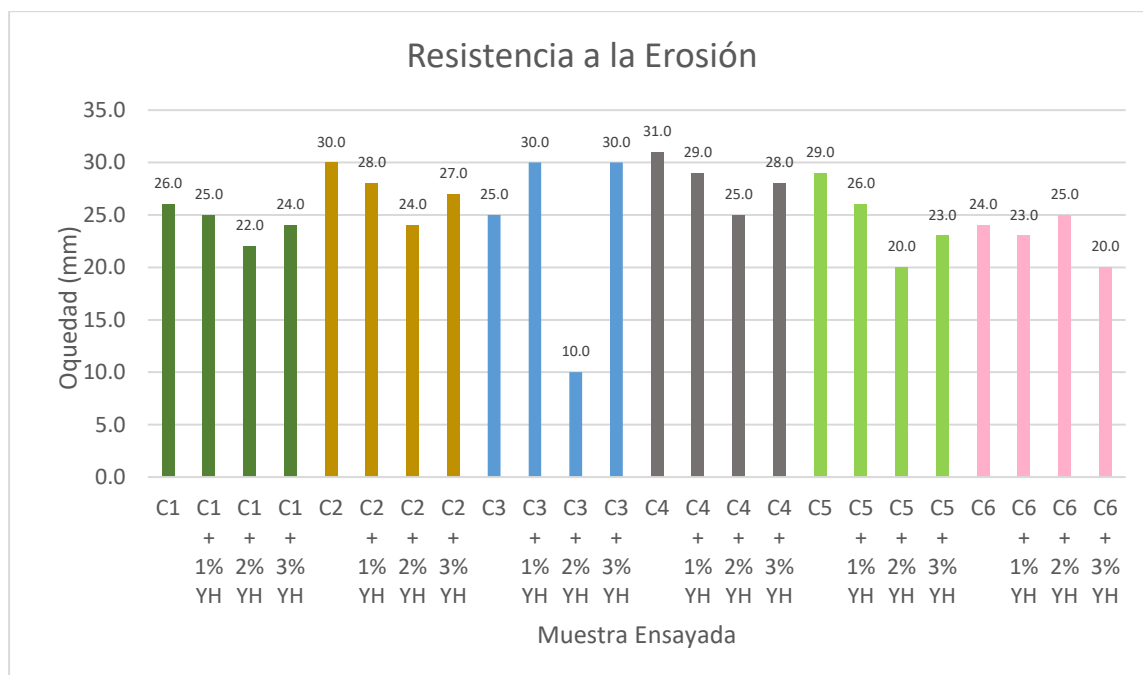
Conclusión N° 06

Se cumple con la sub hipótesis N° 5, la cual menciona:

- ✓ **La resistencia a la Erosión en suelos inestables mejora incorporando Yeso Hidráulico en vías de bajo volumen de tránsito. Carretera Tica Tica-Chincho, Cusco 2021.**

Se puede observar en el gráfico de barras siguiente que a medida que se aumenta el porcentaje de Yeso Hidráulico como aditivo en los suelos ensayados, la resistencia a la erosión mejora en la mayoría de casos, teniendo así una menor oquedad al 2% de Yeso Hidráulico, considerándolo así como el porcentaje de aditivo más apropiado (pág. 263 del ensayo de Resistencia a la erosión).

Ilustración 145: Resultados de la Resistencia a la Erosión



Fuente: Elaboración propia



Recomendaciones

Recomendación N°01

Se pudo observar mejoras mínimas en las propiedades físico-mecánicas de suelos inestables de la carretera Tica Tica – Chincheros adicionados con yeso hidráulico, por lo que se recomienda continuar con futuros estudios para suelos de otros tipos, y también como estabilizante para sub rasante.

Recomendación N°02

Dados los resultados de los ensayos de límites de Atterberg, si se desea reducir el límite líquido y límite plástico se recomienda el uso de yeso hidráulico en un suelo inestable.

Recomendación N°03

Se recomienda el uso de yeso hidráulico en un 2% como aditivo como reductor de contenido de humedad óptimo, ya que así se pudo demostrar en el ensayo de Proctor modificado.

Recomendación N°04

Se recomienda el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas en las zonas con suelos inestables que se encuentran en la Carretera Tica Tica-Chinchero con yeso hidráulico al 2%.

Recomendación N° 05

La presente investigación se realizó con yeso de la zona de Huacarpay, se recomienda hacer estudios con el yeso obtenidos en otras canteras, puesto que puede diferir o mejorar de mejor manera en las propiedades físico-mecánicas.

Recomendación N° 06

Se recomienda el uso de un horno mufla calibrada y que garantice llegar a más de 900°C para la fabricación del yeso hidráulico, ya que en un horno artesanal no se puede garantizar el control de la temperatura exacta para dicha fabricación.



Referencias Bibliográficas

- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. *Estabilización Química de Suelos- Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorados*. Lima: MTC, 2014.
- Besoain, Eduardo. *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. San José, Costa Rica: IICA, 1985.
- Bowles, J.E. *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. Mexico: McGRAW-HILL, 1981.
- Coronado Iturbe, Jorge. *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: Secretaria de Investigación Económica de Centroamérica, 2002.
- De Villanueva Dominguez, Luis, y Alfonso García Santos. *Manual del Yeso*. Madrid: CIE Inversiones, 2001.
- Duque Escobar, G., y C.E. Escobar Portes. *Mecánica de Suelos "Geomecánica"*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia., 2016.
- García Santos, Alfonso. *Comportamiento Mecánico de Yeso Reforzado con Polímeros Sintéticos*. Tesis, Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, s.f.
- Hernández Sampieri, Roberto. *Metodología de la Investigación*. Mexico: Interamericana Editores, 2014.
- Juárez Badillo, E., y A. Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Mexico, D.F: Limusa, 2005.
- Llano Sanz, Juan José. *Mecánica de Suelos*. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados, 1975.
- Marquez Javier, J. *Mécanica de Suelos y Estudios Geotécnicos en Obras de Ingeniería*. 2006.
- Mata Montenegro, M. T. *Guía Básica para la conformación de bases y subbases para carreteras en El Salvador. (Tesis de Grado)*. Universidad de El Salvador, El Salvador., 2010.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos/ Sección: Suelos y Pavimentos*. Lima: MTC, 2013.
- Montejo Fonseca, Alfonso. *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá: Stella Valbuena de Fierro, 2002.
- Mosquera Gonzáles, Harlene Yasmin. *Mejoramiento de revoque a base de arcilla, aplicable en muros de adobe y mampostería de ladrillo*. Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja, 2016.



- MTC. *Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*.
Lima: Direccion General de Caminos y Ferrocarriles, 2008.
- . *Manual de Ensayo de Materiales / Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. Lima:
MTC, 2016.
- Norma Española UNE 41410. Madrid: AENOR, 2008.
- Ortuño Abad, Luis. «Conceptos Básicos sobre la Resistencia al Corte en los Suelos.» Madrid,
s.f.
- Parra Olivares, J. *Guia de Muestreo*. Maracaibo: Universidad de Zulia, 2003.
- Ramon de Manjarres, D. *Lecciones de Química Industrial Inorgánica*. Sevilla: Imprenta de la
Agricultura Española, 1860.
- Redolfi, Dr. Ing. Emilio R. 2007.
[https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Redolfi_2007_Suelos%20Colapsable
s.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Redolfi_2007_Suelos%20Colapsable%20s.pdf) (último acceso: Marzo de 2022).
- Reginatto. «"Predicción de la Susceptibilidad al Colapso"» Cordova, 1970.
- Rondón Quintana , Hugo Alexander, y Fredy Alberto Reyes Lizcano. *Pavimentos:
Materiales, construccion y diseño*. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2015.
- S/A. *Bardahl Industria*. s.f. [https://www.bardahlindustria.com/funcion-del-aceite-lubricante-
en-motor-de-avion/](https://www.bardahlindustria.com/funcion-del-aceite-lubricante-en-motor-de-avion/) (último acceso: Mayo de 2020).
- Wirsching, Franz. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Alemania, 1996.