



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“USO DE SUELO-CEMENTO COMO CAPA DE BASE EN
ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN LA PROVINCIA DEL AZUAY
CON SUELOS TIPO A4 A A7”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: MARLON ANDRES BRAVO JUMBO

KARLA DANIELA HUGO MANCILLA

**DIRECTOR: ING.MSC.CÉSAR HUMBERTO MALDONADO
NOBOA**

CUENCA-ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“USO DE SUELO-CEMENTO COMO CAPA DE BASE EN
ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN LA PROVINCIA DEL AZUAY
CON SUELOS TIPO A4 A A7”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTORES: MARLON ANDRES BRAVO JUMBO, KARLA DANIELA
HUGO MANCILLA**

DIRECTOR: ING.MSC.CÉSAR HUMBERTO MALDONADO

CUENCA-ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Marlon Andres Bravo Jumbo y **Karla Daniela Hugo Mancilla** portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0106988934** y **0302294269**. Declaramos ser autores de la obra: **“USO DE SUELO-CEMENTO COMO CAPA DE BASE EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN LA PROVINCIA DEL AZUAY CON SUELOS TIPO A4 A A7”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **11 de abril de 2023**

F: 
.....
Marlon Andres Bravo Jumbo
0106988934

F: 
.....
Karla Daniela Hugo Mancilla
0302294269

CERTIFICACIÓN

Yo **Ing. M.Sc César Humberto Maldonado Noboa** certifico la presente investigación **“USO DE SUELO-CEMENTO COMO CAPA DE BASE EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN LA PROVINCIA DEL AZUAY CON SUELOS TIPO A4 a A7”** realizado por el señor Marlon Andres Bravo Jumbo y Karla Daniela Hugo Mancilla Egresados de la facultad de Ingeniería Civil pertenecientes a la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.



Firmado electrónicamente por:
**CÉSAR HUMBERTO
MALDONADO NOBOA**

Ing. M.Sc César Humberto Maldonado Noboa

DEDICATORIA

MARLON

A mis padres Ángel y Mireya quienes con su sacrificio y esfuerzo fueron un pilar fundamental para cumplir este objetivo, a mi abuelito Antonio por brindarme su ayuda durante este proceso y en especial a Dios por ser mi guía y fortaleza.

KARLA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres Jaime y Columba, quienes, con gran sacrificio y esfuerzo, me han apoyado a lo largo de mi vida y de mi etapa universitaria, forjando mi camino y permitiéndome así culminar esta carrera profesional.

A mis hermanas Mayra, Amy y Tanya, quienes han sido mis cómplices y siempre han estado presentes apoyándome incondicionalmente, especialmente durante esta etapa.

AGRADECIMIENTO

MARLON

Agradezco a mis padres, abuelos, amigos y familiares que de una u otra manera aportaron en mi formación profesional, a mi compañera Erika por haberme apoyado durante este largo camino.

A mi amiga Karla gracias por tu paciencia y dedicación, ya que sin tus virtudes esto no fuera posible.

A los docentes de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Cuenca en especial al Ing. Cesar Humberto Maldonado Noboa, quien nos brindó su tiempo, conocimiento, experiencia y ayuda para la ejecución de esta investigación.

KARLA

Agradezco en primer lugar a Dios y a la Virgen por darme fortaleza a lo largo de este camino, a mis padres quienes son mi mayor ejemplo a seguir y mis mejores guías de vida. A mis hermanas por todos los consejos brindados, por estar conmigo en todo momento y no permitir que me rinda fácilmente.

A los docentes que formaron parte de mi carrera profesional, a quienes les debo mis conocimientos; gracias por su tolerancia, dedicación y perseverancia; especialmente al Ing. César Maldonado Noboa, quien siempre estuvo dispuesto a orientarnos y aconsejarnos para sobresalir, sin su paciencia y constancia este logro no hubiera sido posible, asimismo a los docentes laboratoristas al Ing. Marcos González y al Ing. Juan Monge.

A mis amigos por estar conmigo en las horas más difíciles, especialmente a Marlon, por apoyarme durante mi etapa universitaria y por su gran esfuerzo, perseverancia y sosiego en la realización de este proyecto.

RESUMEN

Una estructura de pavimento está conformada por capas que pueden ser, sub rasante, sub base, base y la capa de rodadura, entre otras; con el paso del tiempo existe una escasez en el suministro de materiales granulares extraídos de minas o canteras que sirven para conformar la estructura del pavimento. Proyectar la estabilización de suelos con cemento promueve el aprovechamiento de materiales disponibles de la zona de construcción del proyecto.

Esta investigación opta, por utilizar esta técnica, para determinar el porcentaje de cemento que permita mejorar las características del suelo. La investigación partió de suelos tipo A4 a A7, provenientes de las parroquias Ricaurte y Llaaco, el estudio se realizó a tres muestras de suelo, en estado natural y con adición del 9,10 y 11% de cemento. Una vez efectuados los ensayos de laboratorio, se determinó que el porcentaje del 11% de cemento es el que mejora mayormente las características de los suelos. En cuanto a su capacidad portante, se obtuvieron mejores resultados en la muestra del tercer suelo, con un valor de CBR de 48.90%, y así mismo se obtuvo un índice de plasticidad de 3.03%. A pesar de que hubo cambios y mejoras en las tres muestras de suelo, no lograron cumplir con todos los parámetros requeridos para considerarse como una base.

Palabras clave: base, suelo-cemento, estabilización, pavimento, factibilidad

ABSTRACT

A pavement structure comprises layers such as subgrade, subbase, base, and surface course, among others. Over time, there is a shortage in the supply of granular materials extracted from mines or quarries that are used to build the pavement structure. Designing soil stabilization with cement promotes the use of available materials in the construction area of the project.

This research chooses to use this technique to determine the percentage of cement that will improve soil characteristics. The research was based on soil types A4 to A7 from Ricaurte and Llaçao parishes. The study was carried out on three soil samples, in their natural state and with the addition of 9, 10, and 11% cement. After the laboratory tests were conducted, it was determined that the 11% cement percentage is the one that improves the soil characteristics the most. In terms of bearing capacity, better results were obtained in the sample of the third soil, with a CBR (California Bearing Ratio) value of 48.90%, and a plasticity index of 3.03% was obtained. Although there were changes and improvements in the three soil samples, they failed to meet all the parameters required to be considered as a base.

Keywords: base, soil-cement, stabilization, pavement, feasibility

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	CAPÍTULO I. GENERALIDADES	18
1.1.	INTRODUCCIÓN	18
1.2.	ANTECEDENTES	20
1.3.	OBJETIVOS	22
1.3.1.	GENERAL	22
1.3.2.	ESPECÍFICOS	22
1.4.	EL PROBLEMA.....	23
1.4.1.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.4.2.	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	25
1.5.	JUSTIFICACIÓN	25
1.6.	DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	26
2.	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA.....	30
2.1.	MARCO TEÓRICO	30
2.1.1.	PAVIMENTO.....	30
2.1.1.1.	TIPOS DE PAVIMENTO.....	31
2.1.2.	SUELO	33
2.1.3.	AASHTO	33
2.1.4.	SUCS	33
2.1.5.	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	33
2.1.5.1.	CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL MÉTODO AASHTO M-145	34
2.1.5.2.	CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS	36
2.1.6.	CEMENTO.....	38
2.1.6.1.	CEMENTO HIDRÁULICO	38
2.1.6.2.	TIPOS DE CEMENTO.....	39
2.1.7.	ESTABILIZACIÓN	40
2.1.8.	MATERIALES GRANULARES	40
2.1.9.	SUELO-CEMENTO.....	43
2.1.9.1.	USO DE SUELO-CEMENTO	43
2.1.9.2.	VENTAJAS DEL USO DEL SUELO-CEMENTO.....	44
2.1.9.3.	DESVENTAJAS DEL USO DEL SUELO-CEMENTO	45
2.1.10.	COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CAPAS	45
2.1.11.	COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE BASES TRATADAS CON CEMENTO	46
2.1.12.	ENSAYOS DE SUELOS	48
2.1.13.	ENSAYOS POR REALIZAR.....	48
2.1.14.	UBICACIÓN DE LAS ZONAS DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.....	54
2.1.15.	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CEMENTO A ADICIONAR	61
2.2.	METODOLOGÍA	62
3.	CAPÍTULO III. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS	64
3.1.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MECÁNICO Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	64
3.1.1.	Muestra de suelo 1	64
3.1.2.	Muestra de suelo 2	66
3.1.3.	Muestra de suelo 3	67
3.2.	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO (LL).....	68
3.2.1.	Muestra de suelo 1	70
3.2.2.	Muestra de suelo 2	74
3.2.3.	Muestra de suelo 3	78
3.3.	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (LP)	82
3.3.1.	Muestra de suelo 1	84

3.3.2.	Muestra de suelo 2	86
3.3.3.	Muestra de suelo 3	88
3.4.	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD	90
3.5.	ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	91
3.5.1.	Muestra de suelo 1	94
3.5.2.	Muestra de suelo 2	96
3.5.3.	Muestra de suelo 3	98
3.6.	ENSAYO CBR	100
3.6.1.	Muestra de suelo 1	103
3.6.2.	Muestra de suelo 2	109
3.6.3.	Muestra de suelo 3	115
3.7.	ENSAYO DE COMPRESIÓN Y OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CAPAS	121
3.7.1.	Muestra de suelo 1	124
3.7.2.	Muestra de suelo 2	126
3.7.3.	Muestra de suelo 3	127
3.8.	ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA.....	128
4.	CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	134
4.1.1.	Clasificación de suelos	134
4.1.1.1.	Muestra de suelo 1.....	134
4.1.1.2.	Muestra de suelo 2	136
4.1.1.3.	Muestra de suelo 3	137
4.1.2.	Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad	139
4.1.2.1.	Muestra de suelo 1.....	139
4.1.2.2.	Muestra de suelo 2	140
4.1.2.3.	Muestra de suelo 3	141
4.1.2.4.	Análisis de Límite Líquido e Índice de plasticidad	142
4.1.3.	Ensayo Proctor modificado	142
4.1.4.	Ensayo CBR.....	143
4.1.4.1.	Muestra de suelo 1.....	143
4.1.4.2.	Muestra de suelo 2	145
4.1.4.3.	Muestra de suelo 3	147
4.1.5.	Ensayo de Compresión y Coeficiente Estructural	150
4.1.5.1.	Muestra de suelo 1.....	150
4.1.5.2.	Muestra de suelo 2	152
4.1.5.3.	Muestra de suelo 3	154
4.1.6.	Ensayo equivalente de arena.....	155
4.2.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	157
4.2.1.	Conclusiones	157
4.2.2.	Recomendaciones	159
4.3.	BIBLIOGRAFÍA.....	160
4.4.	ANEXOS	165
4.4.1.	Anexos Fotográficos.....	165
4.4.2.	Anexos de Laboratorio.....	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Documentos relacionados con la técnica base suelo-cemento	20
Tabla 2 Clasificación de suelos por el método AASHTO	35
Tabla 3 Tipos de cemento.....	39
Tabla 4 Características de una base.....	41
Tabla 5 Características de una sub base	42
Tabla 6 Características del material de mejoramiento	42
Tabla 7 Coeficiente de capas - Diseño estructural de pavimentos flexibles	47
Tabla 8 Grado de plasticidad del suelo.....	50
Tabla 9 Límites para la resistencia de suelo-cemento a la compresión.....	52
Tabla 10 Porcentajes mínimos requeridos para el ensayo equivalente de arena.....	53
Tabla 11 Coordenadas del punto de extracción 1	54
Tabla 12 Coordenadas del punto de extracción 2	56
Tabla 13 Coordenadas del punto de extracción 3	59
Tabla 14 Características del mejoramiento	61
Tabla 15 Ensayos a realizar en laboratorio, según la muestra de suelo	63
Tabla 16 Resultados del análisis granulométrico de la muestra de suelo 1.....	64
Tabla 17 Resultados del análisis granulométrico de la muestra de suelo 2.....	66
Tabla 18 Resultados del análisis granulométrico de la muestra de suelo 3	67
Tabla 19 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 en estado natural	70
Tabla 20 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 con 9% de cemento	71
Tabla 21 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 con 10% de cemento	72
Tabla 22 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 con 11% de cemento.....	73
Tabla 23 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 en estado natural.....	74
Tabla 24 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 con 9% de cemento	75
Tabla 25 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 con 10% de cemento	76
Tabla 26 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 con 11% de cemento	77
Tabla 27 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 3 en estado natural.....	78
Tabla 28 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 3 con 9% de cemento	79
Tabla 29 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 3 con 10% de cemento	80
Tabla 30 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 3 con 11% de cemento	81
Tabla 31 Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 en estado natural.....	84
Tabla 32 Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 1 con 9% de cemento.....	85
Tabla 33 Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 1 con 10% de cemento.....	85

Tabla 34	Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 1 con 11% de cemento	86
Tabla 35	Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 en estado natural.....	86
Tabla 36	Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 2 con 9% de cemento	87
Tabla 37	Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 2 con 10% de cemento.....	87
Tabla 38	Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 2 con 11% de cemento	88
Tabla 39	Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 3 en estado natural	88
Tabla 40	Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 3 con 9% de cemento	89
Tabla 41	Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 3 con 10% de cemento	89
Tabla 42	Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 3 con 11% de cemento	90
Tabla 43	Resultados del ensayo del índice de plasticidad de la muestra de suelo 1.....	90
Tabla 44	Resultados del ensayo del índice de plasticidad de la muestra de suelo 2	91
Tabla 45	Resultados del ensayo del índice de plasticidad de la muestra de suelo 3.....	91
Tabla 46	Resultados de la obtención de densidad húmeda de la muestra de suelo 1	94
Tabla 47	Resultados de la obtención de densidad seca de la muestra de suelo 1	94
Tabla 48	Resultados de la obtención de densidad húmeda de la muestra de suelo 2	96
Tabla 49	Resultados de la obtención de densidad seca de la muestra de suelo 2.....	96
Tabla 50	Resultados de la obtención de densidad húmeda de la muestra de suelo 3	98
Tabla 51	Resultados de la obtención de densidad seca de la muestra de suelo 3	98
Tabla 52	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 1 en estado natural	103
Tabla 53	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 en estado natural	103
Tabla 54	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 1 con 9% de cemento.....	104
Tabla 55	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 9% de cemento	105
Tabla 56	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 1 con 10% de cemento	106
Tabla 57	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 10% de cemento	106
Tabla 58	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 1 con 11% de cemento	107
Tabla 59	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 11% de cemento	108
Tabla 60	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 2 en estado natural	109
Tabla 61	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 en estado natural.....	109
Tabla 62	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 2 con 9% de cemento	110
Tabla 63	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 9% de cemento	111
Tabla 64	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 2 con 10% de cemento	112
Tabla 65	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 10% de cemento	112
Tabla 66	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 2 con 11% de cemento	113
Tabla 67	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 11% de cemento	113
Tabla 68	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 3 en estado natural	115
Tabla 69	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 en estado natural	115

Tabla 70	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 3 con 9% de cemento	116
Tabla 71	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 9% de cemento	116
Tabla 72	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 3 con 10% de cemento.....	118
Tabla 73	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 10% de cemento.....	118
Tabla 74	Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 3 con 11% de cemento	119
Tabla 75	Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 11% de cemento	119
Tabla 76	Resultados del ensayo de comprensión de la muestra de suelo 1 mediante curado sumergido	124
Tabla 77	Resultados del ensayo de comprensión de la muestra de suelo 1 mediante curado por capilaridad	125
Tabla 78	Resultados promedio del ensayo de comprensión de la muestra de suelo 1 con los dos tipos de curado.....	125
Tabla 79	Resultados del ensayo de comprensión de la muestra de suelo 2 mediante curado sumergido	126
Tabla 80	Resultados del ensayo de comprensión de la muestra de suelo 2 mediante curado por capilaridad	126
Tabla 81	Resultados promedio del ensayo de comprensión de la muestra de suelo 2 con los dos tipos de curado.....	126
Tabla 82	Resultados del ensayo de comprensión de la muestra de suelo 3 mediante curado sumergido	127
Tabla 83	Resultados del ensayo de comprensión de la muestra de suelo 3 mediante curado por capilaridad	127
Tabla 84	Resultados promedio del ensayo de comprensión de la muestra de suelo 3 con los dos tipos de curado.....	128
Tabla 85	Resultados del ensayo equivalente de arena	133
Tabla 86	Clasificación de la muestra de suelo 1 según el método AASHTO	134
Tabla 87	Clasificación de la muestra de suelo 1 según el método SUCS	135
Tabla 88	Clasificación de la muestra de suelo 2 según el método AASHTO	136
Tabla 89	Clasificación de la muestra de suelo 2 según el método SUCS	136
Tabla 90	Clasificación de la muestra de suelo 3 según el método AASHTO	137
Tabla 91	Clasificación de la muestra de suelo 3 según el método SUCS	138
Tabla 92	Comparación de los resultados del ensayo Proctor modificado.....	142
Tabla 93	Comparación de los resultados del ensayo CBR de la muestra de suelo 1.....	143
Tabla 94	Porcentajes de CBR proyectados de la muestra de suelo 1.....	144
Tabla 95	Comparación de los resultados del ensayo CBR de la muestra de suelo 2	145
Tabla 96	Porcentajes de CBR proyectados de la muestra de suelo 2	147
Tabla 97	Comparación de los resultados del ensayo CBR de la muestra de suelo 3.....	147
Tabla 98	Porcentajes de CBR proyectados de la muestra de suelo 3	149
Tabla 99	Comparación de los resultados de las presiones y coeficientes estructurales de la muestra de suelo 1.....	150
Tabla 100	Presión a los 7 días y presión proyectada a los 28 días de la muestra de suelo 1.....	151

Tabla 101 Comparación de los resultados de las presiones y coeficientes estructurales de la muestra de suelo 2	152
Tabla 102 Presión a los 7 días y presión proyectada a los 28 días de la muestra de suelo 2.....	153
Tabla 103 Comparación de los resultados de las presiones y coeficientes estructurales de la muestra de suelo 3	154
Tabla 104 Presión a los 7 días y presión proyectada a los 28 días de la muestra de suelo 3	155
Tabla 105 Comparación de los porcentajes del ensayo equivalente de arena de cada muestra de suelo .	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de suelos de la ciudad de Cuenca.....	27
Figura 2 Zona de estudio.....	28
Figura 3 Leyenda de los suelos pertenecientes la zona de estudio	28
Figura 4 Zona de extracción de muestras	29
Figura 5 Estructura del pavimento flexible.....	31
Figura 6 Estructura del pavimento articulado.....	32
Figura 7 Cuadro de plasticidad	37
Figura 8 Cuadro de plasticidad	46
Figura 9 Coordenadas del punto de extracción 1.....	55
Figura 10 Limpieza de la capa vegetal de la muestra 1	55
Figura 11 Extracción de la muestra de suelo 1	56
Figura 12 Coordenadas del punto de extracción 2	57
Figura 13 Limpieza de la capa vegetal de la muestra 2	57
Figura 14 Extracción de la muestra de suelo 2	58
Figura 15 Clasificación geológica de la parroquia Llacao	59
Figura 16 Coordenadas del punto de extracción 2	60
Figura 17 Limpieza de la capa vegetal de la muestra 3	60
Figura 18 Extracción de la muestra de suelo 3	61
Figura 19 Curva granulométrica de la muestra de suelo 1	65
Figura 20 Curva granulométrica de la muestra de suelo 2.....	66
Figura 21 Curva granulométrica de la muestra de suelo 3.....	67
Figura 22 Implementos a utilizar para el ensayo de Límites de Atterberg.....	68
Figura 23 Colocación de la muestra en la cuchara de Casagrande.....	69
Figura 24 Realización del ensayo Límite Líquido	69
Figura 25 Ranura de la muestra de suelo	70
Figura 26 Gráfica del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 en estado natural	71
Figura 27 Gráfica del ensayo de límite líquido con 9% de cemento	72
Figura 28 Gráfica del ensayo de límite líquido con 10% de cemento.....	73
Figura 29 Gráfica del ensayo de límite líquido con 11% de cemento	74
Figura 30 Gráfica del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 en estado natural.....	75
Figura 31 Gráfica del ensayo de límite líquido con 9% de cemento	76
Figura 32 Gráfica del ensayo de límite líquido con 10% de cemento.....	77
Figura 33 Gráfica del ensayo de límite líquido con 11% de cemento	78
Figura 34 Gráfica del ensayo de límite líquido en estado natural.....	79

Figura 35 Gráfica del ensayo de límite líquido con 9% de cemento.....	80
Figura 36 Gráfica del ensayo de límite líquido con 10% de cemento.....	81
Figura 37 Gráfica del ensayo de límite líquido con 11% de cemento.....	82
Figura 38 Realización de rollos.....	83
Figura 39 División de rollos.....	83
Figura 40 Muestras naturales y estabilizadas para determinación del límite plástico.....	84
Figura 41 Trituración del material.....	92
Figura 42 Tamizado del material.....	92
Figura 43 Pesaje del material.....	93
Figura 44 Realización del ensayo Proctor.....	93
Figura 45 Obtención de la humedad óptima de la muestra de suelo 1.....	95
Figura 46 Obtención de la humedad óptima de la muestra de suelo 2.....	97
Figura 47 Obtención de la humedad óptima de la muestra de suelo 3.....	99
Figura 48 Preparación de la muestra para ensayo CBR.....	101
Figura 49 Compactación de la muestra para ensayo CBR.....	101
Figura 50 Encerado de la muestra mediante el deformímetro.....	102
Figura 51 Sumergido de las muestras en agua.....	102
Figura 52 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 en estado natural.....	104
Figura 53 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 9% de cemento.....	105
Figura 54 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 10% de cemento.....	107
Figura 55 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 11% de cemento.....	108
Figura 56 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 en estado natural.....	110
Figura 57 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 9% de cemento.....	111
Figura 58 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 10% de cemento.....	112
Figura 59 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 11% de cemento.....	114
Figura 60 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 en estado natural.....	115
Figura 61 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 9% de cemento.....	117
Figura 62 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 10% de cemento.....	118
Figura 63 Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 11% de cemento.....	120
Figura 64 Pesaje de la muestra a ensayar.....	121
Figura 65 Compactación para el ensayo de compresión simple.....	122
Figura 66 Envoltura de las muestras con papel film.....	122
Figura 67 Colocación de las muestras para el curado sumergido.....	123
Figura 68 Colocación de las muestras para el curado por capilaridad.....	123
Figura 69 Colocación de las muestras en el horno luego del curado.....	124
Figura 70 Medida de h1 y h2.....	129

Figura 71 Solución stock	130
Figura 72 Probetas con la solución stock	130
Figura 73 Agitado manual de la probeta con la muestra de suelo y la solución stock	131
Figura 74 Reposo de las muestras preparadas	131
Figura 75 Colocación de la solución stock para limpiar las paredes de la probeta.....	132
Figura 76 Toma de lecturas con ayuda de la varilla con lastre	132
Figura 77 Muestras preparadas y ensayadas	133
Figura 78 Comparación entre los ensayos de límite líquido, plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo 1	139
Figura 79 Comparación entre los ensayos de límite líquido, plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo 2.....	140
Figura 80 Comparación entre los ensayos de límite líquido, plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo 3.....	141
Figura 81 Proyección del CBR con adicción de mayor porcentaje de cemento de la muestra de suelo 1	144
Figura 82 Proyección del CBR con adicción de mayor porcentaje de cemento de la muestra de suelo 2	146
Figura 83 Proyección del CBR con adicción de mayor porcentaje de cemento de la muestra de suelo 3	148

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Zona de extracción de la muestra	165
Anexo 2 Secado del material	165
Anexo 3 Lavado del material.....	166
Anexo 4 Material resultante después del lavado	166
Anexo 5 Tamizado mecánico del material.....	167
Anexo 6 Homogeneización del material.....	167
Anexo 7 Tamizado manual del material	167
Anexo 8 Pesaje del material	168
Anexo 9 Pesaje del material para realización del ensayo	168
Anexo 10 Pesaje del cemento.....	168
Anexo 11 Probeta de agua con la cantidad de agua a adicionar en el ensayo	169
Anexo 12 Enrasado del material	169
Anexo 13 Enrasado del material	169
Anexo 14 Muestras preparadas para ser sumergidas para ensayo CBR.....	170
Anexo 15 Encerado de la deformación de las muestras	170
Anexo 16 Sumergido de las muestras.....	170
Anexo 17 Escurrimiento de las muestras después del remojo	171
Anexo 18 Pesaje de la muestra después del remojo	171
Anexo 19 Realización del ensayo CBR.....	171
Anexo 20 Pesaje del material con la adición de cemento	172
Anexo 21 Muestra preparada para ensayo Proctor.....	172
Anexo 22 Colocación de las muestras para ser escurridas.....	172
Anexo 23 Proceso de escurrimiento	173
Anexo 24 Envoltura de las muestras para ensayo de Compresión Simple	173
Anexo 25 Muestras envueltas para el proceso de curado	173
Anexo 26 Curado sumergido	174
Anexo 27 Curado por capilaridad	174
Anexo 28 Realización del ensayo de Compresión Simple.....	174
Anexo 29 Ensayo de Compresión Simple	175
Anexo 30 Residuos de las muestras del ensayo de compresión	175
Anexo 31 Desmolde de las muestras de suelo.....	175
Anexo 32 Muestras de suelo desmoldadas	176
Anexo 33 Colocación de muestras en el horno	176
Anexo 34 Secado de muestras en la hornilla para ensayo Equivalente de arena	176

Anexo 35	Pesaje de las muestras de suelo para ensayo Equivalente de arena	177
Anexo 36	Muestra de suelo con adición de cemento	177
Anexo 37	Ensayo Equivalente de arena	177
Anexo 38	Ensayo: Granulometría y Clasificación de suelos de la muestra de suelo 1	178
Anexo 39	Ensayo: Granulometría y Clasificación de suelos de la muestra de suelo 2	179
Anexo 40	Ensayo: Granulometría y Clasificación de suelos de la muestra de suelo 3.....	180
Anexo 41	Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 1 – Anexo 1.....	181
Anexo 42	Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 1 – Anexo 2.....	182
Anexo 43	Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 2 – Anexo 1.....	183
Anexo 44	Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 2 – Anexo 2	184
Anexo 45	Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 3 – Anexo 1.....	185
Anexo 46	Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 3 – Anexo 2	186
Anexo 47	Ensayo: Compactación de la muestra de suelo 1.....	187
Anexo 48	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 1	187
Anexo 49	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 2.....	188
Anexo 50	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 3.....	189
Anexo 51	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 4.....	190
Anexo 52	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 5	191
Anexo 53	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 6	192
Anexo 54	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 7	193
Anexo 55	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 8	194
Anexo 56	Ensayo: Compactación de la muestra de suelo 2	195
Anexo 57	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 1	195
Anexo 58	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 2	196
Anexo 59	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 3.....	197
Anexo 60	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 4	198
Anexo 61	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 5	199
Anexo 62	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 6	200
Anexo 63	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 7.....	201
Anexo 64	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 8	202
Anexo 65	Ensayo: Compactación de la muestra de suelo 3	203
Anexo 66	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 1.....	203
Anexo 67	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 2.....	204
Anexo 68	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 3	205
Anexo 69	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 4	206
Anexo 70	Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 5.....	207

Anexo 71 Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 6	208
Anexo 72 Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 7	209
Anexo 73 Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 8.....	210

1 CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

La construcción de proyectos en el mundo demanda la utilización de materiales no renovables obtenidos de canteras y minas, tal es el caso de la producción de suelos granulares como mejoramiento, sub bases, bases, entre otros; la cual provoca sobreexplotación de ríos y bancos de materiales. Como consecuencia en los últimos años se ha evidenciado la escasez de estos en Ecuador, así como en la provincia del Azuay.

Es importante mencionar que la obtención de materiales como una base granular generalmente utilizada en estructuras de pavimentos, conlleva un complejo proceso de producción, por lo que es necesario buscar alternativas viables, técnicamente que logren el remplazo parcial o total de materiales de la corteza terrestre o de los ríos que son utilizados en proyectos viales, permitiendo así cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible. Una de las alternativas a analizar, es el remplazo de la base granular por suelo estabilizado con cemento, que se colocará como capa de soporte por debajo de la capa de rodadura de hormigón asfáltico, aprovechando los materiales existentes en la zona. Para ello se prevé estudiar suelos de las parroquias Ricaurte y LLacoo, con una clasificación entre A4 a A7 según la AASHTO, para buscar el porcentaje óptimo de cemento que permita la utilización como capa de base.

Dicho material puede ser usado mediante la técnica de estabilización suelo-cemento, que consiste en la adición de diferentes porcentajes de cemento al suelo natural, según su clasificación. Para ello será necesario realizar los respectivos ensayos a cada muestra de suelo, utilizando técnicas correctas y procedimientos adecuados en base a normativas nacionales e internacionales (INEN, INVE, ASTM, AASHTO), para verificar los cambios que se dan en sus propiedades mecánicas.

Basándose en dicha técnica, existen varias investigaciones que garantizan su uso en estructuras de pavimento, en Ecuador, en la ciudad de Guayaquil, el Ing. Claudio Cevallos y el Ing. José de la Cruz diseñaron la mezcla suelo-cemento con distintas dosificaciones de cemento, obteniendo una resistencia óptima según la norma con un porcentaje de 8%, garantizando así su uso en proyectos viales (Cevallos Chávez et al., 2021).

Con el desarrollo de esta investigación se busca verificar la factibilidad del uso del suelo cemento en estructuras de pavimento asfáltico.

1.2. ANTECEDENTES

En la siguiente tabla se mencionan algunas investigaciones, tesis y trabajos relevantes acerca de la utilización del suelo-cemento en estructuras de pavimento.

Tabla 1

Documentos relacionados con la técnica base suelo-cemento

Título	Resumen	Resultados	Fuente
“Estudio del comportamiento de las bases de pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca y su influencia en el diseño” (Murillo, 2010).	En Cuenca, Ecuador se estabilizó una base granular con la adición del 7% de cemento a los materiales granulares (Murillo, 2010).	Los valores del CBR incrementaron con la adición de cemento, la resistencia aumentó, disminuyó la plasticidad, hubo menor deformabilidad, menor permeabilidad y reducción de los efectos de bombeo en el pavimento (Murillo, 2010).	(Murillo, 2010)
“Análisis de estabilización de suelos con cemento, en componentes estructurales para diseño equivalente de pavimentos rígidos, segmentados y flexibles en vías de bajo volumen de tránsito” (Mamani Miramira, 2018).	En Perú se determinó la influencia que tiene la estabilización de suelos con cemento en capas estructurales en el diseño de pavimento rígido, segmentado y flexible, en vías de bajo volumen de tránsito (Mamani Miramira, 2018).	La estabilización de suelo-cemento ayudó a reducir espesores de los componentes estructurales de la vía, incrementó la resistencia del CBR y aumentó el coeficiente estructural, siendo una opción viable técnica y económicamente (Mamani Miramira, 2018).	(Mamani Miramira, 2018)
“Diseño de base granular suelo cemento usando agregados de la Cantera Cáceres Para la carretera Juliaca – Caminaca” (Paricanaza Jala & Roque Cáceres, 2021).	En Perú se realizó el diseño de la base granular suelo-cemento para mejorar la resistencia y cumplir con los parámetros establecidos (Paricanaza Jala & Roque Cáceres, 2021).	Se demostró que la estabilización con cemento alcanzó una mejor resistencia, asimismo se obtuvo una pérdida de peso, logrando mayor durabilidad ante cambios climáticos (Paricanaza Jala & Roque Cáceres, 2021).	(Paricanaza Jala & Roque Cáceres, 2021)
“Diseño del suelo-cemento y su aplicación como material de sitio para	En Ecuador, en la ciudad de Guayaquil se diseñó la mezcla suelo-cemento con la	Se verificó que la adición de cemento mejora considerablemente las propiedades mecánicas del	(Cevallos Chávez et al., 2021)

<p>la construcción del camino vecinal del recinto zapán” (Cevallos Chávez et al., 2021). “Estabilización de suelos, empleando la técnica suelo cemento, en la trocha carrozable, tramo Honkopampa –Pashpa, San Miguel de Aco-Carhuaz, 2021” (Guardia Benancio & Gutierrez Colonia, 2021).</p>	<p>dosificación óptima para la construcción de caminos vecinales (Cevallos Chávez et al., 2021). En Perú se mejoró una carretera empleando la estabilización del suelo con la técnica suelo-cemento (Guardia Benancio & Gutierrez Colonia, 2021).</p>	<p>suelo (Cevallos Chávez et al., 2021). Hubo mejoras en el comportamiento estructural de la vía, corroborando que la adición del 3% y el 5% de cemento son los porcentajes más adecuados (Guardia Benancio & Gutierrez Colonia, 2021).</p>	<p>(Guardia Benancio & Gutierrez Colonia, 2021)</p>
<p>“Uso de la técnica base suelo cemento en el pavimento flexible de la Av. Los Algarrobos entre Av. R y Av. Las amapolas -26 de octubre – Piura” (Calle Rentería & Olivera Velásquez, 2019).</p>	<p>En Perú se evaluó el uso de la técnica base suelo-cemento en pavimento flexible en dos avenidas (Calle Rentería & Olivera Velásquez, 2019).</p>	<p>La técnica utilizada fue factible debido a la buena capacidad de soporte, reducción de espesores y los costos de la base suelo-cemento fueron menores en un 55% al de la base granular (Calle Rentería & Olivera Velásquez, 2019).</p>	<p>(Calle Rentería & Olivera Velásquez, 2019)</p>
<p>“Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín” (García-Toro & others, 2019).</p>	<p>En Colombia se realizó un estudio de la mezcla suelo-cemento y su comportamiento mecánico en suelo tipo caolín, adicionando diferentes porcentajes de cemento., para determinar la incidencia que tiene en suelos blandos. (García-Toro & others, 2019).</p>	<p>Se comprobó que, al añadir cemento al suelo fino, en este caso el caolín, su resistencia aumentó considerablemente, ya que el cemento actúa como agente estabilizador de suelos (García-Toro & others, 2019).</p>	<p>(García-Toro & others, 2019)</p>

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. GENERAL

Determinar la factibilidad del uso de suelos tipo A4 a A7 estabilizados con cemento en reemplazo de la base granular en un pavimento.

1.3.2. ESPECÍFICOS

- Identificar las zonas con predominancia de suelos tipo A4 a A7 en la Provincia del Azuay, para determinar los sitios de extracción de muestras en las parroquias Ricaurte y Llacao.
- Realizar ensayos mecánicos para determinar las propiedades de los suelos A4 a A7.
- Determinar el porcentaje óptimo de adición de cemento que mejore las condiciones iniciales del suelo, para su uso como capa de base en un pavimento.
- Correlacionar los datos y resultados de los ensayos del suelo en estado natural con el suelo estabilizado, para verificar los cambios en las propiedades mecánicas.
- Obtener los coeficientes estructurales de suelo cemento, para compararlos con los de la base granular.

1.4. EL PROBLEMA

1.4.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La situación en la provincia del Azuay es preocupante debido a la escasez de minas y canteras de recursos materiales; con el paso del tiempo se presentan mayores necesidades y requerimientos, lo que también significa limitantes en la búsqueda constante de fuentes que abastezcan los proyectos de construcción (La Hora, 2007).

Se estima que la producción diaria en una cantera oscila entre 350 a 500 m³ aproximadamente de material de base, de 800 a 1000 m³ de material de mejoramiento y entre 700 a 900 m³ de material de sub base; normalmente el costo de una base es mucho más elevado que los otros dos materiales, según información recibida de la cantera “Graiman”, actualmente el precio de la base sin incluir transporte, bordea los \$15.5 el metro cúbico.

El proceso de producción de una base granular en una cantera, comienza con la explotación del material utilizando un tractor para fragmentar las rocas y posteriormente el empuje del material hacia la parte inferior, una vez que el material se encuentra en la superficie, se procede a fracturar las rocas de mayor tamaño para transportarlas mediante volquetas y se puedan introducir en la trituradora de menor tamaño, a continuación el material es depositado en una tolva para dirigirse hacia una zaranda y mediante bandas traslada el material hacia un cono, para obtener el producto final (Alvarado, 2021).

A causa de las dificultades que implican la producción de una base, es necesario buscar alternativas que solventen dichos inconvenientes, con la finalidad de minimizar el impacto que genera la producción de áridos y materiales granulares en el medio ambiente.

Por ello, los autores determinarán la posibilidad de reemplazar la base granular por suelo-cemento usando suelos predominantes en la Ciudad de Cuenca con una clasificación de A4 a A7 según la AASHTO, con la finalidad de aprovechar el material que se encuentra en la sub rasante,

mejorando las propiedades mecánicas del material existente y su utilización como material granular previo a la colocación de un pavimento.

La finalidad será cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), haciendo referencia al número 9 correspondiente a “Industria, innovación e infraestructuras, el cual se basa en construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación” (Naciones Unidas, s. f.); de igual manera al número 12 que se fundamenta en “garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles” (Naciones Unidas, s. f.); esto se lograría mediante la utilización de un material no convencional como capa de base sin necesidad de conseguir materiales granulares provenientes de minas obteniendo así, una reducción de costos por las actividades y rubros que no se realizarán, además como consecuencia de la explotación en las canteras se reduciría en gran cantidad los impactos y la afección generada en el medio ambiente, cumpliendo con los objetivos número 13 y 15 de desarrollo sostenible, que establecen “adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, y gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad” (Naciones Unidas, s. f.). Lo que conllevaría a un ahorro de material y por consiguiente las escombreras estarían menos saturadas debido a que no habría material por desalojar.

1.4.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Con lo anteriormente expuesto, es evidente que existe escasez de bancos de materiales, lo que perjudica potencialmente en la obtención de la base granular, asimismo este conlleva un proceso complejo de producción, por lo que, es necesario buscar alternativas que la sustituyan.

Por ello se determinará la posibilidad del uso del suelo cemento como capa de base en estructuras de pavimento, para lo cual se realizarán los ensayos en tres tipos de suelo que se encuentren dentro de la zona de estudio, con una clasificación entre A4 a A7, ensayando tres muestras por cada tipo de suelo, con adición de diferentes porcentajes de cemento.

Posteriormente se correlacionarán y compararán los resultados obtenidos, tanto para sus propiedades mecánicas como para el coeficiente estructural.

1.5. JUSTIFICACIÓN

En la presente investigación se analiza la técnica de estabilización suelo-cemento en suelos tipo A4 a A7, ya que presentan mayor predominancia en la Provincia del Azuay, además de su deficiente comportamiento frente a cargas y al estar en contacto con el agua. Al tratarse de suelos arcillosos se requiere determinar la mejora de las propiedades mecánicas con la adición de diferentes porcentajes de cemento, con la finalidad de utilizarlo como capa de base en pavimentos.

La justificación se basa en generar una alternativa ante la falta de material granular para la producción de base, de manera que con la situación por suelo-cemento se determine su posible uso en estructuras de pavimentos y a la vez sea una opción para poder aprovechar el material de la sub rasante.

Los beneficios de esta alternativa se fundamentan en la disminución de la sobreexplotación en las canteras, menor saturación de las escombreras y menor contaminación ambiental.

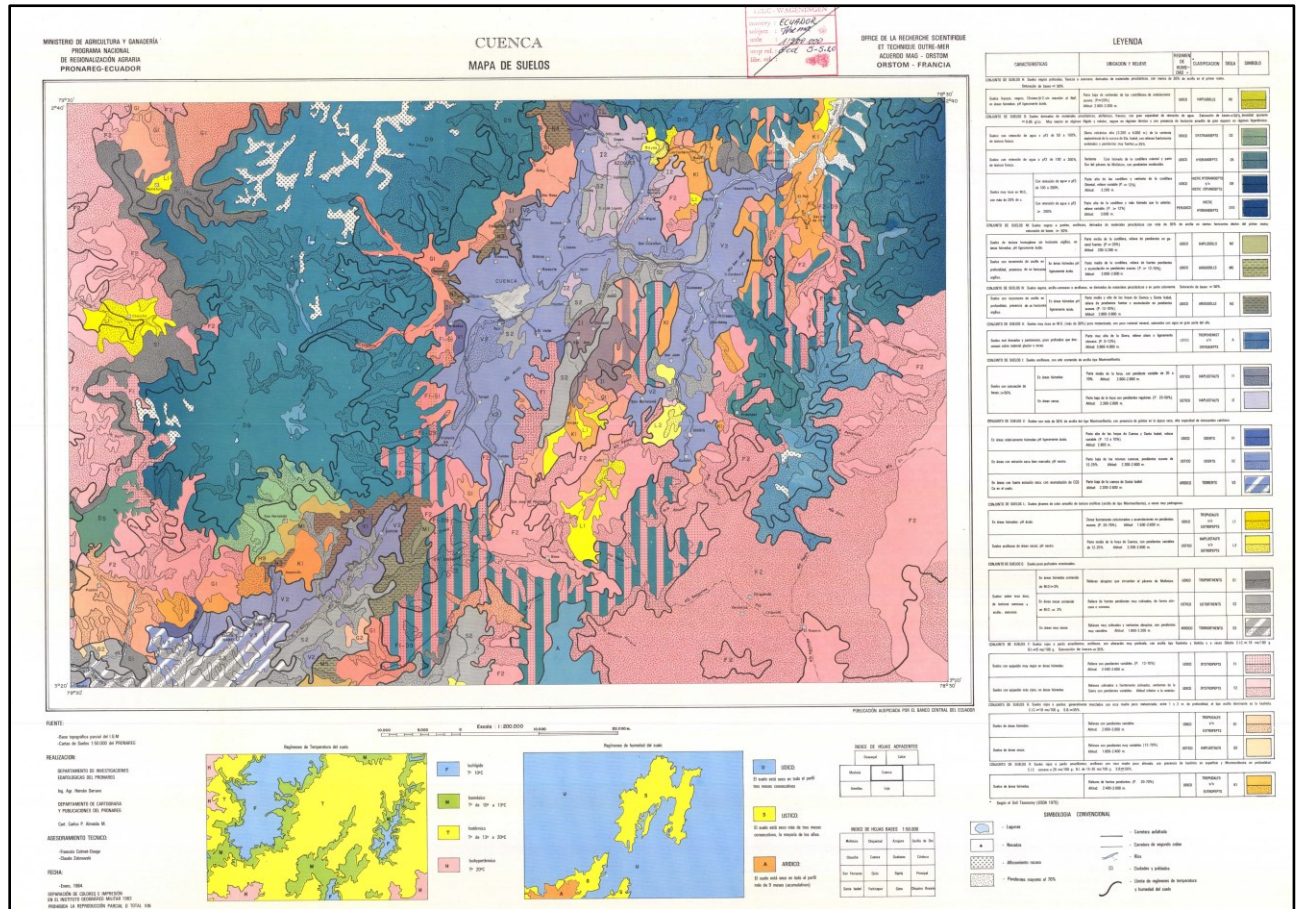
Por otra parte, se podrá establecer el comportamiento del suelo-cemento en los ensayos de compresión y CBR, obteniendo así la resistencia máxima con los distintos porcentajes de cemento.

1.6. DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Según el mapa geológico que se presenta en la figura 1 obtenida del IGM, cartografía 1:50.000, se determinó que la zona de estudio corresponde a las parroquias de Ricaurte y LLacao (Figura 2), tomando en cuenta la clasificación de los suelos que prevalecen en la provincia del Azuay, dentro de la clasificación A4 a A7, debido a que dichas zonas están constituidas por depósitos aluviales finos, que cumplen con la clasificación mencionada.

Figura 1

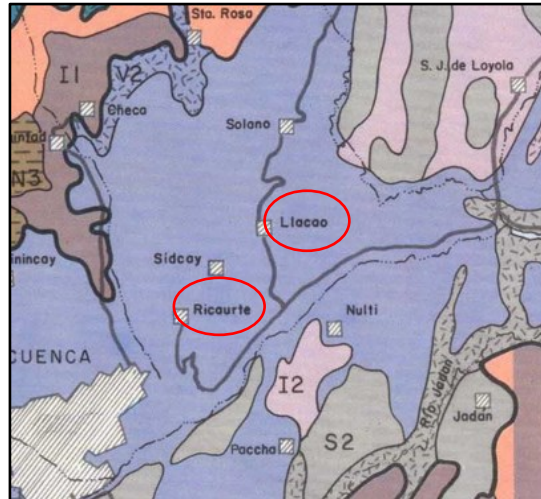
Mapa de suelos de la ciudad de Cuenca



Nota. (IDE, 2017)

Figura 2

Zona de estudio



Nota. (IDE, 2017)

Como se observa en la figura 3, los colores con tendencia a morado corroboran la existencia de este tipo de suelos en la zona de estudio antes mencionada.

Figura 3

Legenda de los suelos pertenecientes la zona de estudio

CONJUNTO DE SUELOS I: Suelos arcillosos, con alto contenido de arcilla tipo Montmorillonita.						
Suelos con saturación de bases. >50%.	En áreas húmedas.	Parte media de la hoya, con pendiente variable de 20 a 70%. Altitud: 2.800-2.800 m.	USTICO	HAPLUSTALFS	I1	
	En áreas secas.	Parte baja de la hoya con pendientes regulares. (P. 20-50%). Altitud: 2.300-2.800 m.	USTICO	HAPLUSTALFS	I2	
CONJUNTO DE SUELOS V: Suelos con más de 30% de arcilla del tipo Montmorillonita, con presencia de grietas en la época seca, alta capacidad de intercambio catiónico.						
En áreas relativamente húmedas pH ligeramente ácido.	Parte alta de las hoyas de Cuenca y Santa Isabel, relieve variable. (P. 12 a 70%). Altitud: 2.800 m.	UDICO	UDERTS	V1		
En áreas con estación seca bien marcada; pH neutro.	Parte baja de las mismas cuencas, pendientes suaves de 12-25%. Altitud: 2.200-2.800 m.	USTICO	UDERTS	V2		
En áreas con fuerte estación seca, con acumulación de CO3 Ca en el suelo.	Parte baja de la cuenca de Santa Isabel. Altitud: 2.200-2.800 m.	ARIDICO	TORRETS	V3		

Nota. (IDE, 2017)

Las muestras se obtendrán de tres puntos de extracción ubicados en lugares estratégicos tanto en el Campus Miracielos de Ricaurte de la Universidad Católica de Cuenca, como en zonas aledañas a este, ya que es una zona ubicada entre las parroquias Ricaurte y Llaoco.

A continuación, se presenta el mapa de la zona de estudio.

Figura 4

Zona de extracción de muestras



Nota. Google Earth

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. PAVIMENTO

“Es una estructura formada por capas, sobre la que actúan las cargas repetidas de tráfico y que debe ser capaz de transmitir durante su vida útil las tensiones provocadas hacia los materiales granulares y la subrasante” (Higuera, 2011).

Los usuarios ven al pavimento como la superficie de circulación que brinda comodidad y seguridad bajo condiciones desfavorables de clima (Higuera, 2011).

“Para satisfacer adecuadamente sus funciones, un pavimento debe tener las siguientes características” (Higuera, 2011):

“

- Resistente a la acción de las cargas vehiculares impuestas.
- Resistente ante los agentes climáticos.
- textura adecuada con una fricción apropiada para evitar el deslizamiento.
- Resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas.
- Durabilidad.
- Drenaje adecuado.
- Económico.
- Señalización adecuada.

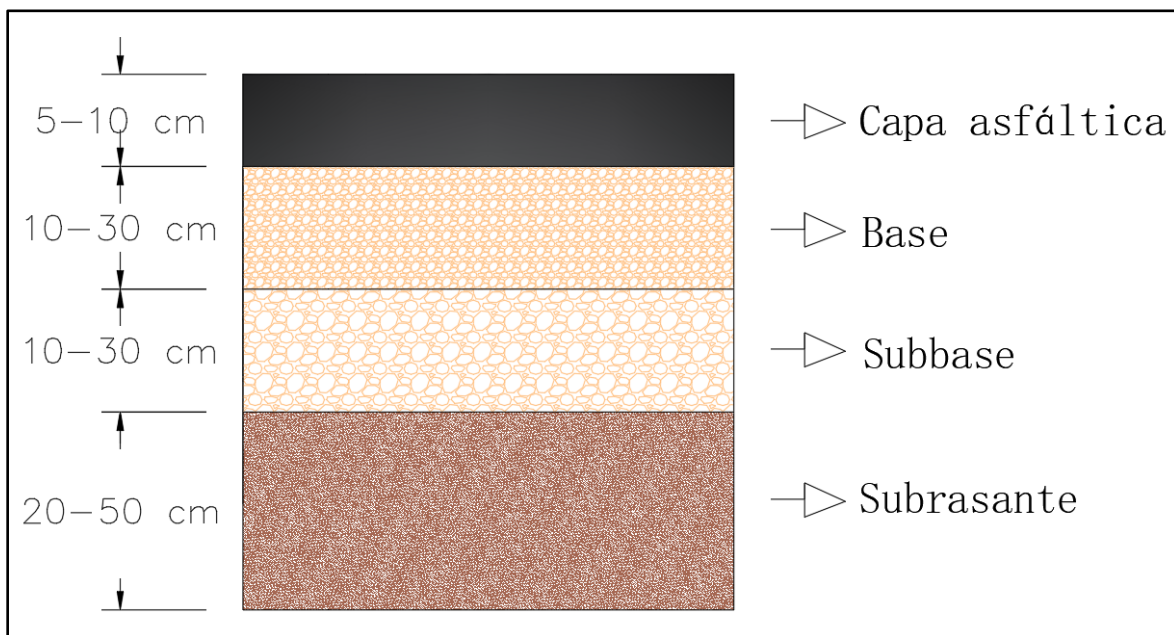
” (Higuera, 2011).

2.1.1.1. TIPOS DE PAVIMENTO

- FLEXIBLES. – Constituidos por una o varias capas que transmiten las cargas vehiculares al terreno de la subrasante, y sobre estas una carpeta asfáltica, que disipa las tensiones estructurales, mismas que en función de la profundidad disminuyen (Higuera, 2011).

Figura 5

Estructura del pavimento flexible

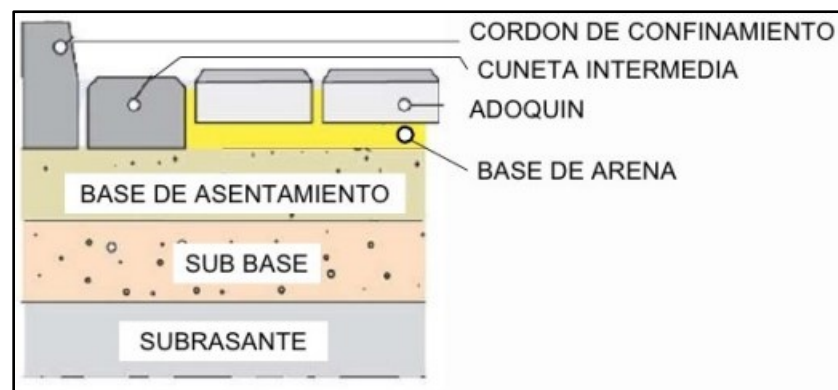


- PAVIMENTOS RIGIDOS. - Conformados por una losa de concreto hidráulico como capa de rodadura, colocada encima de las capas de la estructura. Debido a la alta rigidez y al módulo de elasticidad del concreto, las distribuciones de esfuerzos ocurren ampliamente (Higuera, 2011).

- PAVIMENTOS SEMIRIGIDOS. – Son aquellos que, para ser utilizados como una capa de la estructura del pavimento, deben ser mezclados previamente con emulsión bituminosa, conglomerante hidráulico u óxido de calcio. La transmisión de los esfuerzos al suelo se da por dispersión y distribución (Higuera, 2011).
- PAVIMENTOS ARTICULADOS. - Formado por elementos prefabricados, tales como bloques o adoquines, asentados generalmente sobre una capa de arena (Higuera, 2011).

Figura 6

Estructura del pavimento articulado



Nota. (Mescoopal, 2010)

En la ciudad de Cuenca se pueden encontrar diferentes tipos de pavimento, tanto flexibles, como articulados y rígidos, este último posee una estructura de pavimento conformada por una losa de cemento hidráulico de gran rigidez, sobre una sub base, pues durante su vida útil se dice que requiere menos mantenimiento que un pavimento flexible.

2.1.2. SUELO

Se define como sedimentos sueltos conformados por partículas densas, producto de la fragmentación de las rocas o suelos acarreados por factores climáticos, compuesto con gases o líquidos incluidos. Puede estar constituido por grava, arena, arcillas, limos, rocas, cenizas; así como también pueden ser mezclas definidas con ciertos minerales (García-Toro & others, 2019).

2.1.3. AASHTO

“American Association of State Highway and Transportation Officials”, es una asociación que desarrolla estándares, publica especificaciones, protocolos de prueba y pautas utilizadas en el diseño y la construcción (Loyola, 2017).

2.1.4. SUCS

Este sistema fue propuesto por Arthur Casagrande, el cual tiene como objetivo describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. También conocido como “El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System” (USCS)), puede ser utilizado en la mayoría de materiales no consolidados y logra clasificar suelos con tamaños menores a 3 pulgadas (Geoxnet, 2019).

2.1.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los sistemas más utilizados para clasificar suelos se basan en la metodología AASHTO y SUCS, que, utilizando parámetros básicos como “granulometría, límites de Atterberg e índice de plasticidad”, que definen específicamente las propiedades generales del suelo, determinando la dimensión de los agregados y su humedad natural. Estos métodos son utilizados especialmente en obras viales (Arízaga, 2014).

2.1.5.1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL MÉTODO AASHTO M-145

Se clasifican en 7 grupos de suelos inorgánicos que van desde el A-1 hasta el A-7:

“

- **Suelos granulares:** Aquellos que tienen 35% o menos, de material fino que pasa el tamiz N° 200. Se divide en:

- **Grupo A-1:** Comprende mezclas bien gradadas, compuestas por fragmentos de piedra, grava, arena y material ligante poco plástico o sin material ligante.

- **Grupo A-2:** Comprende variedad de material granular que contiene menos del 35% del material fino.

- **Grupo A-3:** Incluye las arenas finas y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad, así como también las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

- **Suelos finos limo arcillosos:** Contienen más de 35% del material fino que pasa el tamiz número 200. Se divide en:

- **Grupo A-4:** Pertenecen los suelos limosos poco o nada plásticos, con un 75% o más del material fino que pasa el tamiz número 200. Incluyen las mezclas de limo con grava y arena hasta en un 64%.

- **Grupo A-5:** Contienen material micáceo o diatomáceo. Son elásticos y tienen un límite líquido elevado.

- **Grupo A-6:** El material representativo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamiz N° 200, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%. Generalmente presentan grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

- **Grupo A-7:** Semejantes al grupo A-6 pero son elásticos. Sus límites líquidos son elevados.
- **Grupo A-7-5:** Incluye materiales cuyos índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.
- **Subgrupo A-7-6:** Comprende los suelos con índices de plasticidad muy elevados con respecto a sus límites líquidos y que, además, experimentan cambios de volumen extremadamente grandes.

” (Montejo, 1997).

En la tabla 2, se muestra la clasificación de suelos antes mencionada.

Tabla 2

Clasificación de suelos por el método AASHTO

Clasificación general	Material granular (35%, o menos pasa el tamiz N° 200)			Materiales limo- arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1	A-3*	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Porcentaje que pasa el tamiz: N° 10 (2.00mm) N° 40 (0.425mm) N° 200 (0.075mm)	- 50 máx. 25 máx.	- 51 min. 10 min.	- - 35 máx.	- - 36 min.	- - 36 min.	- - 36 min.	- - 36 min.
Características del material que pasa el tamiz N° 40 (0.425mm): Limite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx.	- NP	- -	40 máx. 10 máx.	41 min. 10 máx.	40 máx. 11 min.	41 min. 11 min.

* La colocación de A-3 antes A-2 se hace únicamente por razones de ordenamiento de cantidades.

Nota. (Montejo, 1997)

2.1.5.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS

“

a) Suelos gruesos: Se clasifican en gravas (G) y arenas (S), son separadas con el tamiz N° 4. Un suelo pertenece al grupo G, si más del 50% del material queda retenido en el tamiz N°4, caso contrario pertenece al grupo S.

Gravas

1. GW: Si el porcentaje de finos contenido en la grava es menor al 5%, esta puede ser bien gradada, si el coeficiente de curvatura (Cc) está entre 1 y 3, y el coeficiente de uniformidad (Cu) es mayor a 4; de lo contrario será grava mal gradada (GP).
2. GP: Indica gravas pobremente o mal graduadas.
3. GC: Gravas arcillosas, si el porcentaje de finos es mayor al 12% y los finos son arcilla.
4. GM: Gravas limosas, si el porcentaje de finos es mayor al 12% y los finos son limo.
5. GW-GC: Si el porcentaje de finos está entre 5 y 12%

Arenas

1. SW: Arena bien gradada, si el porcentaje de finos
2. es menor al 5% y si cumple con: $1 < Cc < 3$ y $Cu > 6$.
3. SP: Arena mal gradada, si no cumple con los coeficientes y características de SW.
4. SC: Arena arcillosa, si el porcentaje de finos es arcilla y mayor al 12%.
5. SM: Arena limosa, si el porcentaje de finos es limo y mayor al 12%.
6. SP-SM: Si el porcentaje de finos está entre 5 y 12%.

b) Suelos finos: Se divide en tres grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O), estos a su vez se subdividen según su límite líquido, si es menor al 50% se añade la letra “L”, si es mayor al 50% se añade la letra “H”.

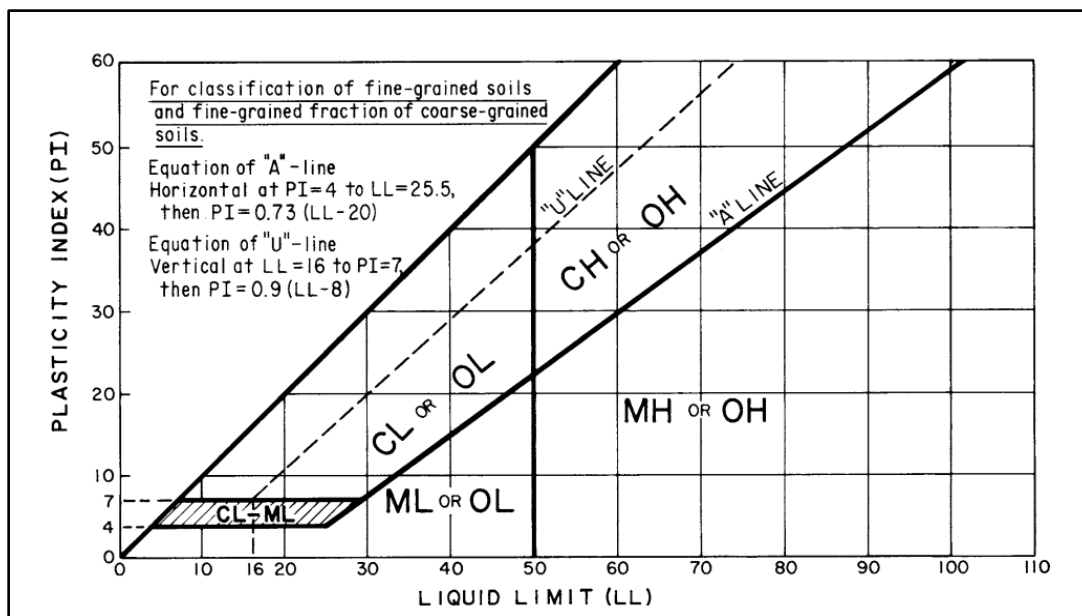
1. ML =Limos inorgánicos de baja compresibilidad.
2. OL = Limos y arcillas orgánicas de baja compresibilidad.
3. CL = Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.
4. CH = Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.
5. MH = Limos orgánicos de alta compresibilidad.
6. OH = Acillas y limos orgánicos de alta compresibilidad.

” (Montejo, 1997).

Los suelos con alto contenido de materia orgánica, como lo son las turbas, se designan con el símbolo Pt.

Figura 7

Cuadro de plasticidad



Nota. (D18 Committee, s. f.)

2.1.6. CEMENTO

Está constituido por partículas inorgánicas finamente trituradas que, al mezclarlo con ciertos materiales de construcción como arena, grava, agua, entre otros, tiene la capacidad de fraguar y solidificarse, conservando su resistencia y durabilidad. Al ser dosificado con las proporciones adecuadas produce un hormigón consistente que garantiza su trabajabilidad (García-Toro & others, 2019).

2.1.6.1. CEMENTO HIDRÁULICO

“Es aquel que tiene más del 15 % de adición mineral. Es un compuesto que resulta de la mezcla de material cementante, arena, grava, agua y en algunos casos aditivos, que al fraguar y endurecer adquieren propiedades similares a las de las rocas naturales más resistentes” (ASTM C1157, 1992).

2.1.6.2. TIPOS DE CEMENTO

Tabla 3

Tipos de cemento

TIPOS	NOMENCLATURA PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS POR DESEMPEÑO	CARACTERÍSTICAS
I	GU	CEMENTO DE USO GENERAL Es el cemento estándar según la guía del ACI. Apropiado para todos los usos donde las propiedades especiales de otros cementos no sean necesarias.
II	MS	MODERADA RESISTENCIA A LOS SULFATOS Utilizado en estructuras normales o en miembros expuestos a suelos o agua subterránea, donde la concentración de sulfatos sea más alta que la normal pero no severa.
III	HE	ALTA RESISTENCIA TEMPRANA Es usado cuando se necesita remover encofrados lo más temprano posible o cuando la estructura será puesta en servicio rápidamente.
IV	MH	BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN Se puede usar en estructuras de concreto masivo, donde la subida de temperatura derivada del calor generado durante el endurecimiento deba ser minimizada.
V	HS	ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS El uso de baja relación agua/materiales cementantes y baja permeabilidad son fundamentales para el buen desempeño de cualquier estructura expuesta a los sulfatos.

Nota. (ASTM C1157, 1992)

Para este estudio se utilizará cemento tipo I con un desempeño hidráulico GU, ya que es un requisito según las especificaciones técnicas para base suelo - cemento del “Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador” (NEVI-12-MTOP, 2013).

Los ensayos se realizarán con cemento “Atenas”.

2.1.7. ESTABILIZACIÓN

Consiste en combinar la muestra de suelo con un porcentaje adecuado de conglomerante que al entrar en contacto con el agua genere reacciones químicas, aumentando de forma significativa su resistencia, a través de métodos mecánicos, químicos, eléctricos y térmicos (Montejo et al., 2018).

Esta técnica se fundamenta en el hecho de que es complicado hallar un suelo apropiado que asegure las condiciones óptimas para su utilización, sumado a eso la inconformidad de la sociedad por la contaminación ambiental que genera la apertura de bancos de materiales.

2.1.8. MATERIALES GRANULARES

- **BASE**

“Capa que se encuentra generalmente por debajo de la superficie de rodadura. Está compuesta por materiales granulares parcialmente o 100 % triturados, se coloca encima de una sub base terminada compactada y aprobada, en ciertas ocasiones esta capa puede ser construida directamente sobre la subrasante cuando esta presenta buen comportamiento mecánico. La clasificación de la base varía de acuerdo al tipo de vía y diseño específico” (Reyes, 2003).

“La función principal de esta capa en pavimentos flexibles es absorber los esfuerzos horizontales de tracción generados en la fibra inferior de la carpeta de pavimento, además proporciona un elemento resistente que transmita a las capas inferiores los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. Adicionalmente, contribuye al drenaje y facilita los

procesos constructivos. Es un material granular parcialmente o 100 % triturado. Colocado encima de una sub base terminada compactada y aprobada. La clase y el tipo de la base varía de acuerdo al tipo de vía, y diseño específico” (Reyes, 2003).

Tabla 4

Características de una base

CARACTERISTICAS DE LAS BASES	
Desgaste máximo	40 % (abrasión / ángeles)
Índice de plasticidad	< 6
Límite líquido	< 25
CBR	> 80 %
Granulometría	Exentos de arcilla

Nota. (MOP, 2002)

- **SUB BASE**

“Es el material granular colocado sobre material de mejoramiento o sobre una subrasante previamente trabajada y aprobada en alineamientos, pendientes y secciones transversales”. Los materiales granulares podrán ser naturales, cribados, parcialmente triturados al 100%, triturados y mezclados (MOP, 2002).

“La sub base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y, por otra parte, actúa como filtro de la base, impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen y perjudiquen su calidad” (MOP, 2002).

Tabla 5*Características de una sub base*

CARACTERISTICAS DE LAS SUB BASES	
Desgaste máximo	50 % (abrasión / ángeles)
Índice de plasticidad	< 6
Límite liquido	< 25
CBR	> 30 %

Nota. (MOP, 2002)

- **MATERIAL DE MEJORAMIENTO**

Este tipo de material debe ser granular, rocoso o una combinación de estos, exentos de materia orgánica o escombros. Este material suele ser colocado previo a la conformación de capas de sub base, base y superficie de rodadura. De igual manera puede ser la adición de material de mejor calidad a la subrasante, tal como, material triturado, materiales cribados de ríos o canteras (MOP, 2002).

Tabla 6*Características del material de mejoramiento*

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO	
Tamaño máximo	4 pulgadas
Material que pasa tamiz N°200	20 %
Material que pasa tamiz N°40	✓
Desgaste máximo	50 % (abrasión / ángeles)
Índice de plasticidad	< 9
Límite liquido	< 35
CBR	> 10 %
Compactación	95% de la densidad

Nota. (MOP, 2002)

2.1.9. SUELO-CEMENTO

El suelo-cemento es una mezcla que se la realiza in situ conformada por suelo pulverizado, cemento Portland y agua, la cual para alcanzar su densidad máxima debe ser compactada con su humedad óptima, la calidad de este material depende de dos factores, la condición del suelo y la proporción de conglomerante (Montejo et al., 2018).

La estabilización en suelos finos granulares, tales como los limos y las arcillas, el cemento forma una matriz que comprime efectivamente los agregados del suelo con los agregados minerales desarrollando una fuerte cohesión al momento de la hidratación. El aglutinante, eleva la resistencia al esfuerzo cortante, disminuye la plasticidad e impermeabiliza el suelo, produciendo una estructura firme, que evita las expansiones causadas por el aumento de humedad (Montejo et al., 2018).

El resultado de un proceso de estabilización será saber qué porcentaje de cemento se debe adicionar al suelo ya que será el aporte a la resistencia de la capa del pavimento, para ello se debe utilizar una adecuada técnica de estabilización, en laboratorio que permita obtener resultados idóneos y que puedan ser replicados en campo, con equipo adecuado de manera que se obtengan resultados provechosos.

2.1.9.1. USO DE SUELO-CEMENTO

Es usado principalmente como capa de base en la construcción de vías, calles, estacionamientos, aeropuertos, muros, áreas de almacenamiento, cimentaciones, realización de carpetas para carreteras, sub bases para pavimentos rígidos y flexibles. (De la Fuente, 2013).

Es provechoso en la reparación de bases fallidas, debido a su fácil aplicación, permitiendo aprovechar el material usado para formar una nueva base dura y rígida, siendo de fácil colocación.

Para el caso de los pavimentos deteriorados pueden ser reutilizados mediante la escarificación y pulverizado, para su posterior aplicación de cemento y agua (De la Fuente, 2013).

El suelo-cemento posee un buen funcionamiento en proyectos hidroeléctricos e hidráulicos, tales como la protección de taludes, terraplenes, protección de márgenes de ríos y mares, de pantallas impermeables, construcción de silos enterrados, cimentación de plantas nucleares, presas de almacenamiento, trincheras semiflexibles para cimentación de presas, material de respaldo de accesos de puentes, protección de presas o contra la erosión, revestimiento de canales, entre otros (De la Fuente, 2013).

2.1.9.2. VENTAJAS DEL USO DEL SUELO-CEMENTO

Según (De la Fuente, 2013) las principales ventajas son:

“

- Reducción de bancos de materiales, lo que conlleva a la disminución en la sobreexplotación de canteras.
- Aprovechamiento del material existente en la zona de construcción, ya que, en caso de no satisfacer con los requerimientos de diseño, en vez de ser desechados, pueden ser utilizados mediante tratamiento.
- La base de suelo-cemento una vez colocada y endurecida es mucho más rígida que la base granular, permitiendo así transmitir de mejor manera las presiones, y como consecuencia es posible reducir el espesor de los pavimentos.
- En condiciones adversas tiene prolongada durabilidad, por lo que su uso en pavimentos es frecuente en climas desfavorables.
- Cuando existen urgencias constructivas, su aplicación permite reducir cuantiosamente los tiempos de construcción, tomando en cuenta las técnicas, maquinaria y controles adecuados.

- Sus propiedades de resistencia aumentan con el paso del tiempo, logrando que su mantenimiento sea mínimo y aumentando su vida útil.

” (De la Fuente, 2013).

2.1.9.3. DESVENTAJAS DEL USO DEL SUELO-CEMENTO

Según (De la Fuente, 2013) las principales desventajas son:

- Aumento del costo por la adición de cemento y consecuentemente las actividades constructivas.
- Después de introducir el cemento, el resto de capas del suelo deben colocarse y compactarse rápidamente para evitar el fraguado anticipado.
- Deben realizarse mejores controles en obra y se debe contar con personal especializado.
- La liga entre las distintas capas es compleja y genera mayores aberturas en los pavimentos.

2.1.10. COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CAPAS

Se define como el coeficiente obtenido de la experimentación en la prueba de carretera para diferentes tipos de materiales, depende de su módulo de elasticidad, pero existen correlaciones con otros índices como CBR, R, etc. (Gómez, 2015).

“Es la relación empírica entre el número estructural (SN) y el espesor de la capa de suelo, así como también se puede definir como la capacidad del material para funcionar como componente estructural del pavimento” (Camacho, 2015).

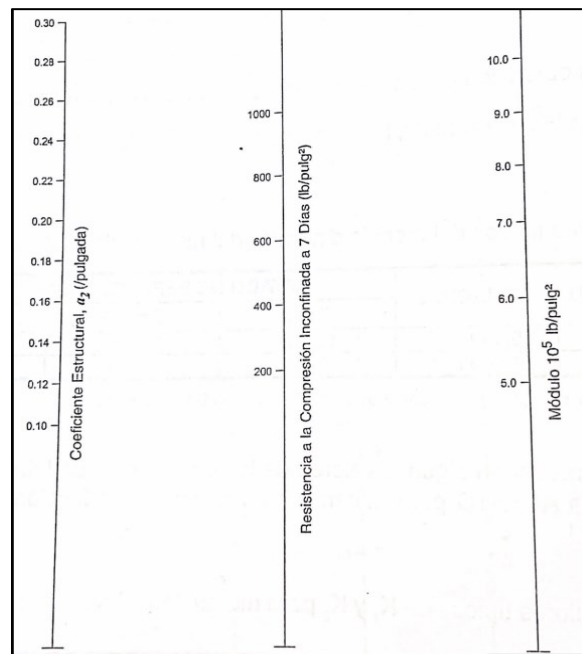
2.1.11. COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE BASES TRATADAS CON CEMENTO

Es uno de los requerimientos más importantes para el diseño de pavimentos flexibles, ya que convierte los espesores reales a números estructurales (SN), así como también corresponde al aporte de cada capa para la contribución de la estructura del pavimento, permitiendo comparar el SN de la estructura con el SN de tránsito (Montejo, 1997).

La figura 8 provee una carta para materiales de base con la adición de cemento, la cual estima el coeficiente estructural (a_2), a partir de parámetros tales como su capacidad a la compresión y módulo de elasticidad.

Figura 8

Cuadro de plasticidad



Nota. (AASHTO, 1993)

De la figura 8, se deduce la siguiente fórmula para calcular el coeficiente estructural (a2):

- $a_2 = 0.0918 (f'c)^{0.514}$
- $f'c = \text{Resistencia a la compresión en MPa}$

Se presenta la tabla de coeficientes estructurales según la norma AASHTO 93 para diseño de pavimentos flexibles.

Tabla 7

Coficiente de capas - Diseño estructural de pavimentos flexibles

Clase de material	Normas	Coficiente (cm)
CAPA DE SUPERFICIE		
Concreto Asfáltico	Estabilidad de Marshall 1000 - 1600 lbs.	0,134-0,173
Arena Asfáltica	Estabilidad de Marshall 500 - 800 lbs.	0,079-0,118
Carpeta Bituminosa mezclada en el camino	Estabilidad de Marshall 300-600 lbs.	0,059 - 0,098
CAPA DE BASE		
Agregados triturados, graduados uniformemente	PI 0 - 4 CBR > 100%	0,047 - 0,055
Grava graduada uniformemente	PI 0 - 4 CBR 30 - 80%	0,028 - 0,051
Concreto Asfáltico	Estabilidad de Marshall 1000 - 1600 lbs.	0,098 - 0,138
Arena Asfáltica	Estabilidad de Marshall 500 - 800 lbs.	0,059 - 0,098
Agregado grueso estabilizado con cemento	Resistencia a la compresión 28 - 46 Kg/cm2	0,079 - 0,138
Agregado grueso estabilizado con cal	Resistencia a la compresión 28 - 46 kg/cm2	0,059-0,118
Suelo - cemento	Resistencia a la compresión 18 - 32 kg/cm2	0,047-0,079
CAPA DE SUB-BASE		
Arena - Grava graduada uniformemente	PI 0 - 6 CBR > 30%	0,035-0,043
Suelo - Cemento	Resistencia a la compresión 18 - 32 kg/cm2	0,059-0,071
Suelo- Cal	Resistencia a la compresión 7 kg/cm2	0,059 - 0,071
MEIORAMIENTO DE SUBRASANTE		
Arena o suelo selecciona do	PI 0 - 10	0,020 - 0,035
Suelo con cal	3% mínimo de cal en peso de los suelos	0,028 - 0,039
TRATAMIENTO SUPERFICIAL BITUMINOSO		
Triple riego		*0,40
Doble riego		*0,25
Simple riego		*0,15
	* = Usar estos valores para los diferentes tipos de tratamientos bituminosos, sin calcular espesores	

Nota. (AASHTO, 1993)

2.1.12. ENSAYOS DE SUELOS

Los ensayos de suelos en materiales granulares son fundamentales para el diseño de estructuras de pavimento, ya que con estos se obtienen sus propiedades físicas, químicas y mecánicas del terreno en donde se prevé construir, así como también las metodologías y requerimientos a seguir; tomando en cuenta las especificaciones técnicas y normativas, de manera que se garantice un buen diseño y funcionamiento durante su vida útil.

“Para el estudio es necesario realizar al menos 3 ensayos sobre cantidades pequeñas de suelo que permitan extrapolar los resultados a la masa completa. Para que los ensayos sean válidos para la masa de suelos, deben ser ejecutados sobre muestras que se consideren representativas de la misma” (Bowles, 1981).

2.1.13. ENSAYOS POR REALIZAR

- Análisis granulométrico mecánico, según la normativa AASHTO T87-70 (Preparación de la Muestra); AASHTO T88-70 (Procedimiento de prueba).

“El análisis granulométrico es el procedimiento manual o mecánico por medio del cual se separan las partículas del agregado según sus tamaños, utilizando mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. Cada peso obtenido en las mallas se expresa como porcentajes retenidos, los cuales se calculan tanto parciales como acumulados, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material y con esto determinar la graduación de materiales para establecer la distribución granulométrica” (Simeon, s. f.).

- Determinación del límite líquido (LL), según la normativa ASTM D423-66.

“Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. Este contenido de humedad está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso” (Bowles, 1981).

“El suelo es amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando una ranura, realizada mediante un acanalador, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo del fondo a una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base, con una cadencia de 2 golpes por segundo” (Bowles, 1981).

- Determinación del límite plástico (LP) según la normativa ASTM D424-59.

“Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico. Se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienza a agrietarse al realizar pequeños cilindros de suelo de 3 mm de diámetro” (Bowles, 1981).

- Determinación del índice de plasticidad (IP).

“Corresponde a la diferencia entre el límite líquido y plástico. Según Atterberg, este índice representa una medida satisfactoria del grado de plasticidad de un suelo, además indica su compresibilidad” (Díaz & Maldonado, 2012).

A continuación, se presenta su clasificación:

Tabla 8

Grado de plasticidad del suelo

Categoría	Suelo	IP	Grado de plasticidad
I	Arena o limo	0-1	No plástico
	• trazas de arcilla • poca arcilla	1-5	Ligeraplasticidad
		5-10	Baja plasticidad
II	Franco arcilloso	10-20	Mediana plasticidad
III	Arcilloso limoso Arcilla	20-35	Alta plasticidad
		>35	Muy alta plasticidad

Nota. (Díaz & Maldonado, 2012)

- Índice de grupo (IG)

“Este índice permite diferenciar aquellos suelos que tienen un comportamiento similar y se encuentran en un mismo grupo, permitiendo así obtener una clasificación adecuada según la AASHTO. Para suelos limosos tiene un valor entre 8 y 12, arcillosos entre 11 y 20 o más” (Montejo, 1997).

Se calcula con la siguiente fórmula (Montejo, 1997):

“

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

Donde:

IG= Índice de grupo

F= Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz N° 200, expresado como número entero

LI=Límite líquido

IP= Índice de plasticidad

” (Montejo, 1997).

- Ensayo Proctor modificado, según la norma ASTM D-1557

“Este ensayo sirve para determinar la relación entre la densidad seca y la humedad óptima para la energía de compactación de los materiales” (López, s. f.).

- Ensayo de compresión, según la norma INV E-614-13.

“Permite determinar el valor de carga última del suelo, para observar el comportamiento del suelo cuando es sometido a cargas, es aplicable únicamente a materiales cohesivos que no expulsan agua durante la carga del ensayo y que mantienen su resistencia intrínseca después de remover las presiones de confinamiento” (Badillo & Rodríguez, 2005).

Para este ensayo se utilizó el método B de la norma, ya que da una mejor medida de la resistencia a la compresión, ya que reduce las condiciones complejas de esfuerzos que se pueden presentar durante el corte de los especímenes, esta norma es aplicable para los materiales que pasen en su totalidad el tamiz N°4 (Montejo et al., 2018).

En la tabla 9, se presentan los valores mínimos de la resistencia a la compresión requeridos para ser considerados como una base suelo-cemento.

Tabla 9

Límites para la resistencia de suelo-cemento a la compresión

Tipo de suelo	Resistencia a la compresión kg/cm ²	
	7 días	28 días
Suelos arenosos y cascajosos: Clasificación unificada: GW, GC, SW, SC, SP, SM, GP.	21.0 – 42.0	28.0 – 70.0
Suelos limosos: Clasificación unificada: ML, CL.	17.5 – 35.0	21.0 – 63.0
Suelos arcillosos: Clasificación unificada: MH, CH.	14.0 – 28.0	17.5 – 42.0

Nota. (Rico & Castillo, 2015)

Humedecimiento y secado de mezclas compactadas de suelo-cemento:

1. Curado sumergido: Consiste en sumergir en su totalidad los especímenes compactados y previamente envueltos en papel film y para mayor seguridad en bolsas plásticas y con cinta de embalaje, durante 7 días en agua, luego de este lapso de tiempo se procede a retirar la muestra para su posterior ingreso al horno a una temperatura de $71 \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 42 horas, para luego ser ensayadas en la máquina de compresión (Montejo et al., 2018).

2. Curado por capilaridad: Una vez compactadas las muestras y envueltas, se simula una cámara húmeda mediante ladrillos sumergidos en su totalidad y sobre estos se colocan los especímenes, de manera que el agua humedezca las muestras por efecto de la capilaridad y se repite el mismo proceso del curado sumergido.

- Ensayo CBR, según la norma ASTM D1883.

“Sirve para determinar la resistencia a la penetración de un suelo compactado bajo condiciones de humedad y densidad, expresado como una relación de soporte porcentual entre la carga unitaria del suelo y la carga unitaria establecida por la penetración a la profundidad de un pistón de penetración” (LANAVIAL, 2003).

- Ensayo equivalente de arena, según la norma ASTM D-2419.

“Este método pretende servir como un ensayo rápido de correlación en campo. Su propósito es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de arcilla o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregado fino que pasa la malla de 4.75 mm (No. 4). Corresponde a la relación de la altura de arena a la altura de arcilla por 100. Asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y carácter de material de arcilla presente en el espécimen de ensayo” (ASTM D2419-02, 2003).

Una buena cimentación de carreteras requiere la mínima cantidad de material fino posible, especialmente de arcillas, ya que al combinarse con agua causan daños al pavimento; por tanto, se debe verificar que esta cantidad sea adecuada. Este ensayo ayuda a la obtención de materiales finos indeseables (Rico & Castillo, 2015).

Se presenta la tabla con los porcentajes mínimos recomendados según su tipo de uso:

Tabla 10

Porcentajes mínimos requeridos para el ensayo equivalente de arena

Tipo de uso:	Equivalente de Arena %	
	Tráfico Liviano y Mediano	Tráfico Pesado
Base	35	40
Capa de Rodadura	45	50

Nota. (ASTM D2419-02, 2003)

2.1.14. UBICACIÓN DE LAS ZONAS DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Se eligieron tres lugares para la obtención de muestras estratégicamente en las parroquias de Ricaurte y LLacao. El proceso de extracción de muestras alteradas consistió en la limpieza de la capa vegetal, posteriormente se excavó a una profundidad adecuada y se extrajo la cantidad de material necesaria para la realización de los ensayos.

Para registrar las coordenadas en los sitios de extracción se utilizó la aplicación UTM GEO MAP, descargada de Play Store, misma que fue configurada en el sistema geográfico WGS84 zona 17 hemisferio sur.

Esta aplicación sirve para determinar las coordenadas exactas y la dirección del lugar de estudio, además permite medir áreas y distancias.

Muestra N°1

La primera muestra se tomó en base a la investigación “DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL SUBSUELO LADO N/O, CAMPUS MIRACIELOS RICAURTE, NECESARIOS PARA EL PROYECTO INVESTIGATIVO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y MAPA DE RIESGOS” (Coronel & Ortíz, 2020), trabajo en el cual se evidencian sitios conformados por arcillas, de manera que se tomó una de las muestras próximas a las coordenadas indicadas en el documento.

A continuación, se detallan las coordenadas del punto de extracción:

Tabla 11

Coordenadas del punto de extracción 1

COORDENADAS UTM, ZONA 17 S	
ESTE	726,058.58
NORTE	9,684,080.076

Figura 9

Coordenadas del punto de extracción 1

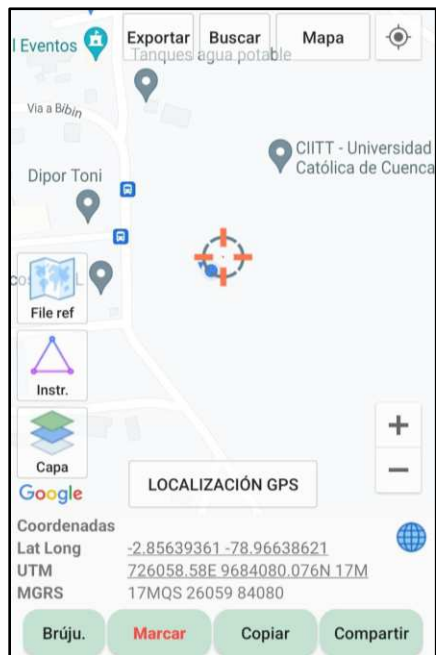


Figura 10

Limpieza de la capa vegetal de la muestra 1



Figura 11

Extracción de la muestra de suelo 1



Muestra N°2

Se tomó como referencia el mapa geológico de la Figura 2 para establecer una coordenada intermedia entre las dos parroquias estudiadas, y de esta manera obtener la muestra N°2 para el punto de extracción.

Tabla 12

Coordenadas del punto de extracción 2

COORDENADAS UTM, ZONA 17 S	
ESTE	726,261.377
NORTE	9,684,369.898

Figura 12

Coordenadas del punto de extracción 2

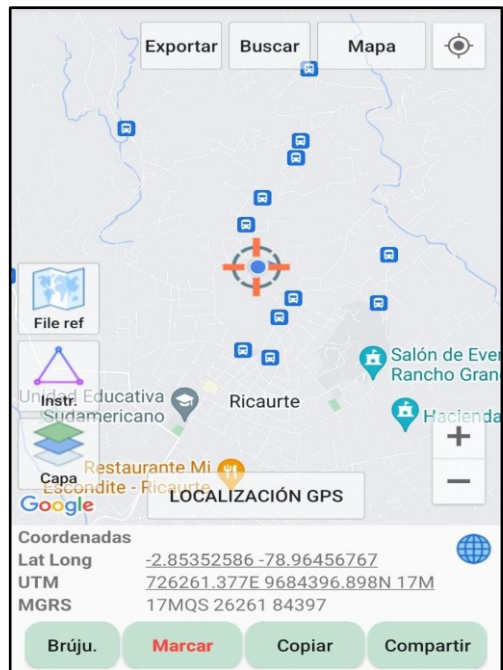


Figura 13

Limpieza de la capa vegetal de la muestra



Figura 14

Extracción de la muestra de suelo 2

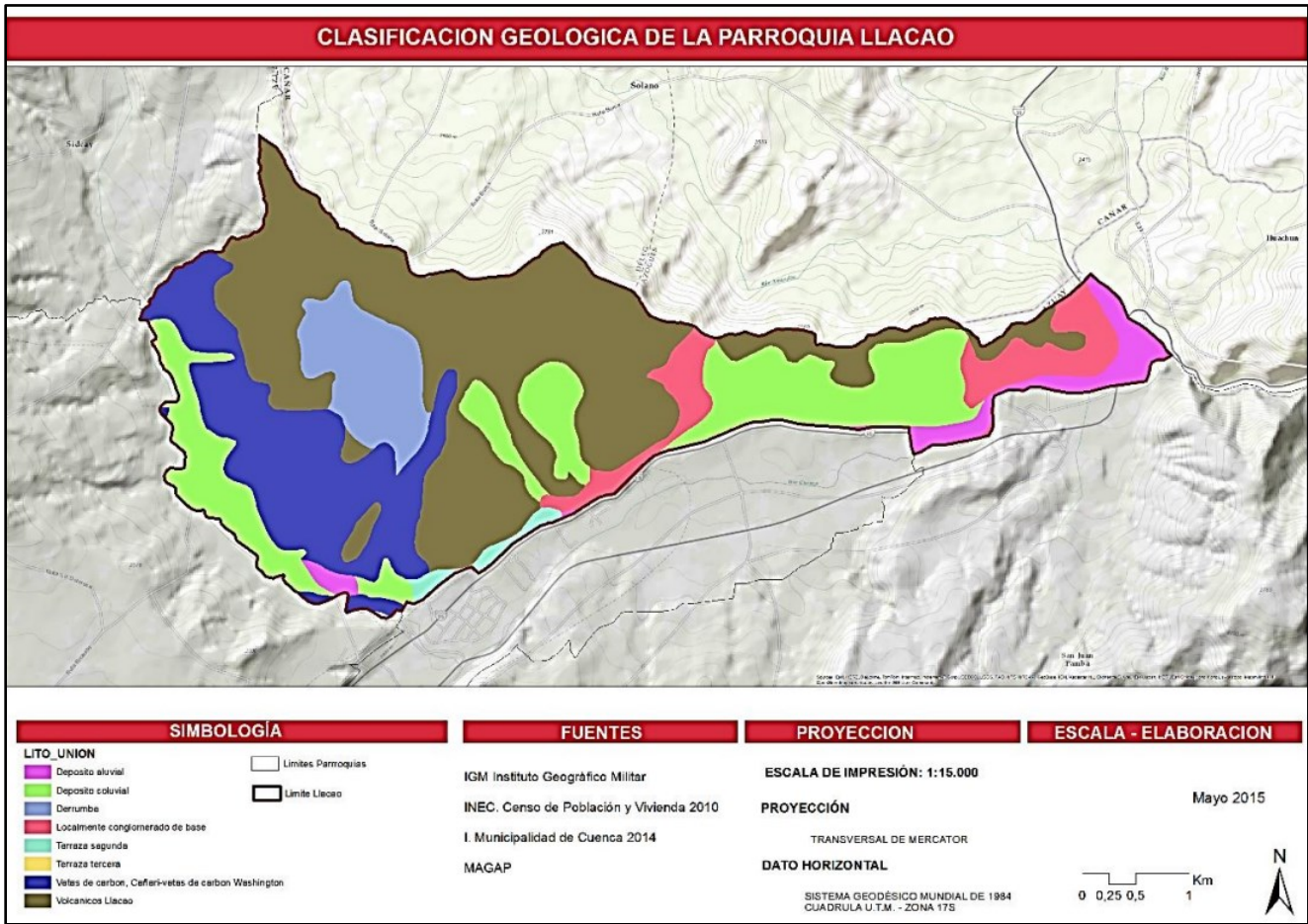


Muestra N°3

Para este punto se usó el mapa de la figura 15 la cual describe las formaciones geológicas de la parroquia Llacao. Mediante la ayuda de la aplicación mencionada anteriormente se logró determinar un punto cercano a sitios con formaciones coluviales, ya que estas tienen matriz limo arcillosa, satisfaciendo así los requerimientos contemplados para esta investigación.

Figura 15

Clasificación geológica de la parroquia LLacao



Nota. (MAGAP, 2015)

Tabla 13

Coordenadas del punto de extracción 3

COORDENADAS UTM, ZONA 17 S	
ESTE	729,321.533
NORTE	9,685,328.529

Figura 16

Coordenadas del punto de extracción 2

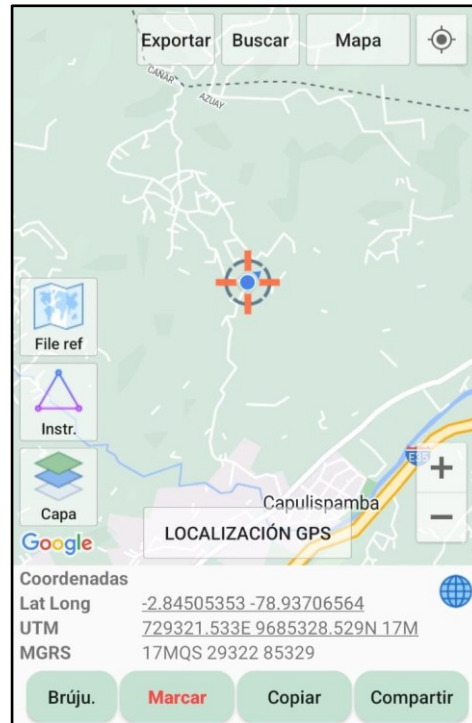


Figura 17

Limpieza de la capa vegetal de la muestra 3



Figura 18

Extracción de la muestra de suelo 3



2.1.15. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CEMENTO A ADICIONAR

La determinación de una mezcla suelo cemento como se mencionó anteriormente parte de un estudio de laboratorio donde se determina el porcentaje óptimo (menor) de cemento a adicionar en un suelo, que mejore la calidad del material para usos determinados.

La incidencia de la naturaleza de los suelos ha determinado los límites de la variación en la cantidad de cemento adecuado, dependiendo su tipo según la clasificación AASHTO (Montejo et al., 2018).

Según Alfonso Montejo Fonseca recomienda que para una estabilización suelo-cemento óptima se pueden tomar los siguientes porcentajes mencionados a continuación.

Tabla 14

Características del mejoramiento

GRUPO AASHTO	% DE CEMENTO POR PESO
A-1-a	3 a 5
A-1-b	5 a 8
A-2	5 a 9

A-3	7 a 11
A-4	7 a 12
A-5	8 a 13
A-6	9 a 15
A-7	10 a 16

Nota. (Montejo et al., 2018)

Además, el “Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, establece que el porcentaje de cemento a adicionar en la mezcla, se encuentra entre el 5 y el 12% del peso del suelo seco” (MOP, 2002).

Por esta razón, los autores han optado por utilizar los porcentajes de 9,10 y 11% de cemento, ya que las tres muestras de suelo se encuentran en una clasificación A-7 según la AASHTO, y así observar el comportamiento del suelo mediante los ensayos mecánicos, para determinar cuál es el porcentaje óptimo de cemento.

Sin embargo, cabe recalcar la importancia y la necesidad de realizar ensayos mecánicos para obtener el porcentaje de cemento óptimo a utilizar según el tipo de suelo.

2.2. METODOLOGÍA

Para realizar los ensayos mecánicos, en primera instancia se obtendrán muestras alteradas representativas de las zonas de extracción antes mencionadas, con un suelo clasificado entre A4 a A7, con las que se procederá a efectuar los ensayos para determinar las propiedades iniciales de los materiales.

En esta investigación, se realizarán los siguientes ensayos en la Universidad Católica de Cuenca en el campus “Miracielos” en el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil.

Tabla 15

Ensayos a realizar en laboratorio, según la muestra de suelo

ENSAYOS	SUELO NATURAL	SUELO ESTABILIZADO
Análisis Granulométrico	X	
Límites de Atterberg	X	X
Proctor modificado	X	
Ensayo de compresión	X	X
Ensayo CBR	X	X
Equivalente de arena		X

Por otra parte, la metodología a utilizar para la obtención del coeficiente estructural de la base estabilizada será la indicada en la normativa AASHTO, descrita en el apartado 2.1.11.

3. CAPÍTULO III. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis granulométrico mecánico y Clasificación de suelos

El ensayo granulométrico se realiza a las 3 muestras de suelo natural obtenidas en las zonas de Ricaurte y Llaqueo.

Al tratarse se suelos finos, se procedió a tomar 500 gramos de material para su posterior lavado sobre el tamiz N° 200 (0.074mm), luego de ello se dejó secar las muestras en el horno durante 24 horas, para realizar un tamizado mecánico, posteriormente se procede al pesaje del material retenido en los distintos tamices y se procede a estimar y graficar estos porcentajes.

3.1.1. Muestra de suelo 1

- Suelo natural

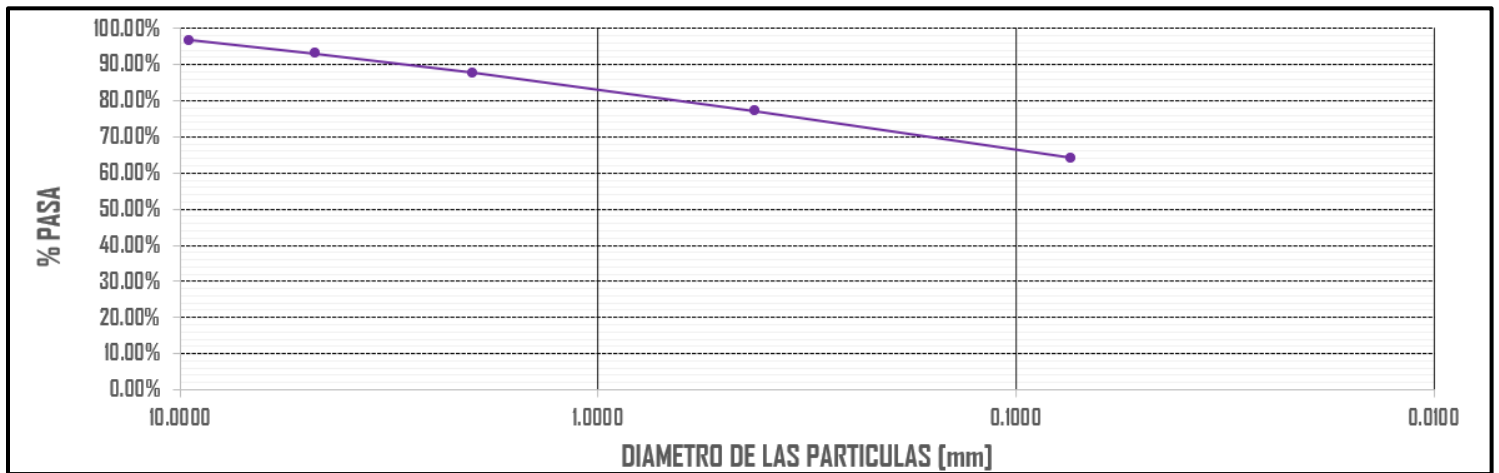
Tabla 16

Resultados del análisis granulométrico de la muestra de suelo 1

Tamiz N°	Abertura [mm]	Retenido (gr)	Ret. Acu (gr)	% Retenido	%Pasa
3/8	9.51	14	14	3.31%	96.69%
N4	4.76	15	29	6.85%	93.15%
N10	2.00	22.5	51.5	12.16%	87.84%
N40	0.42	45	96.5	22.78%	77.22%
N200	0.07	54.5	151	35.65%	64.35%
FONDO	-	0	0	0.00%	
	SUMA	151.00		80.75%	

Figura 19

Curva granulométrica de la muestra de suelo 1



La curva granulométrica se ha dibujado representando en el eje vertical el peso de las partículas que pasan por cada tamiz expresado en porcentaje, y en el eje horizontal se representa la abertura de cada tamiz representado en milímetros, en escala logarítmica y orden inverso.

De acuerdo con la granulometría, se obtiene una curva mal graduada, refiriéndose a la proporción de las partículas según su tamaño en la muestra de suelo, ya que no posee un componente variado, se tiene únicamente agregado fino; en el cual el porcentaje que pasa el tamiz N°200 es igual al 64.35%, la cantidad resultante después del lavado corresponde a 151 gr.

3.1.2. Muestra de suelo 2

- Suelo natural

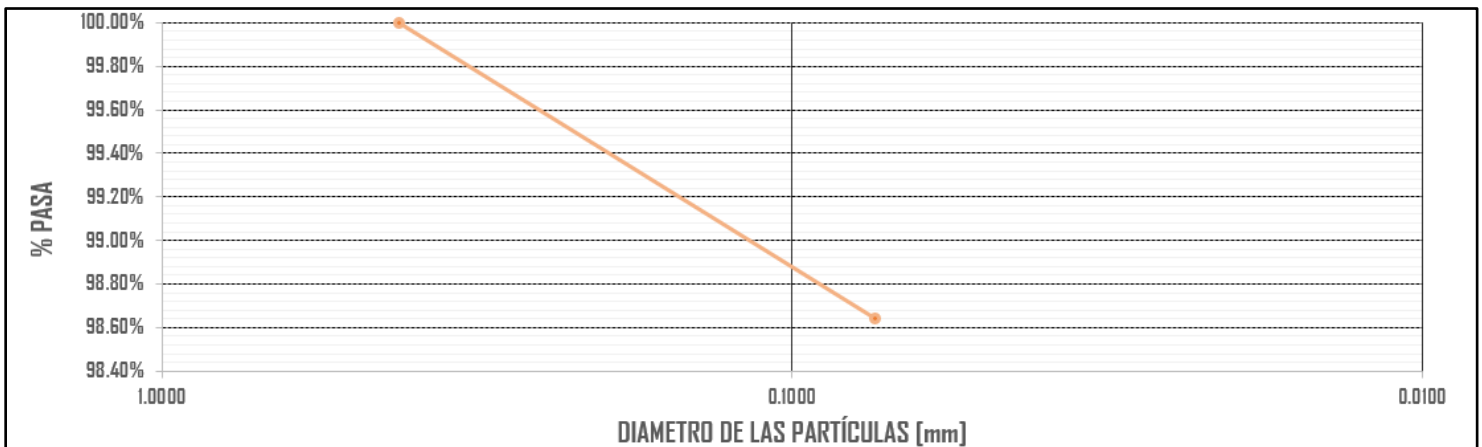
Tabla 17

Resultados del análisis granulométrico de la muestra de suelo 2

Tamiz N°	Abertura [mm]	Retenido (gr)	Ret. Acu (gr)	% Retenido	%Pasa
3/8	9.51	0	0	0.00%	100.00%
N4	4.76	0	0	0.00%	100.00%
N10	2.00	0	0	0.00%	100.00%
N40	0.42	0	0	0.00%	100.00%
N200	0.07	5.5	5.5	1.36%	98.64%
FONDO	-	0	0	0.00%	
	SUMA	5.50		1.36%	

Figura 20

Curva granulométrica de la muestra de suelo 2



De acuerdo con la granulometría presentada en la tabla 17, se obtiene una curva mal graduada según la figura 22, en la que se tiene únicamente agregado fino; la cantidad retenida en el tamiz N°200 es apenas 5.5 gr, representando así el 98.64% que pasa dicho tamiz, es decir casi toda la porción de material, ya que al ser lavado se disgregó en su mayoría.

3.1.3. Muestra de suelo 3

- Suelo natural

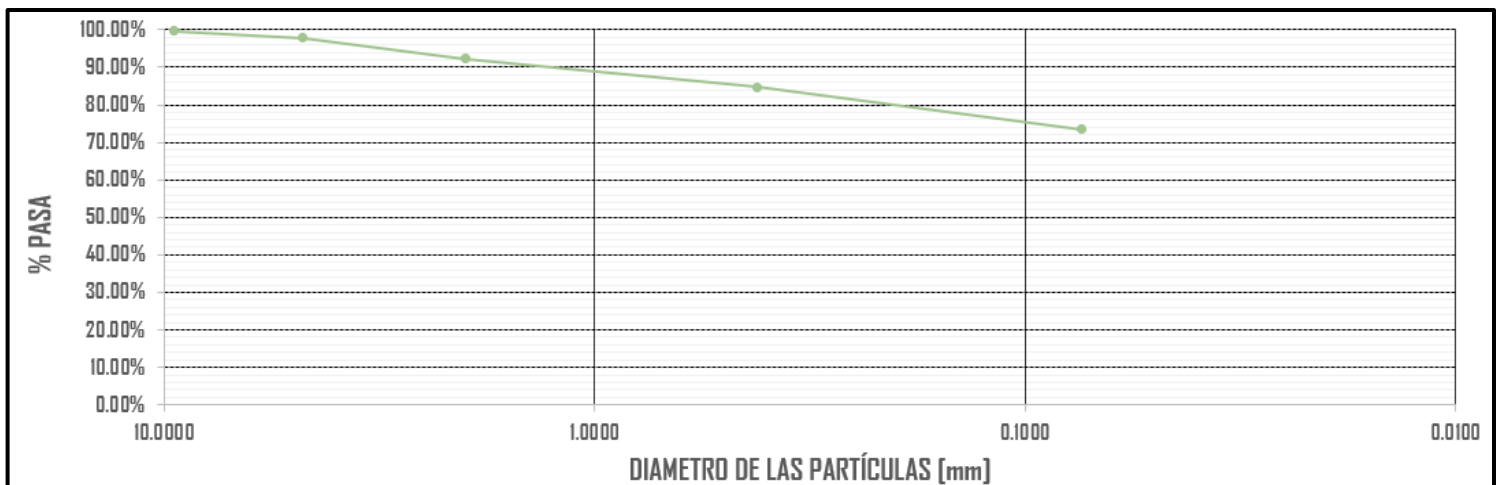
Tabla 18

Resultados del análisis granulométrico de la muestra de suelo 3

Tamiz N°	Abertura [mm]	Retenido (gr)	Ret. Acu (gr)	% Retenido	%Pasa
3/8	9.51	1.5	1.5	0.36%	99.64%
N4	4.76	8	9.5	2.27%	97.73%
N10	2.00	22.5	32	7.64%	92.36%
N40	0.42	32	64	15.27%	84.73%
N200	0.07	47	111	26.49%	73.51%
FONDO	-	0	0	0.00%	
SUMA		111.00		52.02%	

Figura 21

Curva granulométrica de la muestra de suelo 3



De acuerdo con la granulometría presentada en la tabla 18, se obtiene una curva mal graduada, ya que se tiene únicamente agregado fino; en el cual el porcentaje que pasa el tamiz N°200 es igual al 73.51%, la cantidad resultante después del lavado corresponde a 111 gr, es decir 389 gr menos que la muestra inicial.

3.2. Determinación del límite líquido (LL)

Este ensayo se realizó a los tres tipos de suelo, tanto en estado natural, como al suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cemento, debido a que con estos resultados se puede verificar el rango en el que el suelo está trabajando, garantizando así que la estructura del pavimento no presente daños.

Se tomó una muestra de 200gr para cada tipo de suelo en estado natural y para las muestras estabilizadas se determinó la relación del peso del suelo con cada porcentaje establecido de cemento, las cuales deben pasar por el tamiz N°40, posteriormente se adiciona agua arbitrariamente hasta que el primer punto se cierre entre 35 a 42 golpes y los siguientes puntos entre 5 a 8 golpes menos, aumentando la cantidad de agua.

Figura 22

Implementos a utilizar para el ensayo de Límites de Atterberg



Figura 23

Colocación de la muestra en la cuchara de Casagrande



Figura 24

Realización del ensayo Límite Líquido



Figura 25

Ranura de la muestra de suelo



3.2.1. Muestra de suelo 1

- **Suelo natural**

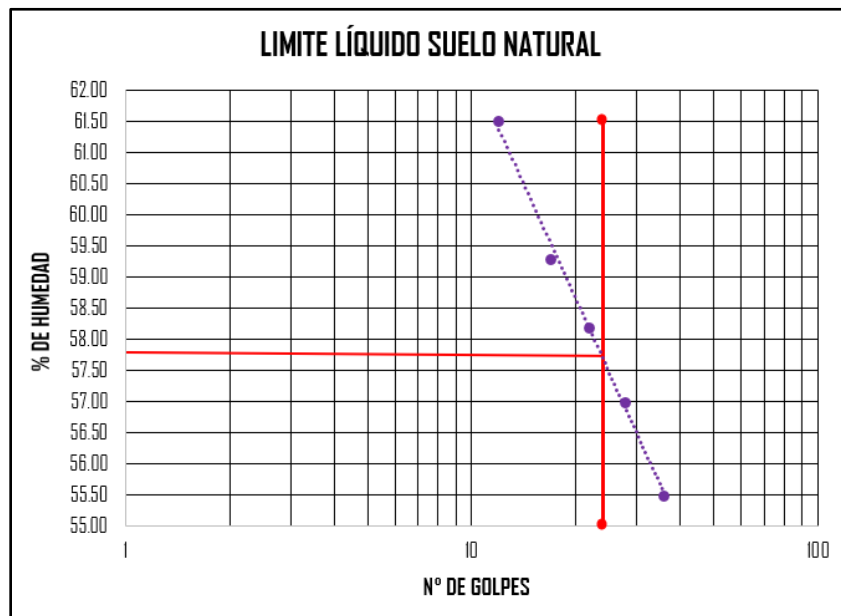
Tabla 19

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 en estado natural

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	V2	7 Emi	02K	45K	P1KD
N° DE GOLPES	36	28	22	17	12
M.HUEDAD+TARRO	31.37	30.56	54.37	24.3	86.17
M.SECA+TARRO	24.28	23.9	50.31	19.06	79.88
PESO DEL AGUA	7.09	6.66	4.06	5.24	6.29
PESO DEL TARRO	11.5	12.21	43.33	10.22	69.65
PESO MUESTRA SECA	12.78	11.69	6.98	8.84	10.23
% DE HUMEDAD	55.48	56.97	58.17	59.28	61.49

Figura 26

Gráfica del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 en estado natural



De acuerdo con la figura 26, el gráfico se realizó con las cinco pruebas, entre ellas se dibuja una línea de tendencia para proyectar el límite líquido a los 25 golpes, en este caso se obtiene un valor de 57.9%

- **Suelo estabilizado con 9% de cemento**

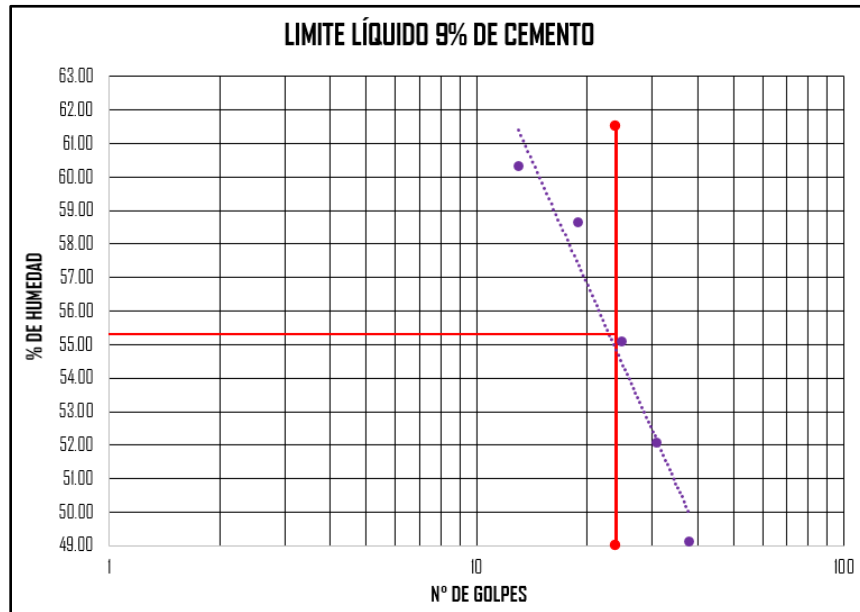
Tabla 20

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 con 9% de cemento

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	E61	V6	72	D	VE
Nº DE GOLPES	38	31	25	19	13
M.HUEDAD+TARRO	19.71	20.69	19.59	23.59	18.51
M.SECA+TARRO	17.23	17.77	17.04	20.36	16.17
PESO DEL AGUA	2.48	2.92	2.55	3.23	2.34
PESO DEL TARRO	12.18	12.16	12.41	14.85	12.29
PESO MUESTRA SECA	5.05	5.61	4.63	5.51	3.88
% DE HUMEDAD	49.11	52.05	55.08	58.62	60.31

Figura 27

Gráfica del ensayo de límite líquido con 9% de cemento



De acuerdo con la figura 27, el límite líquido es de 55.1% a los 25 golpes. Esta muestra posee una cantidad de 182 gr de suelo natural y se adicionó 18 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 10% de cemento**

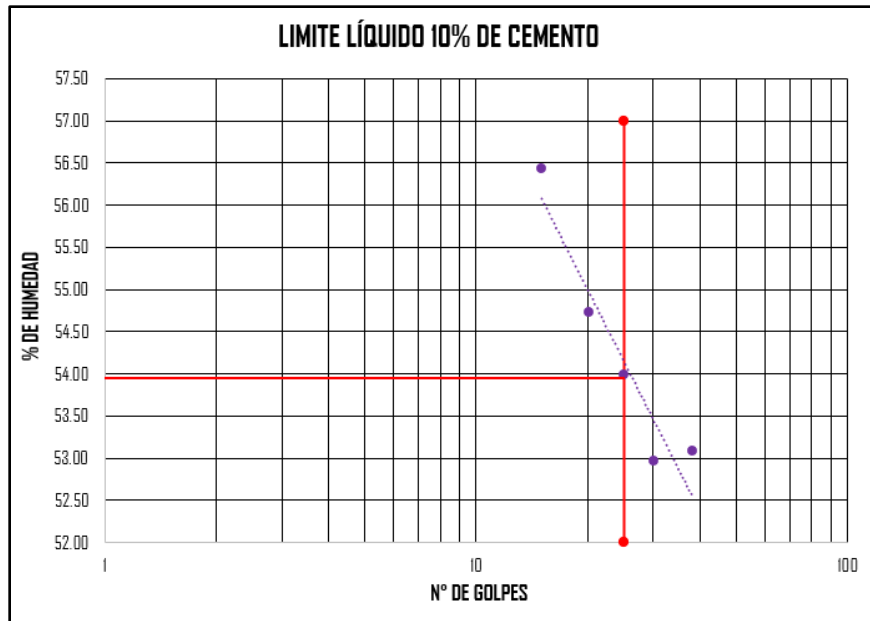
Tabla 21

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 con 10% de cemento

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	S3	5	4	45	B7
Nº DE GOLPES	38	30	25	20	15
M.HUEDAD+TARRO	24.94	18.83	19.01	21.18	20
M.SECA+TARRO	19.86	15.8	15.9	17.25	16.45
PESO DEL AGUA	5.08	3.03	3.11	3.93	3.55
PESO DEL TARRO	10.29	10.08	10.14	10.07	10.16
PESO MUESTRA SECA	9.57	5.72	5.76	7.18	6.29
% DE HUMEDAD	53.08	52.97	53.99	54.74	56.44

Figura 28

Gráfica del ensayo de límite líquido con 10% de cemento



De acuerdo con la figura 28, el límite líquido es de 53.9% a los 25 golpes. Esta muestra posee una cantidad de 180 gr de suelo natural y se adicionó 20 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 11% de cemento**

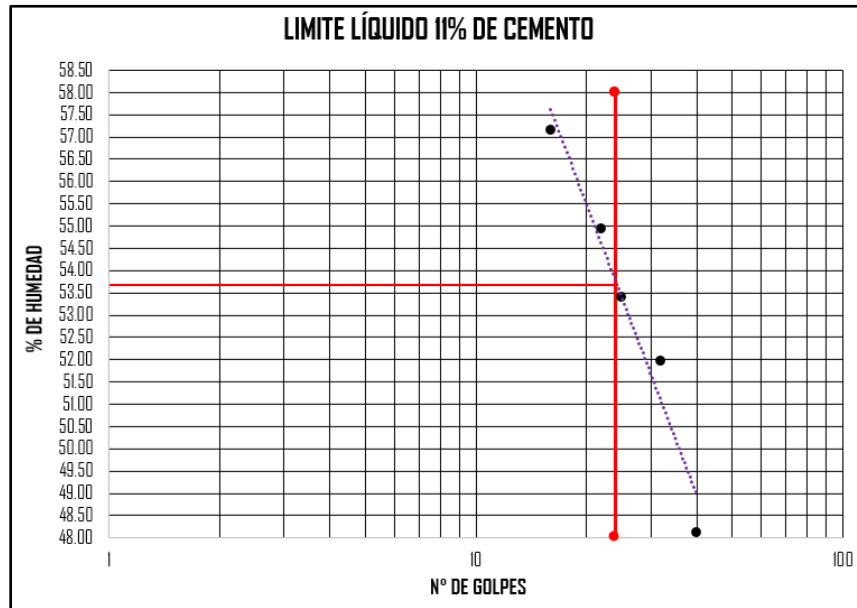
Tabla 22

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 con 11% de cemento

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	b	P1	17	P4	P3
N° DE GOLPES	40	32	25	22	16
M.HUEDAD+TARRO	35.75	20.8	29.37	16.62	20.06
M.SECA+TARRO	31.26	17.38	26.55	14.51	16.42
PESO DEL AGUA	4.49	3.42	2.82	2.11	3.64
PESO DEL TARRO	21.93	10.8	21.27	10.67	10.05
PESO MUESTRA SECA	9.33	6.58	5.28	3.84	6.37
% DE HUMEDAD	48.12	51.98	53.41	54.95	57.14

Figura 29

Gráfica del ensayo de límite líquido con 11% de cemento



De acuerdo con la figura 29, el límite líquido es de 53.7% a los 25 golpes. Esta muestra posee una cantidad de 178 gr de suelo natural y se adicionó 22 gr de cemento.

3.2.2. Muestra de suelo 2

- Suelo natural

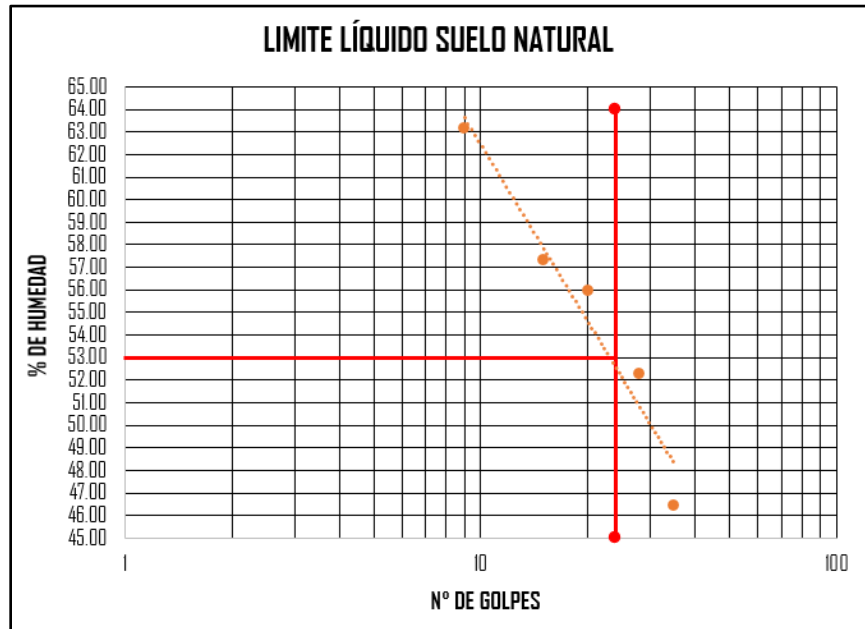
Tabla 23

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 en estado natural

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	4	KH	149	11	OKA
Nº DE GOLPES	35	28	20	15	9
M.HUEDAD+TARRO	23.25	28.11	31.85	25.51	27.13
M.SECA+TARRO	19.71	22.72	25.93	19.96	20.62
PESO DEL AGUA	3.54	5.39	5.92	5.55	6.51
PESO DEL TARRO	12.09	12.41	15.35	10.28	10.31
PESO MUESTRA SECA	7.62	10.31	10.58	9.68	10.31
% DE HUMEDAD	46.46	52.28	55.95	57.33	63.14

Figura 30

Gráfica del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 en estado natural



De acuerdo con la figura 30, el límite líquido es de 53% a los 25 golpes.

- **Suelo estabilizado con 9% de cemento**

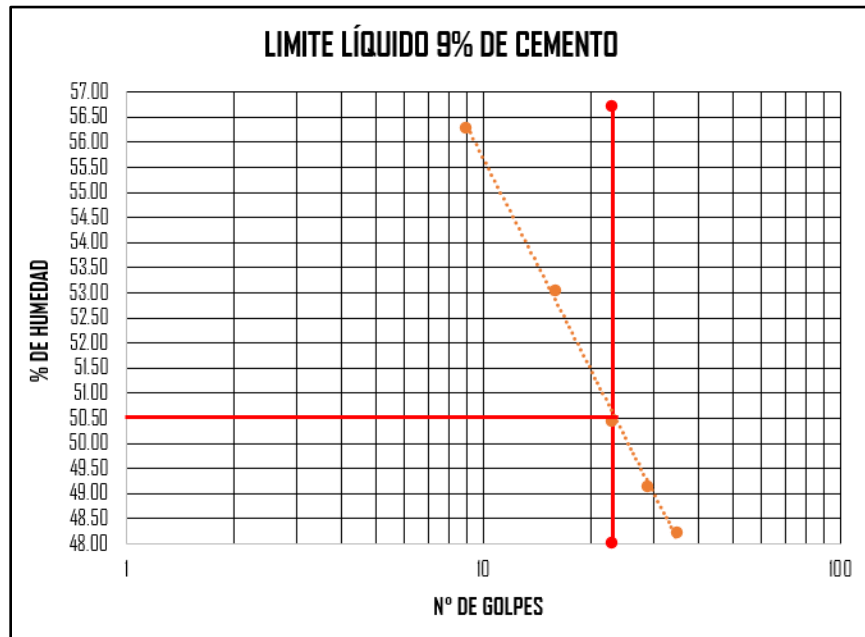
Tabla 24

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 con 9% de cemento

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	6	50	8	5	02K
Nº DE GOLPES	35	29	23	16	9
M.HUEDAD+TARRO	29.21	34.53	31.64	29.1	49.97
M.SECA+TARRO	26.78	30.12	28.07	26.65	47.59
PESO DEL AGUA	2.43	4.41	3.57	2.45	2.38
PESO DEL TARRO	21.74	21.14	20.99	22.03	43.36
PESO MUESTRA SECA	5.04	8.98	7.08	4.62	4.23
% DE HUMEDAD	48.21	49.11	50.42	53.03	56.26

Figura 31

Gráfica del ensayo de límite líquido con 9% de cemento



De acuerdo con la figura 31, el límite líquido es de 50.5% a los 25 golpes. Esta muestra posee una cantidad de 182 gr de suelo natural y se adicionó 18 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 10% de cemento**

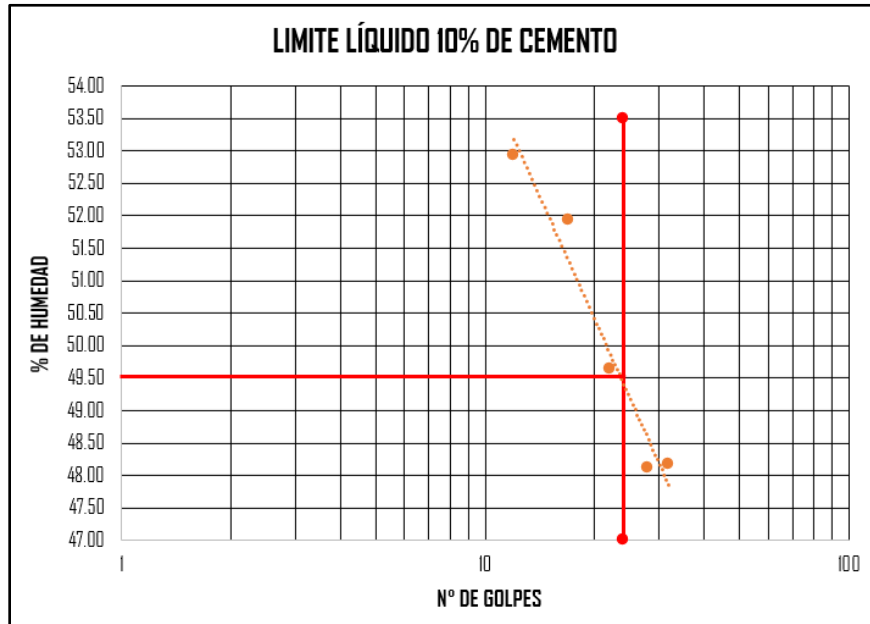
Tabla 25

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 con 10% de cemento

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	VE	25	209	P3	19
Nº DE GOLPES	32	28	22	17	12
M.HUEDAD+TARRO	21.89	31.08	19.85	23.89	22.75
M.SECA+TARRO	18.73	28.01	17.05	19.16	19.13
PESO DEL AGUA	3.16	3.07	2.8	4.73	3.62
PESO DEL TARRO	12.17	21.63	11.41	10.05	12.29
PESO MUESTRA SECA	6.56	6.38	5.64	9.11	6.84
% DE HUMEDAD	48.17	48.12	49.65	51.92	52.92

Figura 32

Gráfica del ensayo de límite líquido con 10% de cemento



De acuerdo con la figura 32, el límite líquido es de 49.5% a los 25 golpes. Esta muestra posee una cantidad de 180 gr de suelo natural y se adicionó 20 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 11% de cemento**

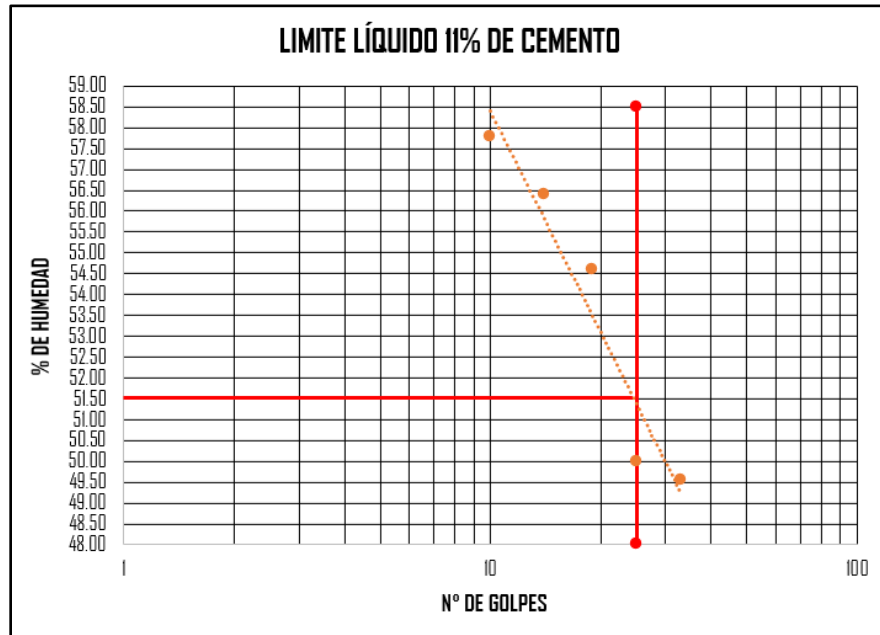
Tabla 26

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 con 11% de cemento

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	2	B1	FL8	11	13
N° DE GOLPES	25	33	19	14	10
M.HUEDAD+TARRO	19.13	20.09	19.19	19.22	19.06
M.SECA+TARRO	16.15	16.82	15.99	16	15.79
PESO DEL AGUA	2.98	3.27	3.2	3.22	3.27
PESO DEL TARRO	10.19	10.22	10.13	10.29	10.13
PESO MUESTRA SECA	5.96	6.6	5.86	5.71	5.66
% DE HUMEDAD	50.00	49.55	54.61	56.39	57.77

Figura 33

Gráfica del ensayo de límite líquido con 11% de cemento



De acuerdo con la figura 33, el límite líquido es de 51.5% a los 25 golpes. Esta muestra posee una cantidad de 178 gr de suelo natural y se adicionó 22 gr de cemento.

3.2.3. Muestra de suelo 3

- Suelo natural

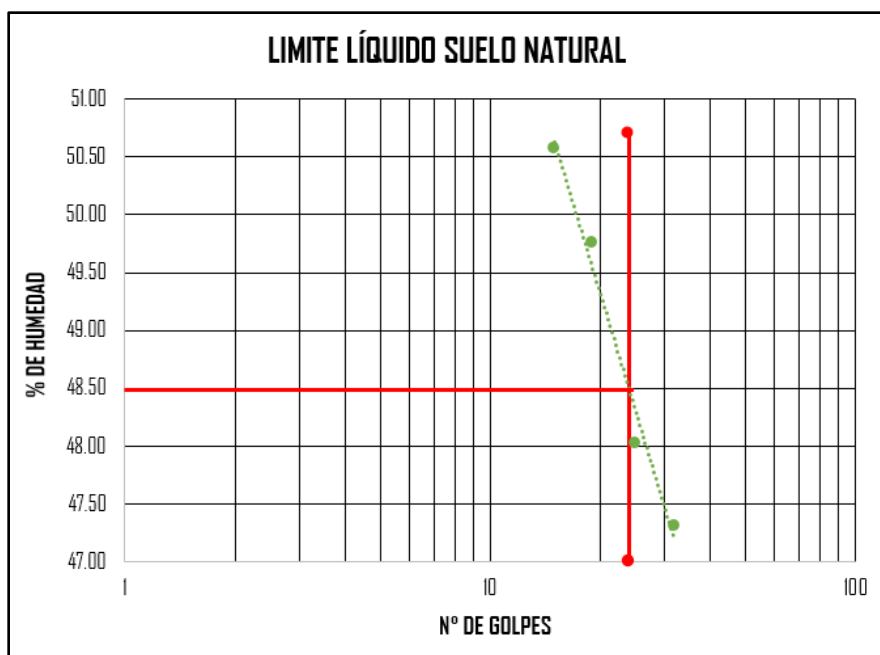
Tabla 27

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 3 en estado natural

LÍMITE LÍQUIDO				
Tarro N°	1	12	E61	200
Nº DE GOLPES	32	25	19	15
M.HUEDAD+TARRO	28.37	28.02	24.92	29.23
M.SECA+TARRO	23.01	22.91	20.68	23.57
PESO DEL AGUA	5.36	5.11	4.24	5.66
PESO DEL TARRO	11.68	12.27	12.16	12.38
PESO MUESTRA SECA	11.33	10.64	8.52	11.19
% DE HUMEDAD	47.31	48.03	49.77	50.58

Figura 34

Gráfica del ensayo de límite líquido en estado natural



De acuerdo con la figura 34, el límite líquido es de 48.5% a los 25 golpes.

- **Suelo estabilizado con 9% de cemento**

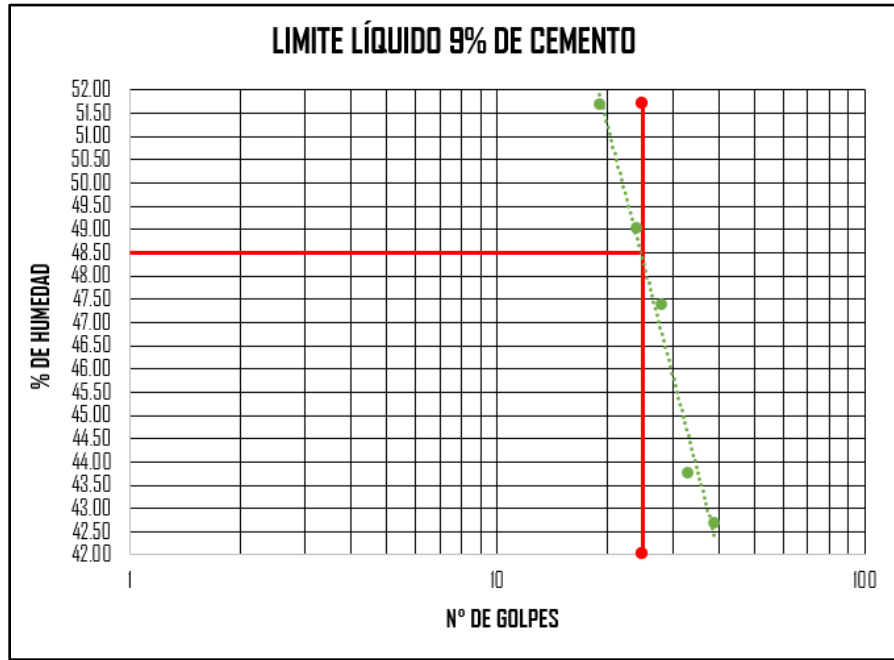
Tabla 28

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 3 con 9% de cemento

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	E61	V5	149	72	D
N° DE GOLPES	39	33	28	24	19
M.HUEDAD+TARRO	22.1	22.69	22.99	19.34	21.19
M.SECA+TARRO	19.13	19.53	20.56	17.06	19.03
PESO DEL AGUA	2.97	3.16	2.43	2.28	2.16
PESO DEL TARRO	12.17	12.31	15.43	12.41	14.85
PESO MUESTRA SECA	6.96	7.22	5.13	4.65	4.18
% DE HUMEDAD	42.67	43.77	47.37	49.03	51.67

Figura 35

Gráfica del ensayo de límite líquido con 9% de cemento



De acuerdo con la figura 35, el límite líquido es de 48.5% a los 25 golpes. Esta muestra posee una cantidad de 182 gr de suelo natural y se adicionó 18 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 10% de cemento**

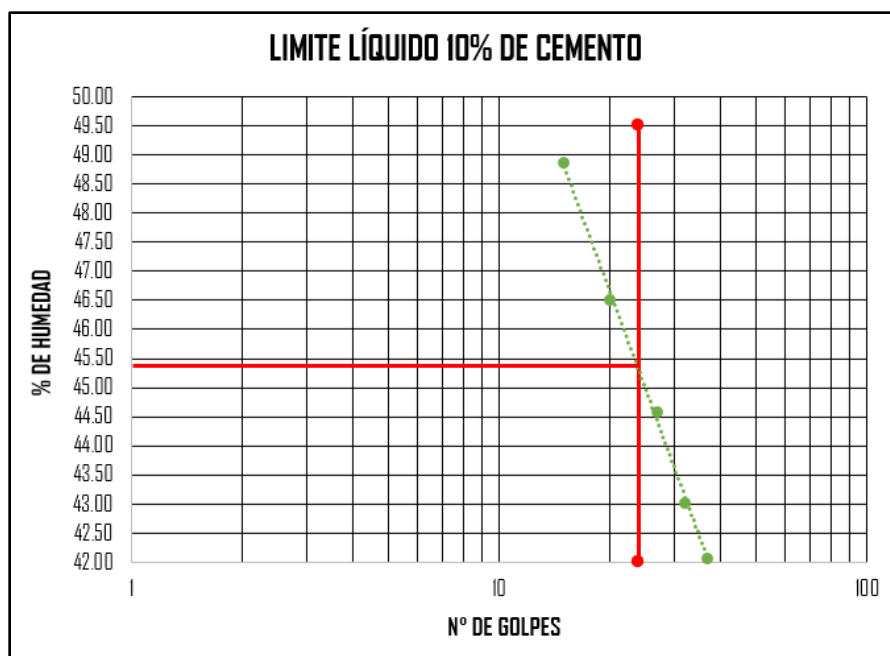
Tabla 29

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 3 con 10% de cemento

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	P1	P4	b	17	12A
Nº DE GOLPES	37	32	27	20	15
M.HUEDAD+TARRO	20.03	20.18	31.5	29.21	33.08
M.SECA+TARRO	17.3	17.32	28.55	26.69	29.46
PESO DEL AGUA	2.73	2.86	2.95	2.52	3.62
PESO DEL TARRO	10.81	10.67	21.93	21.27	22.05
PESO MUESTRA SECA	6.49	6.65	6.62	5.42	7.41
% DE HUMEDAD	42.06	43.01	44.56	46.49	48.85

Figura 36

Gráfica del ensayo de límite líquido con 10% de cemento



De acuerdo con la figura 36, el límite líquido es de 45.4% a los 25 golpes. Esta muestra posee una cantidad de 180 gr de suelo natural y se adicionó 20 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 11% de cemento**

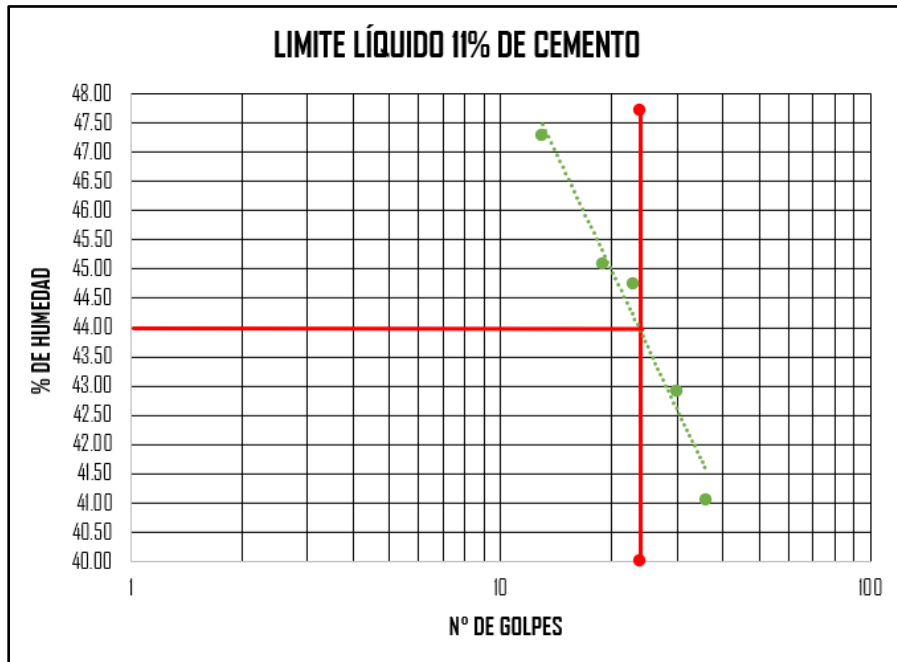
Tabla 30

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 3 con 11% de cemento

LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N°	4	P5	J9	222	OTA
Nº DE GOLPES	36	30	23	19	13
M.HUEDAD+TARRO	24.53	23.73	23.87	22.55	25.83
M.SECA+TARRO	20.91	20.25	20.26	19.39	21.49
PESO DEL AGUA	3.62	3.48	3.61	3.16	4.34
PESO DEL TARRO	12.09	12.14	12.19	12.38	12.31
PESO MUESTRA SECA	8.82	8.11	8.07	7.01	9.18
% DE HUMEDAD	41.04	42.91	44.73	45.08	47.28

Figura 37

Gráfica del ensayo de límite líquido con 11% de cemento



De acuerdo con la figura 37, el límite líquido es de 44% a los 25 golpes. Esta muestra posee una cantidad de 178 gr de suelo natural y se adicionó 22 gr de cemento.

3.3. Determinación del Límite Plástico (LP)

En este ensayo se toma un porcentaje pequeño de la muestra obtenida para el ensayo de Límite líquido y se añade cierta cantidad de agua, suficiente para formar un rollo de 3mm en superficie lisa, hasta que estas se comiencen a agrietar en toda su longitud. Este procedimiento se realizó cuatro veces, para poder obtener los datos correctos de humedad.

Figura 38

Realización de rollos



Figura 39

División de rollos



Figura 40

Muestras naturales y estabilizadas para determinación del límite plástico



3.3.1. Muestra de suelo 1

- **Suelo natural**

Tabla 31

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 1 en estado natural

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N	KB4	72	H101	IB6	
M.HUEDAD+TARRO	7.94	8.01	4.98	7.1	
M.SECA+TARRO	7.62	7.7	4.81	6.97	
PESO DEL AGUA	0.32	0.31	0.17	0.13	
PESO DEL TARRO	6.53	6.66	4.11	6.53	
PESO MUESTRA SECA	1.09	1.04	0.7	0.44	PROM.
% DE HUMEDAD	29.36	29.81	24.29	29.55	29.57

Se puede observar en la tabla 31, que el límite plástico es de 29.57%, además de ello, es importante realizar este ensayo las cuatro veces para poder obtener un promedio real, en este caso se visualiza que el tercer porcentaje es de 24.29%, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

- **Suelo estabilizado con 9% de cemento**

Tabla 32

Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 1 con 9% de cemento

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	7B	B6	69	1	
M.HUEDAD+TARRO	6.95	8.89	10.17	6.74	
M.SECA+TARRO	6.06	8.14	8.99	5.96	
PESO DEL AGUA	0.89	0.75	1.18	0.78	
PESO DEL TARRO	4.09	6.53	6.57	4.08	
PESO MUESTRA SECA	1.97	1.61	2.42	1.88	PROM.
% DE HUMEDAD	45.18	46.58	48.76	41.49	46.84

Se puede observar en la tabla 32, que el límite plástico es de 46.84%, en este caso se visualiza que el cuarto porcentaje es de 41.49%, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

- **Suelo estabilizado con 10% de cemento**

Tabla 33

Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 1 con 10% de cemento

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	2	3	5	112	
M.HUEDAD+TARRO	8.76	6.46	8.72	9.05	
M.SECA+TARRO	8.07	5.74	8.09	8.31	
PESO DEL AGUA	0.69	0.72	0.63	0.74	
PESO DEL TARRO	6.52	4.09	6.57	6.56	
PESO MUESTRA SECA	1.55	1.65	1.52	1.75	PROM.
% DE HUMEDAD	44.52	43.64	41.45	42.29	43.48

Se puede observar en la tabla 33, que el límite plástico es de 43.48%, en este caso se visualiza que el tercer porcentaje es de 41.45%, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

- **Suelo estabilizado con 11% de cemento**

Tabla 34

Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 1 con 11% de cemento

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	209	V5	25	12A	
M.HUEDAD+TARRO	13.04	14.63	23.7	25.01	
M.SECA+TARRO	12.59	13.95	23.12	24.15	
PESO DEL AGUA	0.45	0.68	0.58	0.86	
PESO DEL TARRO	11.4	12.32	21.64	22.05	
PESO MUESTRA SECA	1.19	1.63	1.48	2.1	PROM.
% DE HUMEDAD	37.82	41.72	39.19	40.95	40.62

Se puede observar en la tabla 34, que el límite plástico es de 40.62%, en este caso se visualiza que el primer porcentaje es de 37.82%, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

3.3.2. Muestra de suelo 2

- **Suelo natural**

Tabla 35

Resultados del ensayo de límite líquido de la muestra de suelo 2 en estado natural

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	V4	6	5	B1	
M.HUEDAD+TARRO	13.85	12.96	14.53	11.59	
M.SECA+TARRO	13.37	12.74	13.94	11.26	
PESO DEL AGUA	0.48	0.22	0.59	0.33	
PESO DEL TARRO	12.11	12.13	12.34	10.22	
PESO MUESTRA SECA	1.26	0.61	1.6	1.04	PROM.
% DE HUMEDAD	38.10	36.07	36.88	31.73	35.69

Se puede observar en la tabla 35, que el límite plástico es de 35.69%, en este caso se visualiza que el cuarto porcentaje es de 31.73%, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

- **Suelo estabilizado con 9% de cemento**

Tabla 36

Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 2 con 9% de cemento

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	B5	KB4	207	2	
M.HUEDAD+TARRO	9.67	9.47	7.49	6.77	
M.SECA+TARRO	8.75	8.59	6.5	5.96	
PESO DEL AGUA	0.92	0.88	0.99	0.81	
PESO DEL TARRO	6.63	6.54	4.33	4.1	
PESO MUESTRA SECA	2.12	2.05	2.17	1.86	PROM.
% DE HUMEDAD	43.40	42.93	45.62	43.55	43.29

Se puede observar en la tabla 36, que el límite plástico es de 43.29%, en este caso se visualiza que el tercer porcentaje es de 45.62 %, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

- **Suelo estabilizado con 10% de cemento**

Tabla 37

Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 2 con 10% de cemento

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	1	69	7B	3	
M.HUEDAD+TARRO	6.81	9.19	7.11	6.58	
M.SECA+TARRO	5.99	8.4	6.21	5.86	
PESO DEL AGUA	0.82	0.79	0.9	0.72	
PESO DEL TARRO	4.08	6.56	4.09	4.09	
PESO MUESTRA SECA	1.91	1.84	2.12	1.77	PROM.
% DE HUMEDAD	42.93	42.93	42.45	40.68	42.77

Se puede observar en la tabla 37, que el límite plástico es de 42.77%, en este caso se visualiza que el cuarto porcentaje es de 40.68%, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

- **Suelo estabilizado con 11% de cemento**

Tabla 38

Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 2 con 11% de cemento

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	P5	P11	P14	P7	
M.HUEDAD+TARRO	12.91	12.25	13.03	13.17	
M.SECA+TARRO	12.13	11.6	12.25	12.55	
PESO DEL AGUA	0.78	0.65	0.78	0.62	
PESO DEL TARRO	10.24	10.05	10.36	11.06	
PESO MUESTRA SECA	1.89	1.55	1.89	1.49	PROM.
% DE HUMEDAD	41.27	41.94	41.27	41.61	41.52

Se puede observar en la tabla 38, que el límite plástico es de 41.52%, en este caso se visualiza que no existen valores atípicos.

3.3.3. Muestra de suelo 3

- **Suelo natural**

Tabla 39

Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 3 en estado natural

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	19	21	32	7	
M.HUEDAD+TARRO	14.28	15.33	13.73	12.38	
M.SECA+TARRO	13.82	14.66	13.43	12.17	
PESO DEL AGUA	0.46	0.67	0.3	0.21	
PESO DEL TARRO	12.3	12.42	12.3	11.41	
PESO MUESTRA SECA	1.52	2.24	1.13	0.76	PROM.
% DE HUMEDAD	30.26	29.91	26.55	27.63	28.59

Se puede observar en la tabla 39, que el límite plástico es de 28.59%, en este caso se visualiza que el primer porcentaje es de 30.26%, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

- **Suelo estabilizado con 9% de cemento**

Tabla 40

Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 3 con 9% de cemento

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	5	4	B7	S3	
M.HUEDAD+TARRO	13.19	13.78	12.9	13.14	
M.SECA+TARRO	12.34	12.73	12.13	12.3	
PESO DEL AGUA	0.85	1.05	0.77	0.84	
PESO DEL TARRO	10.09	10.14	10.23	10.28	
PESO MUESTRA SECA	2.25	2.59	1.9	2.02	PROM.
% DE HUMEDAD	37.78	40.54	40.53	41.58	40.88

Se puede observar en la tabla 40, que el límite plástico es de 40.88%, en este caso se visualiza que el primer porcentaje es de 37.78%, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

- **Suelo estabilizado con 10% de cemento**

Tabla 41

Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 3 con 10% de cemento

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	2	5	112	B6	
M.HUEDAD+TARRO	8.83	10.56	9.57	9.09	
M.SECA+TARRO	8.16	9.39	8.67	8.33	
PESO DEL AGUA	0.67	1.17	0.9	0.76	
PESO DEL TARRO	6.52	6.56	6.56	6.53	
PESO MUESTRA SECA	1.64	2.83	2.11	1.8	PROM.
% DE HUMEDAD	40.85	41.34	42.65	42.22	42.07

Se puede observar en la tabla 41, que el límite plástico es de 42.07%, en este caso se visualiza que el primer porcentaje es de 40.85%, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

- **Suelo estabilizado con 11% de cemento**

Tabla 42

Resultados del ensayo de límite plástico de la muestra de suelo 3 con 11% de cemento

LÍMITE PLÁSTICO					
Tarro N°	OKA	10	7	4B	
M.HUEDAD+TARRO	14.56	13.08	7.55	7.99	
M.SECA+TARRO	13.32	12.27	6.52	6.87	
PESO DEL AGUA	1.24	0.81	1.03	1.12	
PESO DEL TARRO	10.25	10.21	4.09	4.08	
PESO MUESTRA SECA	3.07	2.06	2.43	2.79	PROM.
% DE HUMEDAD	40.39	39.32	42.39	40.14	40.97

Se puede observar en la tabla 42, que el límite plástico es de 40.97%, en este caso se visualiza que el tercer porcentaje es de 42.39%, siendo un dato atípico, por lo que no se tomó en cuenta al momento de realizar el promedio.

3.4. Determinación del Índice de Plasticidad

A continuación, se presentan los valores obtenidos de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

3.4.1. Muestra de suelo 1

Tabla 43

Resultados del ensayo del índice de plasticidad de la muestra de suelo 1

MUESTRA DE SUELO 1	
TIPO DE SUELO	IP
Natural	28.33
9% cemento	8.26
10% cemento	10.42
11% cemento	13.08

3.4.2. Muestra de suelo 2

Tabla 44

Resultados del ensayo del índice de plasticidad de la muestra de suelo 2

MUESTRA DE SUELO 2	
TIPO DE SUELO	IP
Natural	17.31
9% cemento	7.21
10% cemento	6.73
11% cemento	9.98

3.4.3. Muestra de suelo 3

Tabla 45

Resultados del ensayo del índice de plasticidad de la muestra de suelo 3

MUESTRA DE SUELO 3	
TIPO DE SUELO	IP
Natural	19.91
9% cemento	7.62
10% cemento	3.33
11% cemento	3.03

3.5. Ensayo Proctor modificado

“Para la realización de este ensayo se toma en cuenta el método C de la norma ASTM D-1557, el cual especifica que se debe compactar en 5 capas de 56 golpes con un martillo de peso de 44.5 N” (Bowles, 1981).

Inicialmente se secó el material y se trituró para obtener el espécimen pasante del tamiz N°4, posteriormente se tomaron 4 porciones de 5500gr de cada muestra, se obtuvo la humedad natural de cada una, y con ello se proyectó la cantidad de agua a adicionar en cada porción y luego se graficó la curva humedad óptima vs densidad seca; verificando que, si el segundo punto tiene

un peso menor al punto anterior, se deberá adicionar agua, y si es mayor se deberá disminuir el agua.

Hay que resaltar que este ensayo se realizó únicamente a las muestras de suelo natural.

Figura 41

Trituración del material



Figura 42

Tamizado del material



Figura 43

Pesaje del material



Figura 44

Realización del ensayo Proctor



3.5.1. Muestra de suelo 1

Tabla 46

Resultados de la obtención de densidad húmeda de la muestra de suelo 1

ENSAYO DE COMPACTACIÓN				
DATOS DE LA CURVA				
Muestra	1	2	3	4
Humedad añadida en %	8.58	11.58	14.58	17.58
Agua aumentada en cc	0	586	740	890
Peso molde cilíndrico + suelo húmedo	10257	10894	10902	10763
Peso molde cilíndrico sin collarín	6594	6594	6594	6594
Peso suelo húmedo	3663	4300	4308	4169
Volumen del molde sin collarín	2129.84	2129.84	2129.84	2129.84
Densidad húmeda en kg/m³	1719.85	2018.93	2022.69	1957.42

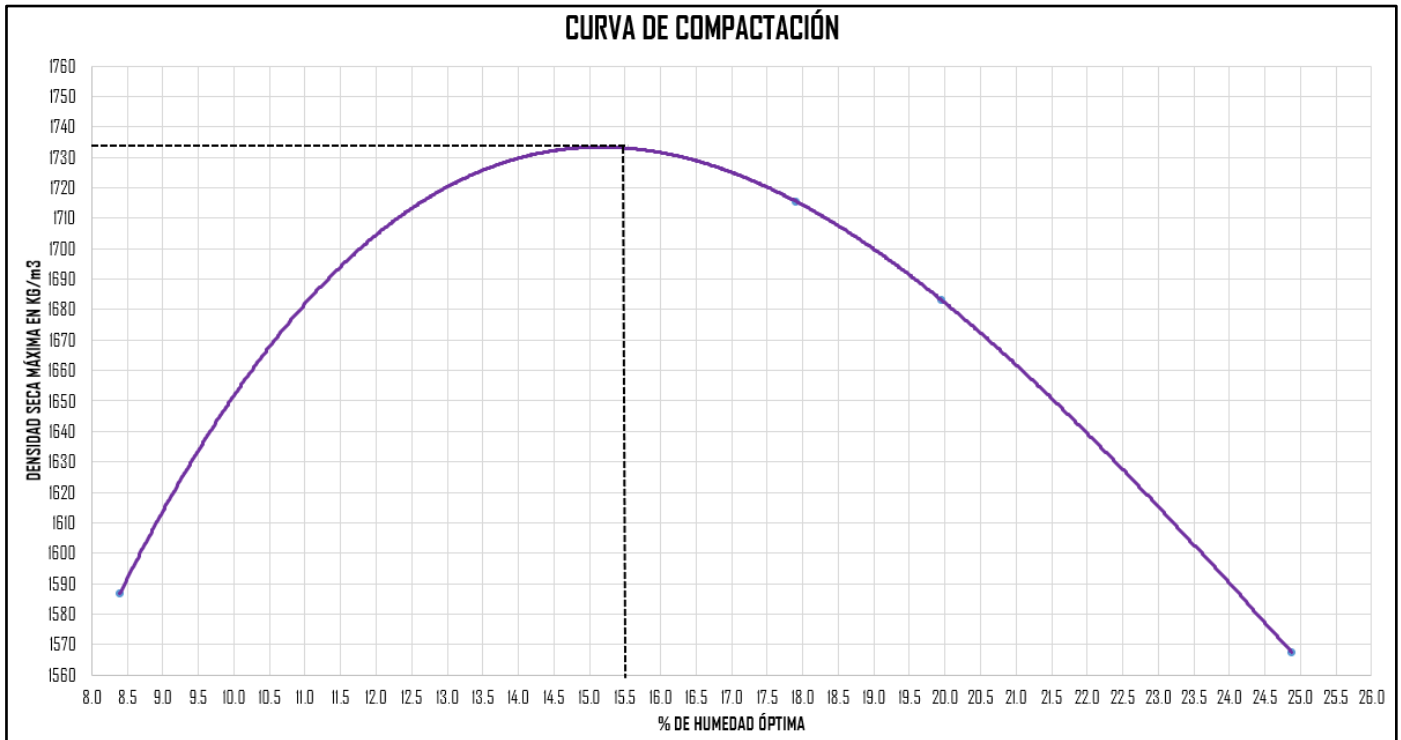
Tabla 47

Resultados de la obtención de densidad seca de la muestra de suelo 1

CONTENIDO DE HUMEDAD								
Número del tarro	F	2BJ	15	Ag	1B	02K	CH3	0
Peso del tarro más suelo húmedo	206.49	197.98	163.08	163.22	163.62	114.14	214.63	212.64
Peso del tarro más suelo seco	197.01	189.33	147.02	147.49	148.79	103.39	188.36	187.56
Peso del agua	9.48	8.65	16.06	15.73	14.83	10.75	26.27	25.08
Peso del tarro	84.46	85.91	67.47	67.68	65.91	43.39	84.65	84.88
Peso del suelo seco	112.55	103.42	79.55	79.81	82.88	60	103.71	102.68
Contenido de agua en %	8.42	8.36	20.19	19.71	17.89	17.92	25.33	24.43
Contenido promedio de agua en %	8.39		19.95		17.91		24.88	
Densidad seca en kg/m³	1586.67		1683.16		1715.52		1567.47	

Figura 45

Obtención de la humedad óptima de la muestra de suelo 1



Para hallar el porcentaje óptimo de humedad se debe visualizar el punto máximo en la curva de compactación y se traza una línea hasta el eje vertical, posteriormente se traza una línea perpendicular a esta, en el punto máximo.

En la figura 45, se obtiene la densidad seca máxima con un valor de 1732 Kg/m³ y una humedad óptima de 15.5%.

3.5.2. Muestra de suelo 2

Tabla 48

Resultados de la obtención de densidad húmeda de la muestra de suelo 2

ENSAYO DE COMPACTACIÓN				
DATOS DE LA CURVA				
Muestra	1	2	3	4
Humedad añadida en %	13.85	16.85	22.85	31.85
Agua aumentada en cc	706	860	1170	1630
Peso molde cilíndrico + suelo húmedo	10300.5	10585.5	10655	10292
Peso molde cilíndrico sin collarín	6594	6594	6594	6594
Peso suelo húmedo	3706.5	3991.5	4061	3698
Volumen del molde sin collarín	2129.84	2129.84	2129.84	2129.84
Densidad húmeda en kg/m³	1740.27	1874.08	1906.72	1736.28

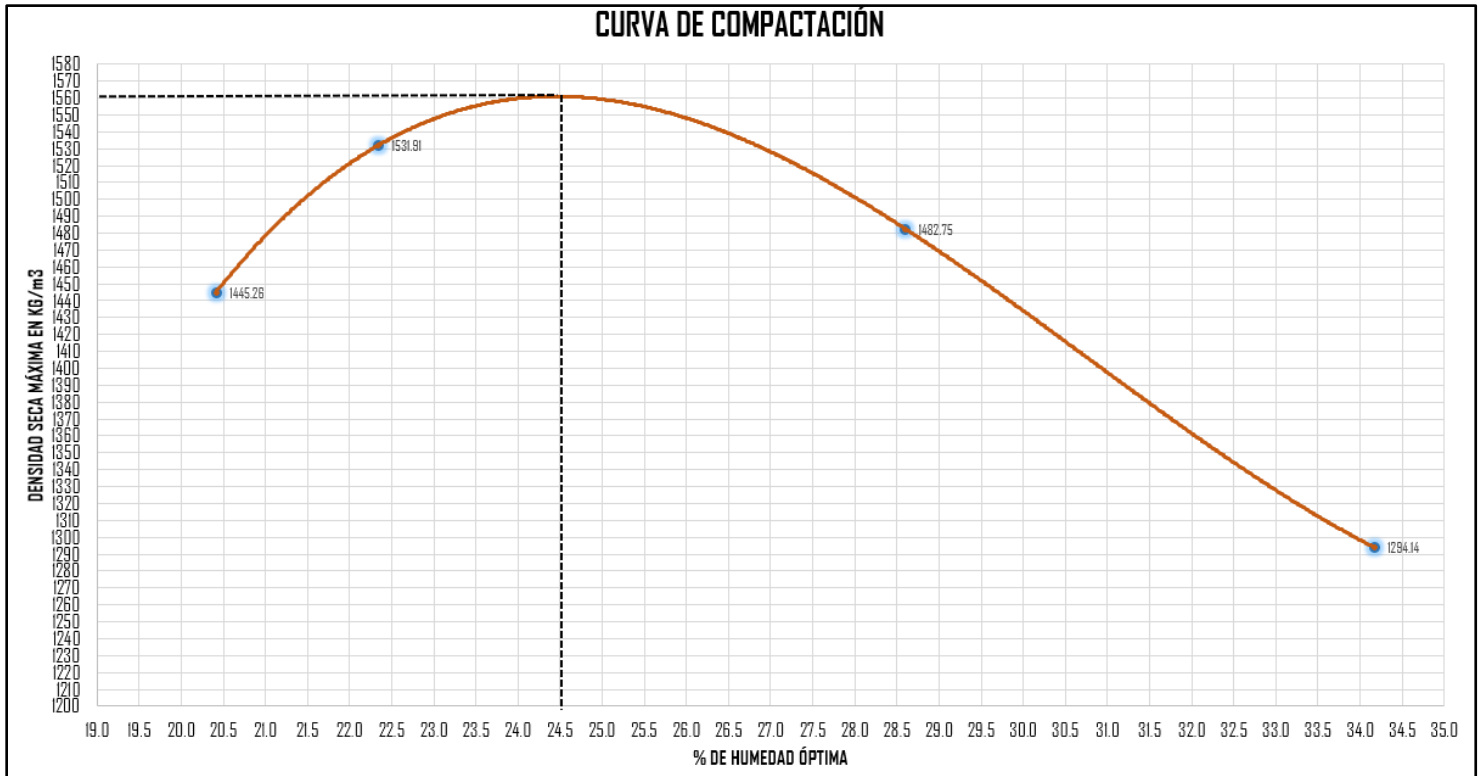
Tabla 49

Resultados de la obtención de densidad seca de la muestra de suelo 2

CONTENIDO DE HUMEDAD								
Número del tarro	100	25	18	20	19	CB1	A6	512
Peso del tarro más suelo húmedo	101.47	104.34	100.83	99.33	101.15	113.28	146.1	174.68
Peso del tarro más suelo seco	89.17	91.63	87.63	86.62	85.04	94.71	120.05	146.64
Peso del agua	12.3	12.71	13.2	12.71	16.11	18.57	26.05	28.04
Peso del tarro	29.1	29.17	29.38	28.88	29.18	29.2	43.67	64.71
Peso del suelo seco	60.07	62.46	58.25	57.74	55.86	65.51	76.38	81.93
Contenido de agua en %	20.48	20.35	22.66	22.01	28.84	28.35	34.11	34.22
Contenido promedio de agua en %	20.41		22.34		28.59		34.17	
Densidad seca en kg/m³	1445.26		1531.91		1482.75		1294.14	

Figura 46

Obtención de la humedad óptima de la muestra de suelo 2



En la figura 46, se obtiene la densidad seca máxima con un valor de 1560 Kg/m³ y una humedad óptima de 24.5%.

3.5.3. Muestra de suelo 3

Tabla 50

Resultados de la obtención de densidad húmeda de la muestra de suelo 3

ENSAYO DE COMPACTACIÓN				
DATOS DE LA CURVA				
Muestra	1	2	3	4
Humedad añadida en %	12.38	15.38	17	18.38
Agua aumentada en cc	640	795	880	950
Peso molde cilíndrico + suelo húmedo	10787	10865	10741	10696
Peso molde cilíndrico sin collarín	6594	6594	6594	6594
Peso suelo húmedo	4193	4271	4147	4102
Volumen del molde sin collarín	2129.84	2129.84	2129.84	2129.84
Densidad húmeda en kg/m³	1968.69	2005.31	1947.09	1925.97

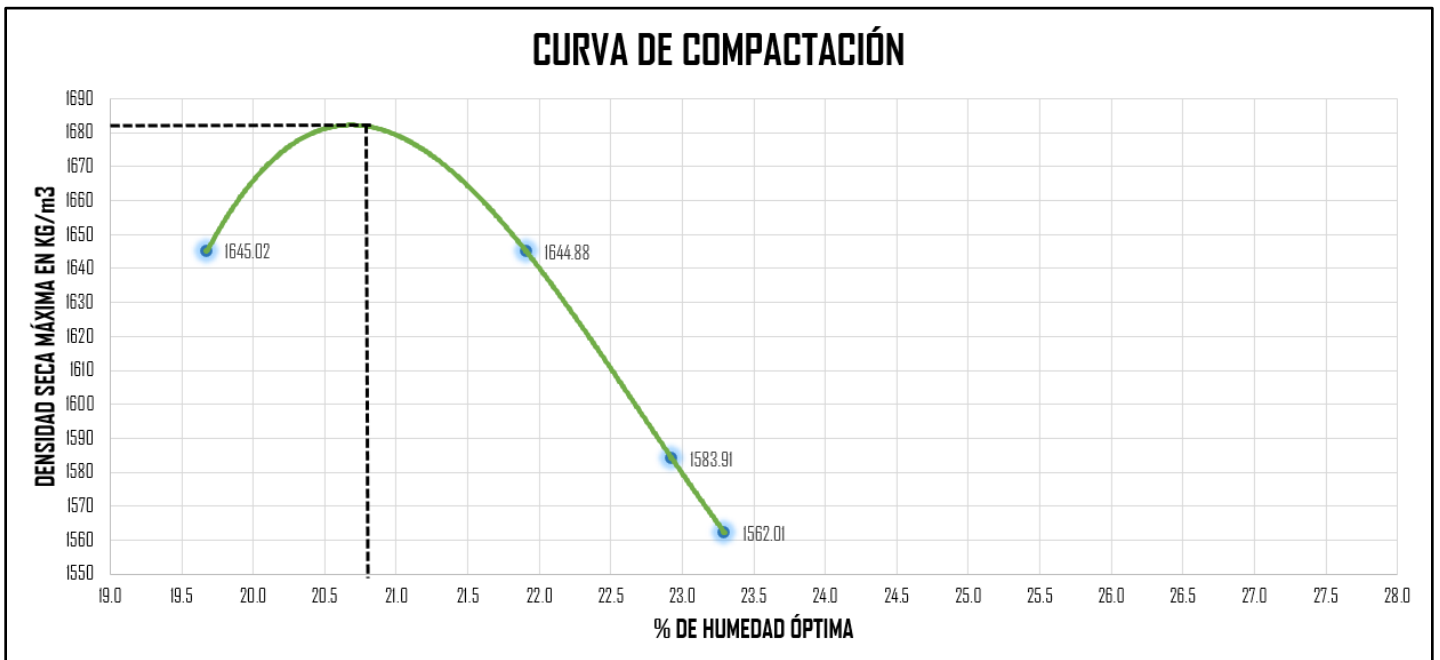
Tabla 51

Resultados de la obtención de densidad seca de la muestra de suelo 3

CONTENIDO DE HUMEDAD								
Número del tarro	JD	P1	D7	7C2	1H	18	8	K
Peso del tarro más suelo húmedo	194.6	205.25	138.38	127.8	156.39	219.26	130.31	136
Peso del tarro más suelo seco	174.09	182.21	121.33	112.79	137.06	190.63	115.45	118.72
Peso del agua	20.51	23.04	17.05	15.01	19.33	28.63	14.86	17.28
Peso del tarro	65.38	69.74	44.08	43.79	52.68	65.89	52.64	43.4
Peso del suelo seco	108.71	112.47	77.25	69	84.38	124.74	62.81	75.32
Contenido de agua en %	18.87	20.49	22.07	21.75	22.91	22.95	23.66	22.94
Contenido promedio de agua en %	19.68		21.91		22.93		23.30	
Densidad seca en kg/m³	1645.02		1644.88		1583.91		1562.01	

Figura 47

Obtención de la humedad óptima de la muestra de suelo 3



En la figura 47, se obtiene la densidad seca máxima con un valor de 1680 Kg/m³ y una humedad óptima de 20.75%.

3.6. Ensayo CBR

Inicialmente se secó el material y se trituró para obtener el espécimen pasante del tamiz N°4, posteriormente se tomaron 3 porciones de 5500gr de cada muestra, para el suelo natural y para el suelo estabilizado se sustituye el porcentaje de cemento en función del peso seco.

“Este ensayo permite obtener el índice de CBR de una muestra de suelo, a una densidad seca máxima al 95% del ensayo Proctor modificado, este debe ser compactado con 5 capas con una energía de compactación de 12, 25 y 56 golpes con un martillo de peso de 44.5 N en cada uno” (ASTM D1883-07, 2009).

“Las muestras se preparan con la humedad óptima obtenida de cada suelo en el ensayo de Proctor modificado restada la humedad natural de suelo, realizada la compactación del suelo se procede a encerrar la muestra con ayuda del deformímetro para ser sumergido en el agua durante 4 días según la normativa, durante estos días se debe realizar una medición con el deformímetro para conocer su hinchamiento o expansión del suelo, este proceso se realiza cada 24 horas. Transcurridos los cuatro días se retiran los moldes del agua y se los deja escurrir para ejecutar el ensayo de resistencia al corte del suelo en el quipo CBR, los datos conseguidos de las lecturas en la prensa se grafican para determinar el valor exacto de índice de CBR” (Arévalo & Cabrera, 2022).

Figura 48

Preparación de la muestra para ensayo CBR



Figura 49

Compactación de la muestra para ensayo CBR



Figura 50

Encerado de la muestra mediante el deformímetro



Figura 51

Sumergido de las muestras en agua



3.6.1. Muestra de suelo 1

- **Suelo natural**

Tabla 52

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 1 en estado natural

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	2.89	1749.00
Molde 25 golpes	2.28	1638.00
Molde 12 golpes	1.91	1547.00

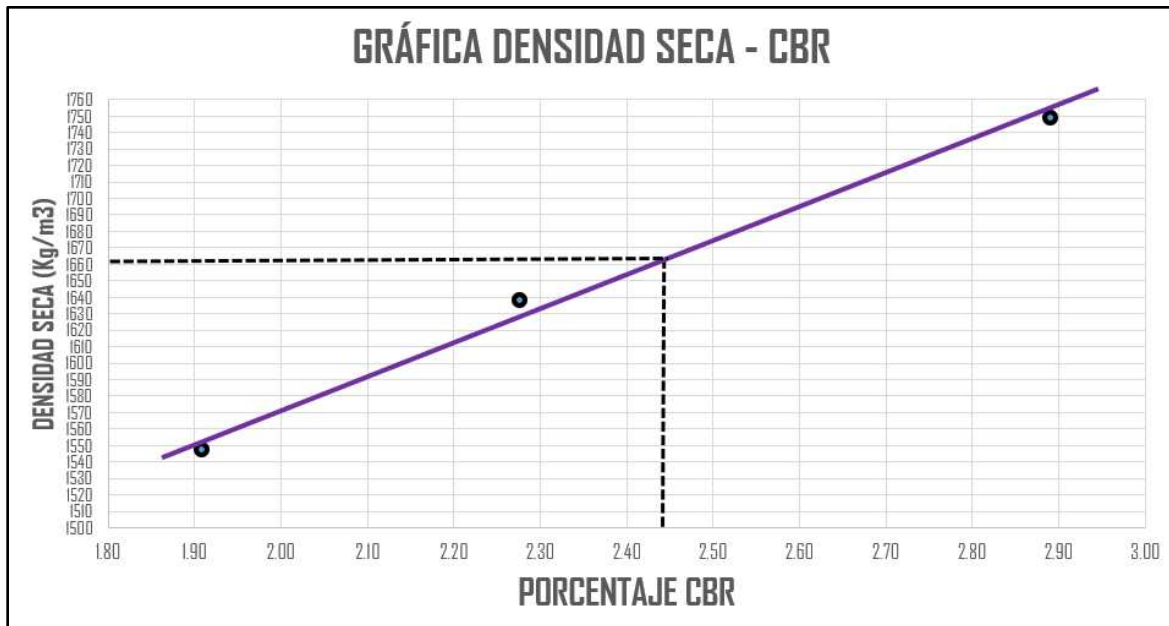
Tabla 53

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 en estado natural

Molde 56 golpes	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	1749.00	1661.55

Figura 52

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 en estado natural



Como se muestra en la figura 52, el valor del CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 2.44%.

- **Suelo estabilizado con 9% de cemento**

Tabla 54

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 1 con 9% de cemento

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	31.73	1960.00
Molde 25 golpes	23.39	1685.00
Molde 12 golpes	18.60	1602.00

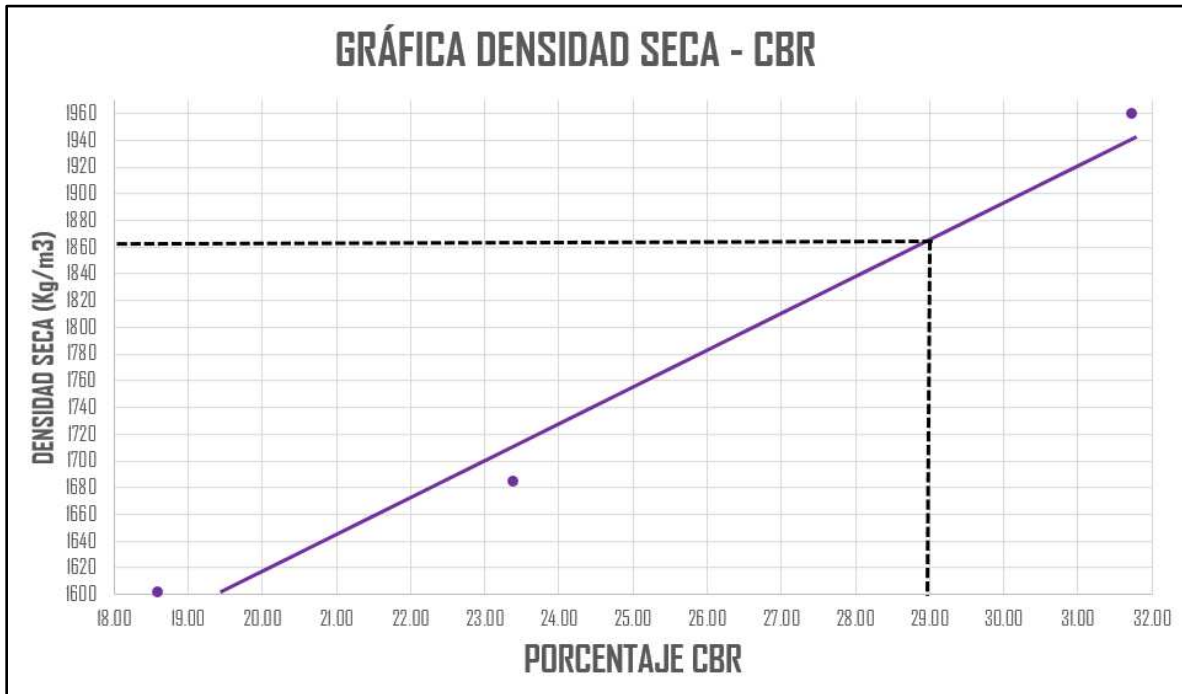
Tabla 55

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 9% de cemento

Molde	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
56 golpes	1960.00	1862.00

Figura 53

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 9% de cemento



En la figura 53, el valor del CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 29%. Esta muestra posee una cantidad de 5051 gr de suelo natural y se adicionó 449 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 10% de cemento**

Tabla 56

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 1 con 10% de cemento

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	41.55	1862.00
Molde 25 golpes	34.80	1672.00
Molde 12 golpes	27.44	1609.00

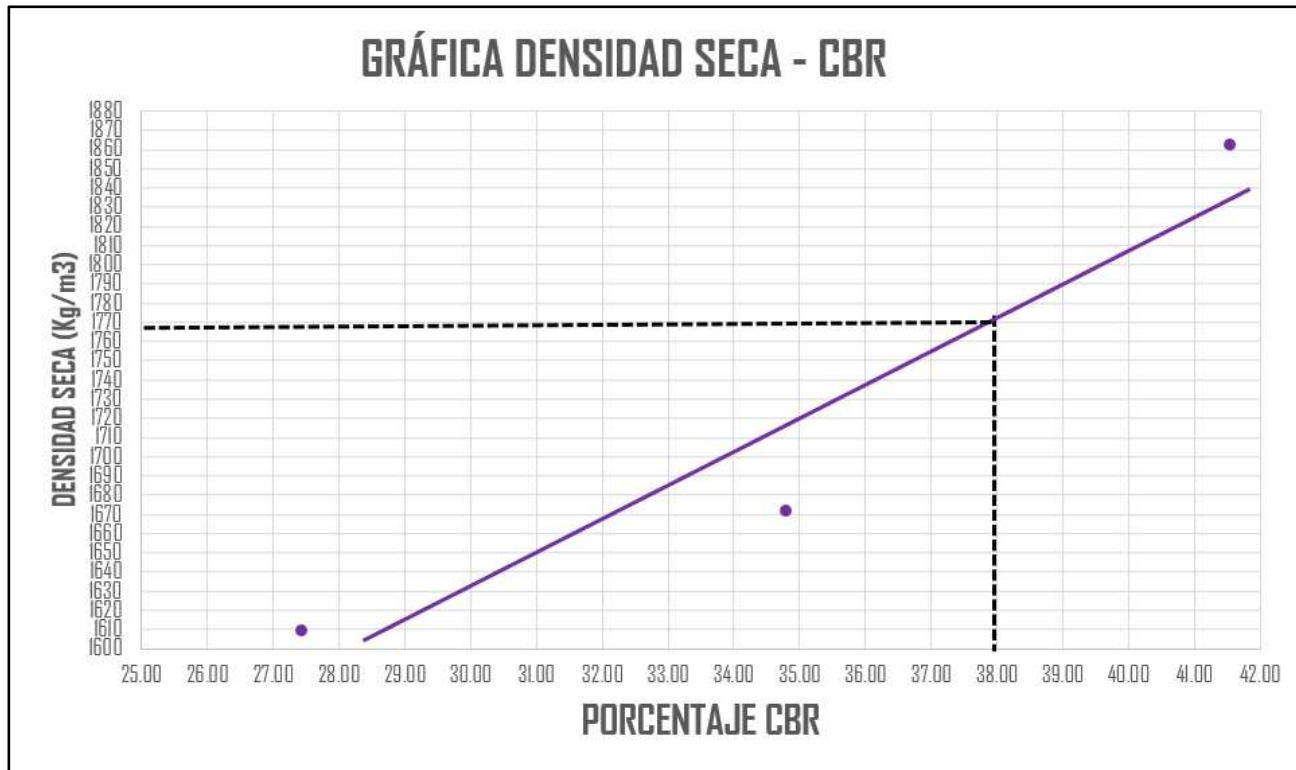
Tabla 57

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 10% de cemento

MOLDE 56 GOLPES	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	1862.00	1768.90

Figura 54

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 10% de cemento



En la figura 54, el valor del CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 38%. Esta muestra posee una cantidad de 5002 gr de suelo natural y se adicionó 498 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 11% de cemento**

Tabla 58

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 1 con 11% de cemento

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	50.51	1762.00
Molde 25 golpes	44.86	1659.00
Molde 12 golpes	36.03	1616.00

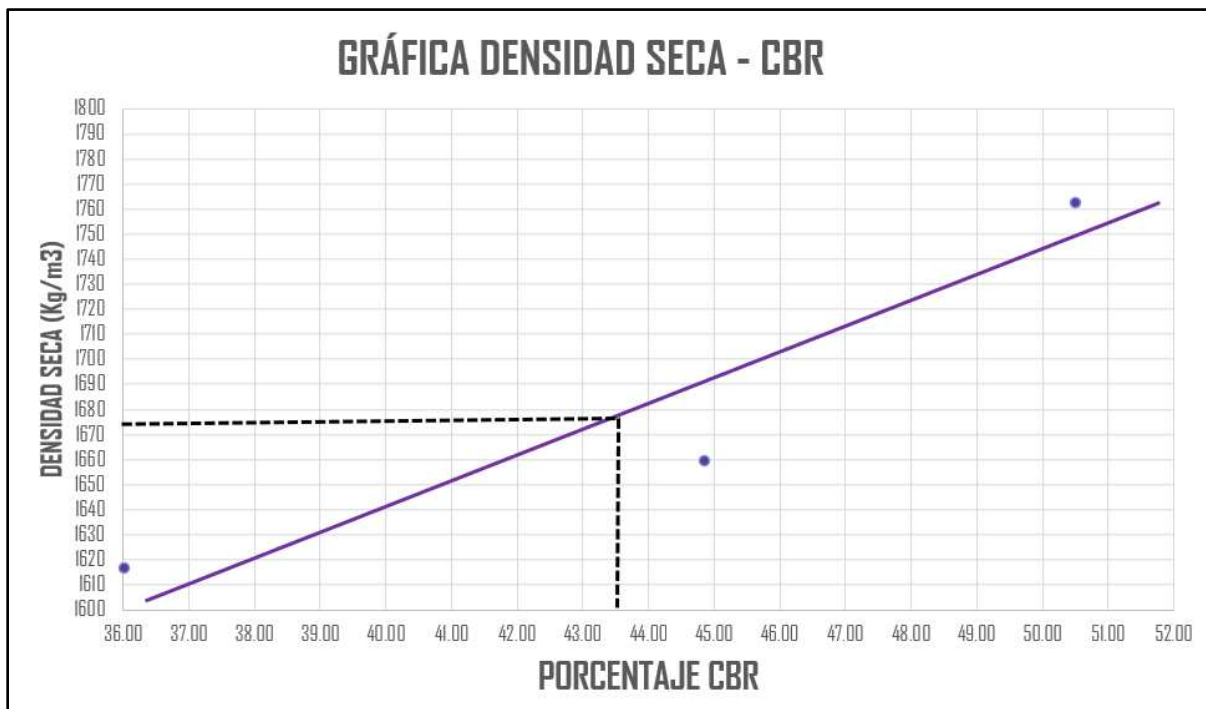
Tabla 59

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 11% de cemento

Molde 56 golpes	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	1762.00	1673.90

Figura 55

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 1 con 11% de cemento



En la figura 55, el valor del CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 43.5%. Esta muestra posee una cantidad de 4990 gr de suelo natural y se adicionó 510 gr de cemento.

3.6.2. Muestra de suelo 2

- **Suelo natural**

Tabla 60

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 2 en estado natural

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	3.24	1559.00
Molde 25 golpes	2.99	1527.00
Molde 12 golpes	2.61	1427.00

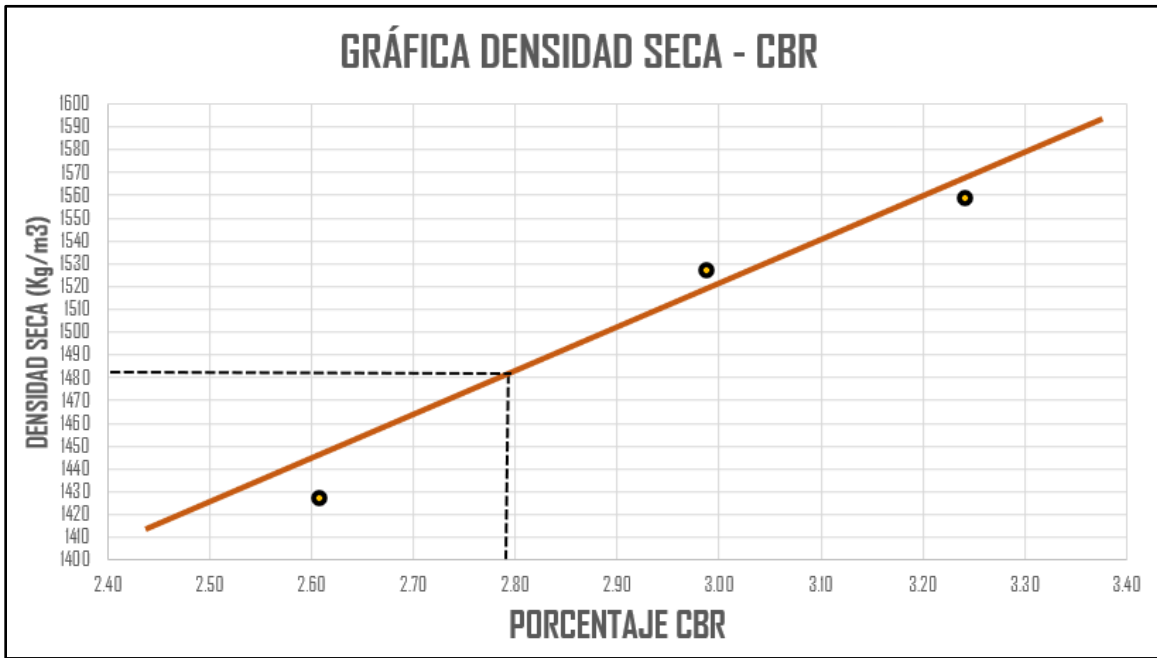
Tabla 61

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 en estado natural

Molde 56 golpes	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	1559.00	1481.05

Figura 56

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 en estado natural



En la figura 56, el valor del CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 2.78%.

- **Suelo estabilizado con 9% de cemento**

Tabla 62

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 2 con 9% de cemento

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	43.02	2234.00
Molde 25 golpes	37.87	1529.00
Molde 12 golpes	31.86	1451.00

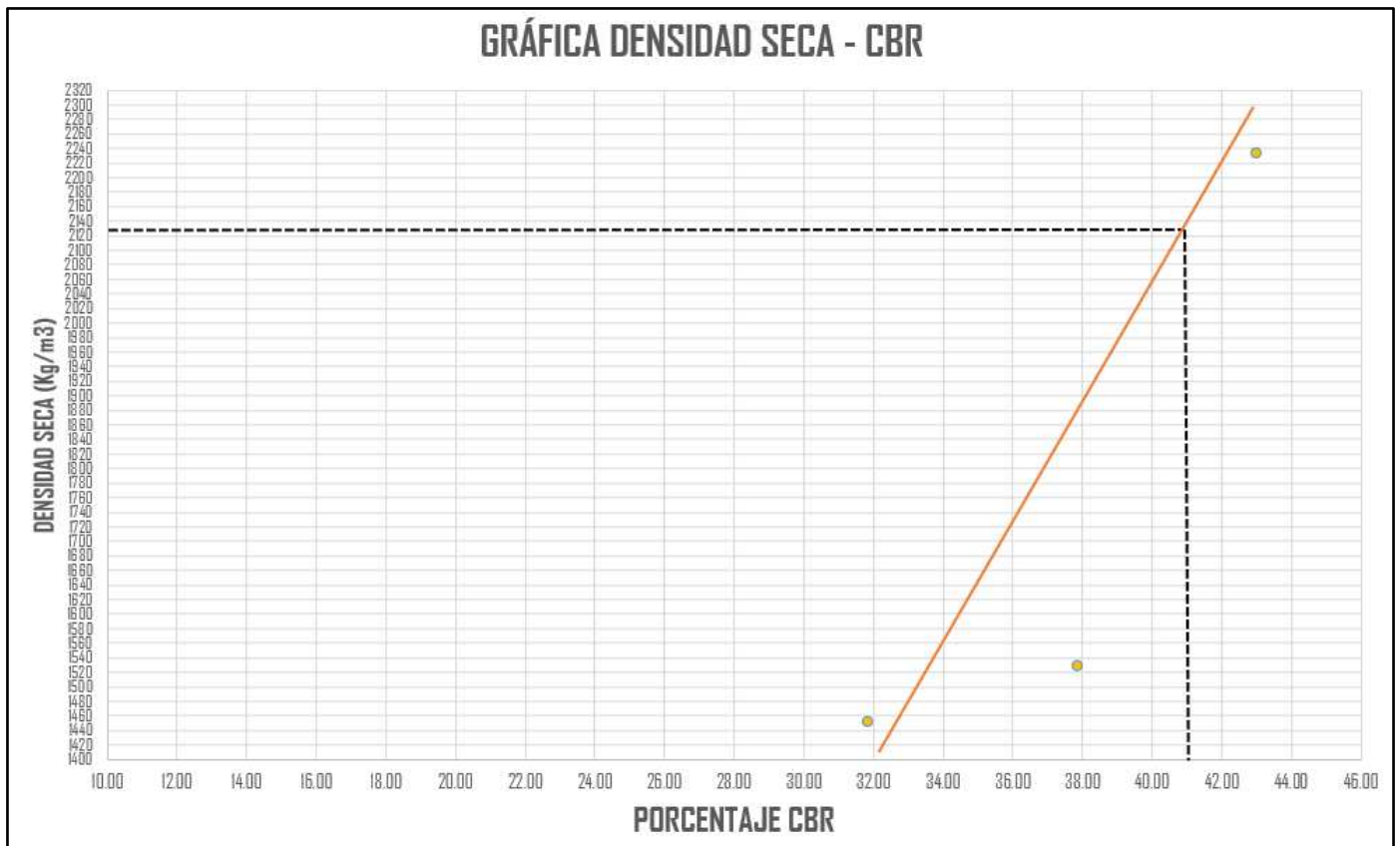
Tabla 63

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 9% de cemento

Molde 56 golpes	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	2234.00	2122.30

Figura 57

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 9% de cemento



En la figura 57, el valor del CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 41%. Esta muestra posee una cantidad de 5082 gr de suelo natural y se adicionó 418 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 10% de cemento**

Tabla 64

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 2 con 10% de cemento

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	45.23	2264.00
Molde 25 golpes	38.48	1571.00
Molde 12 golpes	32.47	1268.00

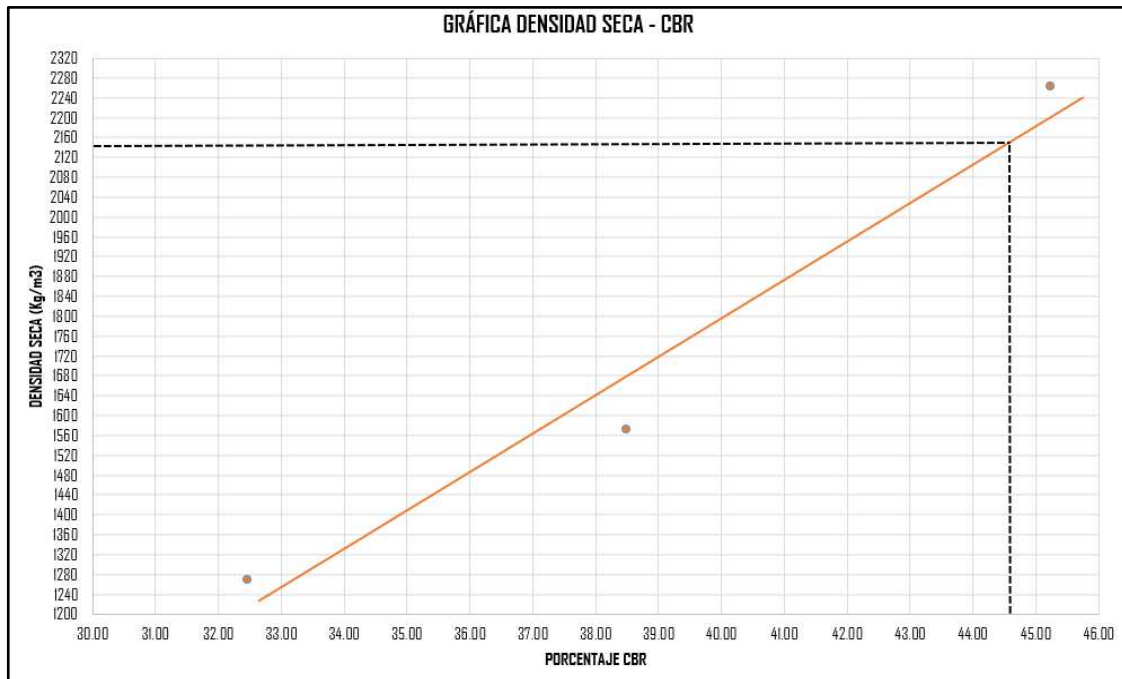
Tabla 65

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 10% de cemento

Molde 56 golpes	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	2264.00	2150.80

Figura 58

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 10% de cemento



En la figura 58, el valor del CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 44.6%. Esta muestra posee una cantidad de 5035 gr de suelo natural y se adicionó 465 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 11% de cemento**

Tabla 66

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 2 con 11% de cemento

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	48.06	2413.00
Molde 25 golpes	39.71	1597.00
Molde 12 golpes	32.96	1446.00

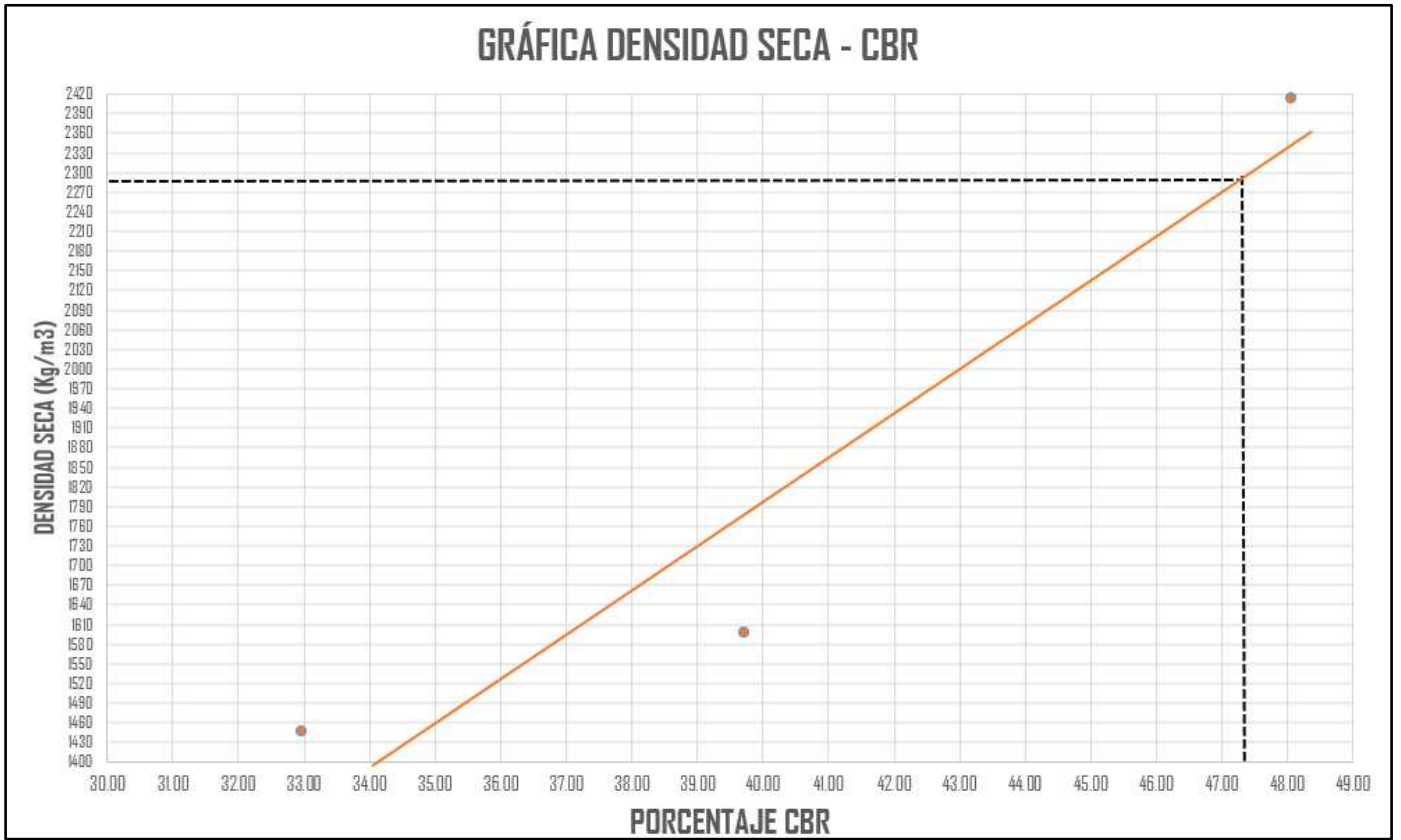
Tabla 67

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 11% de cemento

Molde 56 golpes	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	2413.00	2292.35

Figura 59

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 2 con 11% de cemento



En la figura 59, el valor del CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 47.3%. Esta muestra posee una cantidad de 4990 gr de suelo natural y se adicionó 510 gr de cemento.

3.6.3. Muestra de suelo 3

- Suelo natural

Tabla 68

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 3 en estado natural

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	3.26	1680.00
Molde 25 golpes	1.91	1628.00
Molde 12 golpes	0.93	1534.00

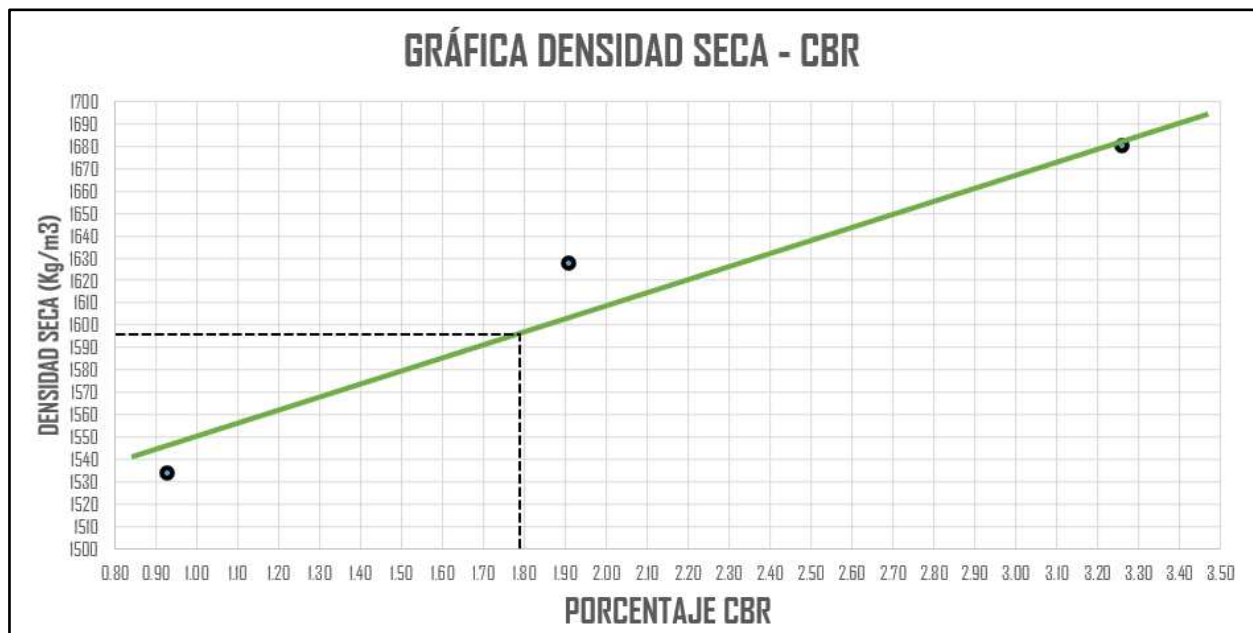
Tabla 69

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 en estado natural

Molde 56 golpes	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	1680.00	1596.00

Figura 60

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 en estado natural



En la figura 60, el valor del CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 1.79%.

- **Suelo estabilizado con 9% de cemento**

Tabla 70

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 3 con 9% de cemento

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	46.83	1648.00
Molde 25 golpes	39.10	1615.00
Molde 12 golpes	36.27	1591.00

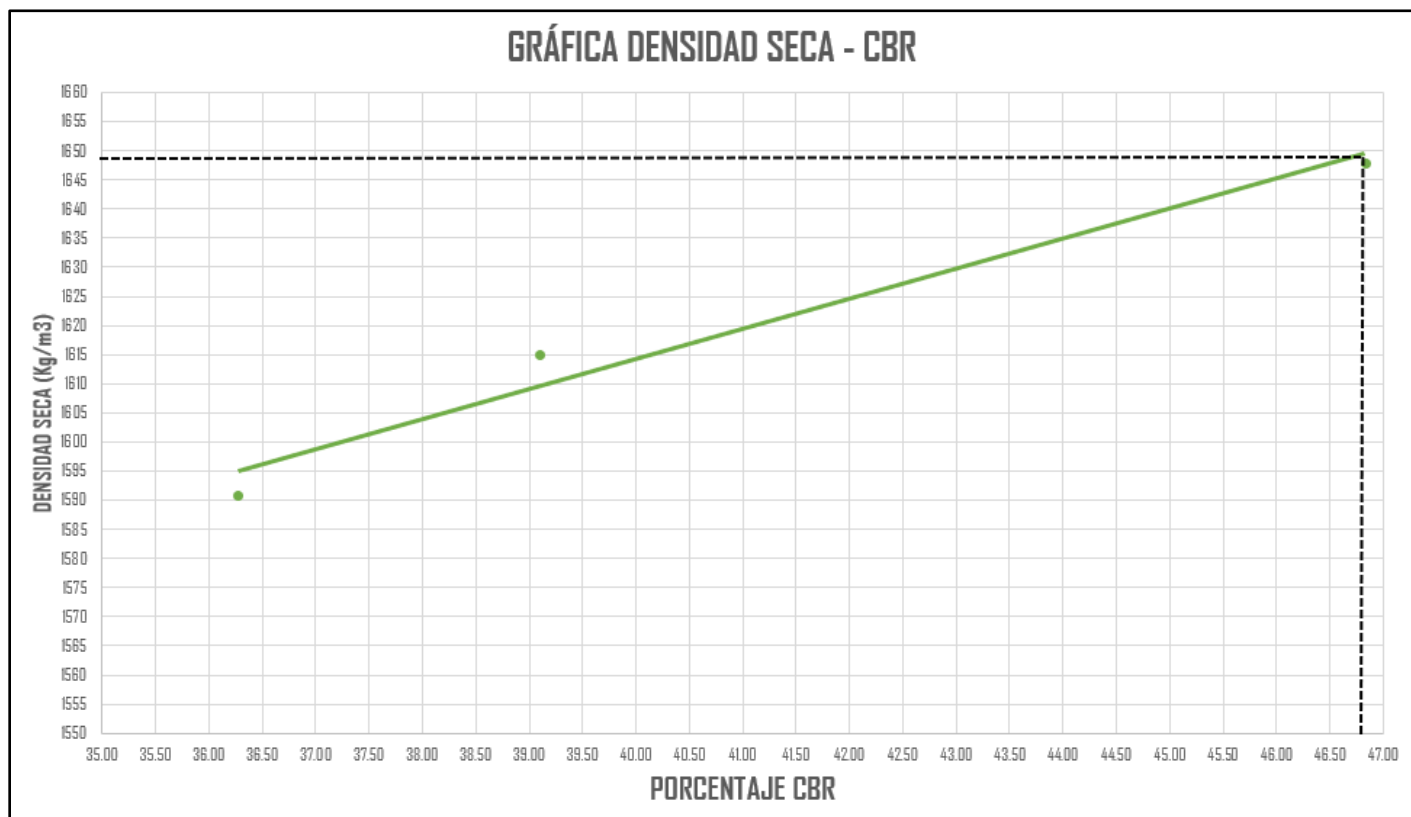
Tabla 71

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 9% de cemento

Molde 56 golpes	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	1648.00	1565.60

Figura 61

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 9% de cemento



En la figura 61, el valor del CBR al 100% de la densidad seca máxima es de 47.3%. Esta muestra posee una cantidad de 5036 gr de suelo natural y se adicionó 464 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 10% de cemento**

Tabla 72

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 3 con 10% de cemento

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	47.56	1649.00
Molde 25 golpes	38.48	1616.00
Molde 12 golpes	36.76	1592.00

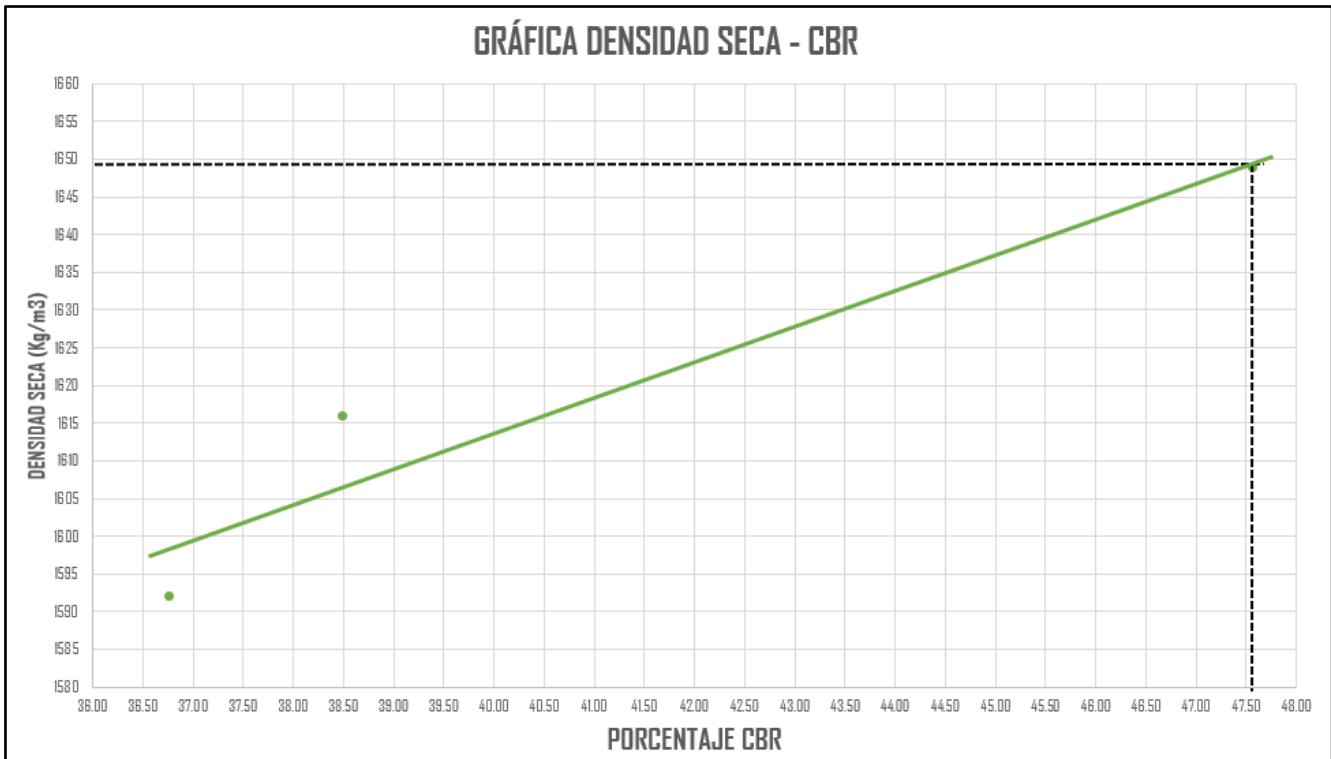
Tabla 73

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 10% de cemento

Molde 56 golpes	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	1649.00	1566.55

Figura 62

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 10% de cemento



En la figura 62, el valor del CBR al 100% de la densidad seca máxima es de 47.56%. Esta muestra posee una cantidad de 4985 gr de suelo natural y se adicionó 515 gr de cemento.

- **Suelo estabilizado con 11% de cemento**

Tabla 74

Resultados de la obtención del CBR de la muestra de suelo 3 con 11% de cemento

	CBR %	DENSIDADES SECAS
Molde 56 golpes	48.91	1650.00
Molde 25 golpes	38.48	1617.00
Molde 12 golpes	37.26	1596.00

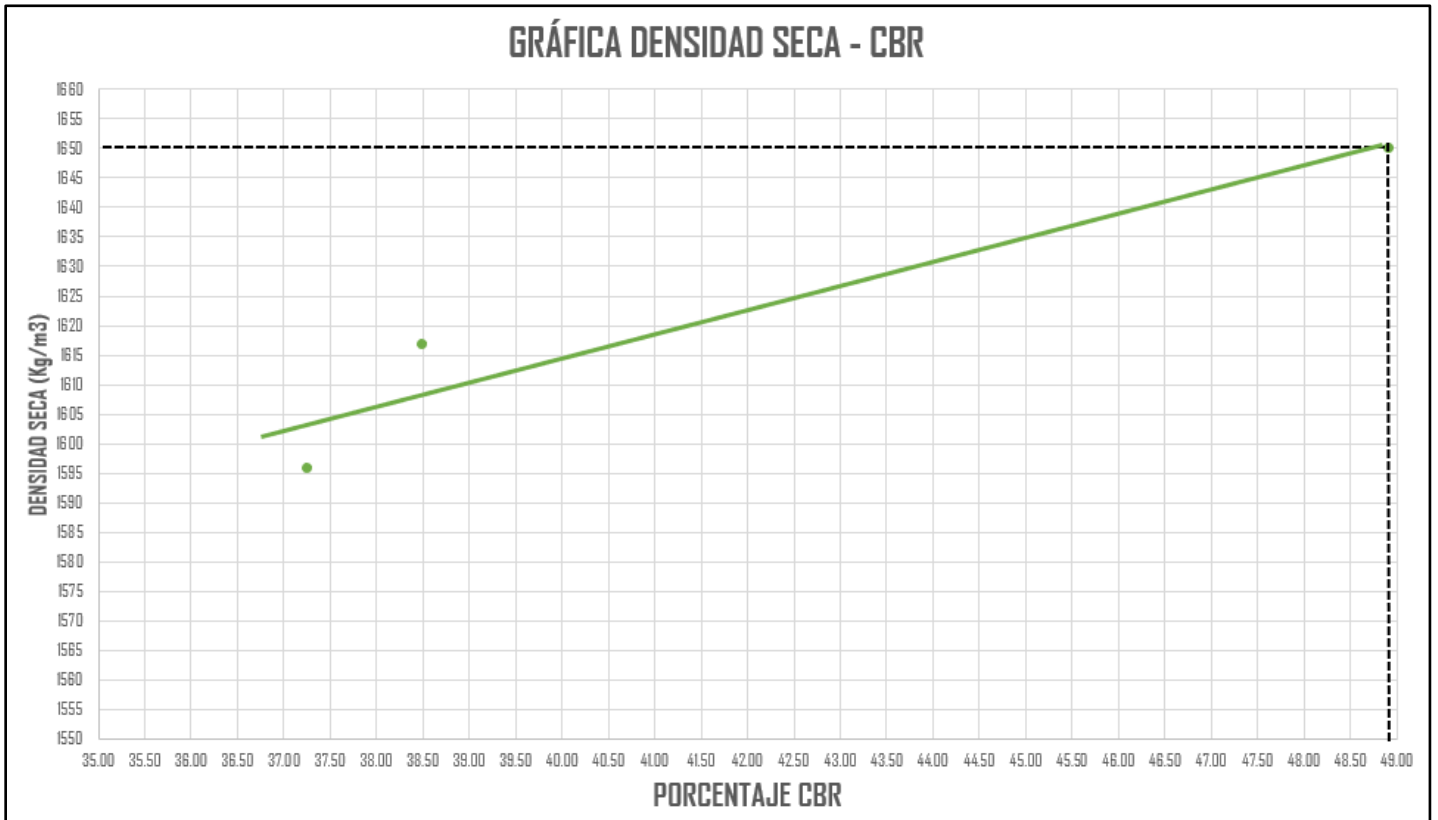
Tabla 75

Resultados de la obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 11% de cemento

Molde 56 golpes	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	1650.00	1567.50

Figura 63

Obtención del CBR al 95% de la muestra de suelo 3 con 11% de cemento



En la figura 63, el valor del CBR al 100% de la densidad seca máxima es de 48.9%. Esta muestra posee una cantidad de 4934 gr de suelo natural y se adicionó 566 gr de cemento.

3.7. Ensayo de compresión y Obtención del coeficiente estructural de capas

Para realizar este ensayo se tomaron 2 muestras de 2500gr de cada suelo, tanto para el suelo en estado natural como para los diferentes porcentajes del suelo estabilizado.

Las muestras son mezcladas con la cantidad de agua óptima resultante de cada suelo en el ensayo de Proctor modificado restada la humedad natural de suelo, y se compactan en 5 capas de 25 golpes.

Una vez obtenida la presión en el ensayo de compresión, se procede a utilizar la siguiente fórmula para la obtención del coeficiente estructural de capas, la cual será utilizada únicamente en las muestras con adición de cemento, ya que esta toma en cuenta los parámetros del conglomerante.

$$a_2 = 0.0918 (f'c)^{0.514}$$

Donde:

$f'c$ = resistencia a la compresión en MPa

Figura 64

Pesaje de la muestra a ensayar



Figura 65

Compactación para el ensayo de compresión simple



Figura 66

Envoltura de las muestras con papel film



Figura 67

Colocación de las muestras para el curado sumergido



Figura 68

Colocación de las muestras para el curado por capilaridad



Figura 69

Colocación de las muestras en el horno luego del curado



3.7.1. Muestra de suelo 1

Tabla 76

Resultados del ensayo de compresión de la muestra de suelo 1 mediante curado sumergido

SUELO 1- CURADO SUMERGIDO						
Suelo	Lectura dial de la carga	Carga (lbs)	Presión (lbs/pg2)	Presión (kg/cm2)	Presión (Mpa)	Coefficiente estructural de capas (cm)
Natural	195	1133.14	109.97	7.73	0.76	-
9% cemento	220	1275.81	123.82	8.71	0.85	0.085
10% cemento	235	1361.41	132.13	9.29	0.91	0.087
11% cemento	290	1675.29	162.59	11.43	1.12	0.097

Tabla 77

Resultados del ensayo de compresión de la muestra de suelo 1 mediante curado por capilaridad

SUELO 1- CURADO POR CAPILARIDAD						
Suelo	Lectura dial de la carga	Carga (lbs)	Presión (lbs/pg2)	Presión (kg/cm2)	Presión (Mpa)	Coefficiente estructural de capas (cm)
Natural	170	990.46	96.13	6.76	0.66	-
9% cemento	219	1270.1	123.27	8.67	0.85	0.084
10% cemento	244	1412.77	137.11	9.64	0.94	0.089
11% cemento	299	1726.65	167.57	11.78	1.15	0.099

PROMEDIO RESULTANTE ENTRE LOS DOS TIPOS DE CURADO

Tabla 78

Resultados promedio del ensayo de compresión de la muestra de suelo 1 con los dos tipos de curado

SUELO 1		
SUELO	PRESIÓN PROMEDIO POR MUESTRA(Kg/cm²)	COEFICIENTE ESTRUCTURAL PROMEDIO (cm)
Natural	7.25	-
9% cemento	8.69	0.085
10% cemento	9.46	0.088
11% cemento	11.61	0.098

La tabla 78 muestra los valores promedio de los dos tipos de curado, así como también los coeficientes estructurales promedio. La muestra de suelo con un porcentaje de 11% de cemento presenta la mayor resistencia, así como un mayor coeficiente estructural.

3.7.2. Muestra de suelo 2

Tabla 79

Resultados del ensayo de compresión de la muestra de suelo 2 mediante curado sumergido

SUELO 2- CURADO SUMERGIDO						
Suelo	Lectura dial de la carga	Carga (lbs)	Presión (lbs/pg2)	Presión (Kg/cm2)	Presión (Mpa)	Coefficiente estructural de capas (cm)
Natural	-	-	-	-	-	-
9% cemento	130	762.19	73.97	5.20	0.51	0.065
10% cemento	229	1327.17	128.80	9.06	0.89	0.086
11% cemento	308	1778.02	172.56	12.13	1.19	0.100

Tabla 80

Resultados del ensayo de compresión de la muestra de suelo 2 mediante curado por capilaridad

SUELO 2- CURADO POR CAPILARIDAD						
Suelo	Lectura dial de la carga	Carga (lbs)	Presión (lbs/pg2)	Presión (Kg/cm2)	Presión (Mpa)	Coefficiente estructural de capas (cm)
Natural	132	773.6	75.08	5.28	0.52	-
9% cemento	146	853.5	82.83	5.82	0.57	0.069
10% cemento	218	1264.39	122.71	8.63	0.85	0.084
11% cemento	278	1606.81	155.94	10.96	1.07	0.095

PROMEDIO RESULTANTE ENTRE LOS DOS TIPOS DE CURADO

Tabla 81

Resultados promedio del ensayo de compresión de la muestra de suelo 2 con los dos tipos de curado

SUELO 2		
Suelo	PRESIÓN PROMEDIO POR MUESTRA(Kg/cm2)	COEFICIENTE ESTRUCTURAL PROMEDIO (cm)
Natural	5.28	-
9% cemento	5.51	0.067
10% cemento	8.84	0.085
11% cemento	11.55	0.098

La tabla 81 muestra los valores promedio de los dos tipos de curado, así como también los coeficientes estructurales promedio. La muestra de suelo con un porcentaje de 11% de cemento presenta la mayor resistencia, así como un mayor coeficiente estructural.

3.7.3. Muestra de suelo 3

Tabla 82

Resultados del ensayo de compresión de la muestra de suelo 3 mediante curado sumergido

SUELO 3- CURADO SUMERGIDO						
Suelo	Lectura dial de la carga	Carga (lbs)	Presión (lbs/pg2)	Presión (Kg/cm2)	Presión (Mpa)	Coficiente estructural de capas (cm)
Natural	95	562.45	54.59	3.84	0.38	-
9% cemento	205	1190.2	115.51	8.12	0.80	0.082
10% cemento	265	1532.62	148.74	10.46	1.02	0.093
11% cemento	335	1932.1	187.51	13.18	1.29	0.105

Tabla 83

Resultados del ensayo de compresión de la muestra de suelo 3 mediante curado por capilaridad

SUELO 3- CURADO POR CAPILARIDAD						
Suelo	Lectura dial de la carga	Carga (lbs)	Presión (lbs/pg2)	Presión (Kg/cm2)	Presión (Mpa)	Coficiente estructural de capas (cm)
Natural	102	602.39	58.46	4.11	0.40	-
9% cemento	245	1418.48	137.67	9.68	0.95	0.098
10% cemento	285	1646.76	159.82	11.24	1.10	0.096
11% cemento	349	2012	195.27	13.73	1.35	0.107

PROMEDIO RESULTANTE ENTRE LOS DOS TIPOS DE CURADO

Tabla 84

Resultados promedio del ensayo de compresión de la muestra de suelo 3 con los dos tipos de curado

SUELO 3		
SUELO	PRESIÓN PROMEDIO POR MUESTRA(Kg/cm²)	COEFICIENTE ESTRUCTURAL PROMEDIO (cm)
Natural	3.97	-
9% cemento	8.90	0.085
10% cemento	10.85	0.095
11% cemento	13.46	0.106

La tabla 84 muestra los valores promedio de los dos tipos de curado, así como también los coeficientes estructurales promedio. La muestra de suelo con un porcentaje de 11% de cemento presenta la mayor resistencia, así como un mayor coeficiente estructural.

3.8. Ensayo de equivalente de arena

Para este ensayo inicialmente se tomaron muestras de suelo pasante el tamiz N°40:

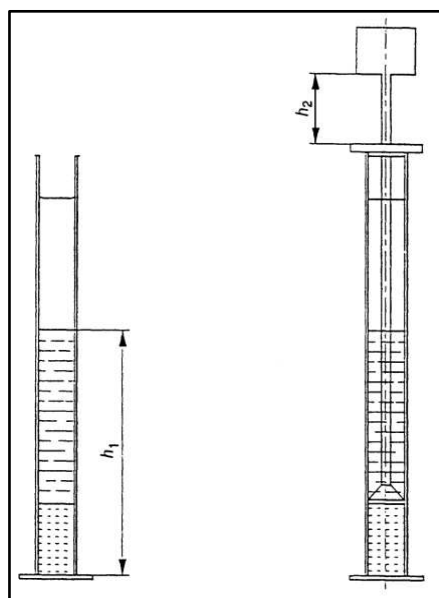
- Muestra de suelo 1
 - ✓ Suelo con 9% de cemento: 91.7gr de suelo y 8.3gr de cemento
 - ✓ Suelo con 11% de cemento: 89.8gr de suelo y 10.2gr de cemento
- Muestra de suelo 2
 - ✓ Suelo con 9% de cemento: 92.4gr de suelo y 7.6gr de cemento
 - ✓ Suelo con 11% de cemento: 90.7gr de suelo y 8.3 gr de cemento
- Muestra de suelo 3
 - ✓ Suelo con 9% de cemento: 91.8gr de suelo y 8.2gr de cemento
 - ✓ Suelo con 11% de cemento: 90gr de suelo y 10 gr de cemento

Una vez tomadas las muestras de suelo, estas fueron mezcladas con cada porcentaje de cemento y trituradas hasta obtener partículas pequeñas, de manera que no queden atoradas en el embudo, luego de esto se vertió la solución stock en una probeta, se vació el material y posteriormente se agitó la muestra manualmente durante 30 segundos, luego de ello se dejó reposar durante 10 minutos para que las partículas finas descieran, consecutivamente se añadió más solución stock para que las partículas que quedaron adheridas a la probeta debido a la agitación realizada previamente, se unificaran al resto de la muestra y nuevamente se dejó reposar por 20 minutos; tomando la altura inicial “h1” correspondiente a la lectura de arcilla, una vez pasado el tiempo indicado, se insertó la varilla con lastre para tomar la altura correspondiente a la lectura aparente de arena, teniendo en cuenta que se debe restar 10 pulg o 25.4cm que corresponden a la lectura real de arena “h2”; finalmente se obtiene el porcentaje de equivalente de arena con la siguiente fórmula (UNE-EN 933-8, 2000):

$$\text{Equivalente arena} = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

Figura 70

Medida de h1 y h2



Nota. (UNE-EN 933-8, 2000)

Figura 71

Solución stock

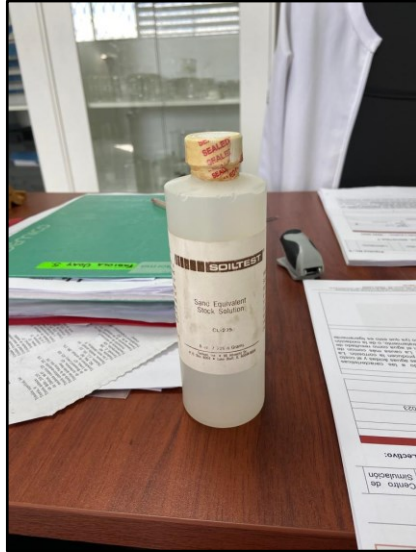


Figura 72

Probetas con la solución stock



Figura 73

Agitado manual de la probeta con la muestra de suelo y la solución stock



Figura 74

Reposo de las muestras preparadas



Figura 75

Colocación de la solución stock para limpiar las paredes de la probeta



Figura 76

Toma de lecturas con ayuda de la varilla con lastre

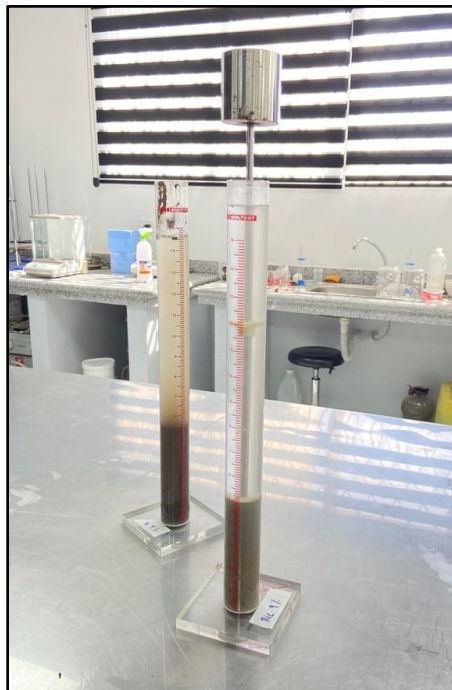
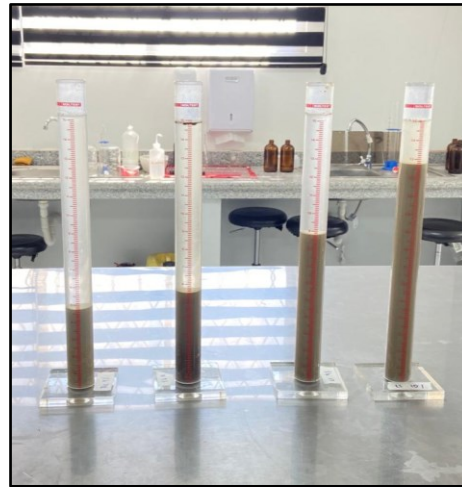


Figura 77

Muestras preparadas y ensayadas



En la tabla 85, se muestran los valores del porcentaje de equivalente arena para cada tipo de suelo.

Tabla 85

Resultados del ensayo equivalente de arena

MUESTRA DE SUELO	LECTURA de ARCILLA (pulg)	LECTURA APARENTE DE ARENA (pulg)	LECTURA REAL DE ARENA (pulg)	%EQUIVALENTE ARENA
Suelo 1 - 9% cemento	5.2	11.4	1.4	27%
Suelo 1 - 11% cemento	10.3	11	1	10%
Suelo 2 - 9% cemento	4.6	12	2	43%
Suelo 2 - 11% cemento	4	11.9	1.9	48%
Suelo 3 - 9% cemento	6	10.8	0.8	13%
Suelo 3 - 11% cemento	7	10.5	0.5	7%

4. CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Análisis de resultados

En este apartado se presenta el análisis detallado de cada uno de los ensayos realizados a cada muestra de suelo, con la finalidad de determinar la variabilidad de los distintos parámetros detallados en cada sección; asimismo se realizarán las respectivas comparaciones de los resultados obtenidos en laboratorio con respecto a las especificaciones y normas que se deben cumplir para poder ser utilizados como capa de base en una estructura de pavimento.

4.1.1. Clasificación de suelos

4.1.1.1. Muestra de suelo 1

Tabla 86

Clasificación de la muestra de suelo 1 según el método AASHTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS MÉTODO AASHTO				
% que pasa tamiz N°200	NATURAL	9%	10%	11%
IG	64.16%	64.16%	64.16%	64.16%
% IP	17.45	7.18	8.06	9.34
% LL	28.33	8.26	10.42	13.08
Clasificación	57.90	55.10	53.90	53.70
Tipo de suelo	A - 7-5	A -5	A -5	A -7
Comportamiento	ARCILLOSO	LIMOSO	LIMOSO	ARCILLOSO
	REGULAR A DEFICIENTE			

Según la clasificación AASHTO de la tabla 86, el suelo natural tiene una clasificación A-7-5 correspondiente a un suelo arcilloso, al añadir el 9 y 10% de cemento el suelo cambió de clasificación a un A-5 semejante a un suelo limoso, mientras que al añadir el 11% de cemento el suelo volvió a su clasificación inicial, pero aumentando su límite plástico, lo que le clasificó como A-7, hay que tomar en cuenta que el comportamiento frente a cargas de estos suelos tiene una caracterización de regular a deficiente.

Tabla 87*Clasificación de la muestra de suelo 1 según el método SUCS*

CLASIFICACIÓN DE SUELOS MÉTODO SUCS				
	NATURAL	9%	10%	11%
% que pasa tamiz N°200	64.16%	64.16%	64.16%	64.16%
% LL	57.90	55.10	53.90	53.70
IP > 7 o < 4	28.33	8.26	10.42	13.08
Clasificación	CH	MH	MH	MH
Tipo de suelo	ARCILLA	LIMO	LIMO	LIMO
Plasticidad	ALTA			

Según la clasificación SUCS de la tabla 87, el suelo en estado natural se denomina como una arcilla de alta plasticidad (CH), por el contrario, al adicionar el 9,10 y 11% de cemento el suelo cambia a una clasificación MH es decir limo de alta plasticidad.

- **Análisis de la clasificación de suelos de la muestra de suelo 1**

Según las características que debe cumplir una base acorde al “Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MOP)”, de donde se afirma que este tipo de material debe estar exento de arcillas, de acuerdo a los resultados presentados anteriormente, la muestra de suelo en estado natural no cumple este parámetro en ninguna de las dos clasificaciones, por el contrario, con la adición de los diferentes porcentajes de cemento sí se cumple con este requerimiento, a excepción de la clasificación AASHTO, con la adición del 11% de cemento, que presenta características similares al suelo en estado natural.

4.1.1.2. Muestra de suelo 2

Tabla 88

Clasificación de la muestra de suelo 2 según el método AASHTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS MÉTODO AASHTO				
	NATURAL	9%	10%	11%
% que pasa tamiz N°200	98.64%	98.64%	98.64%	98.64%
IG	22.98	13.74	13.01	16.37
% IP	17.31	7.21	6.73	9.98
% LL	53.00	50.50	49.50	51.50
Clasificación	A - 7-6	A - 5	A - 5	A - 5
Tipo de suelo	ARCILLOSO	LIMOSO	LIMOSO	LIMOSO
Comportamiento	REGULAR A DEFICIENTE			

Según la clasificación AASHTO presentada en la tabla 88, el suelo natural tiene una clasificación A-7-6 correspondiente a un suelo arcilloso, al añadir el 9,10 y 11% de cemento el suelo cambió de clasificación a un A-5 semejante a un suelo limoso, tomando en cuenta que el comportamiento frente a cargas de estos suelos tiene una caracterización de regular a deficiente.

Tabla 89

Clasificación de la muestra de suelo 2 según el método SUCS

CLASIFICACIÓN DE SUELOS MÉTODO SUCS				
	NATURAL	9%	10%	11%
% que pasa tamiz N°200	98.64%	98.64%	98.64%	98.64%
% LL	53.00	50.50	49.50	51.50
IP > 7 o < 4	17.31	7.21	6.73	9.98
Clasificación	MH	MH	ML	MH
Tipo de suelo	LIMO	LIMO	LIMO	LIMO
Plasticidad	ALTA	ALTA	BAJA	ALTA

Según la clasificación SUCS presentada en la tabla 89, el suelo natural se denomina un limo de alta plasticidad (MH), al adicionar el 9 y 11% de cemento el suelo permanece con una clasificación MH, por el contrario, con el 10% de cemento el suelo se clasifica como ML, limo de baja plasticidad.

- **Análisis de la clasificación de suelos de la muestra de suelo 2**

Según los valores presentados anteriormente, la muestra de suelo en estado natural según la clasificación AASHTO no cumple con el parámetro de no presentar contenido de arcillas en su granulometría, por el contrario, con la adición de los diferentes porcentajes de cemento sí se cumple con este requerimiento en los dos tipos de clasificaciones.

4.1.1.3. Muestra de suelo 3

Tabla 90

Clasificación de la muestra de suelo 3 según el método AASHTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS MÉTODO AASHTO				
	NATURAL	9%	10%	11%
% que pasa tamiz N°200	73.51%	73.51%	73.51%	73.51%
IG	15.14	7.95	4.84	4.39
% IP	19.91	7.62	3.33	3.03
% LL	48.50	48.50	45.40	44.00
Clasificación	A - 7-5	A -5	A -5	A -5
Tipo de suelo	ARCILLOSO	LIMOSO	LIMOSO	LIMOSO
Comportamiento	REGULAR A DEFICIENTE			

Según la clasificación AASHTO presentada en la tabla 90, el suelo natural tiene una clasificación A-7-5 correspondiente a un suelo arcilloso, al añadir el 9,10 y 11% de cemento el suelo cambió de clasificación a un A-5 semejante a un suelo limoso, tomando en cuenta que el comportamiento frente a cargas de estos suelos tiene una caracterización de regular a deficiente.

Tabla 91*Clasificación de la muestra de suelo 3 según el método SUCS*

CLASIFICACIÓN DE SUELOS MÉTODO SUCS				
	NATURAL	9%	10%	11%
% que pasa tamiz N°200	73.51%	73.51%	73.51%	73.51%
% LL	48.50	48.50	45.40	44.00
IP > 7 o < 4	19.91	7.62	3.33	3.03
Clasificación	ML	ML	ML	ML
Tipo de suelo	LIMO	LIMO	LIMO	LIMO
Plasticidad	BAJA			

Según la clasificación SUCS presentada en la tabla 91, el suelo natural se denomina un limo de baja plasticidad (ML), al adicionar el 9, 10 y 11% de cemento el suelo permanece con una clasificación ML.

- **Análisis de la clasificación de suelos de la muestra de suelo 3**

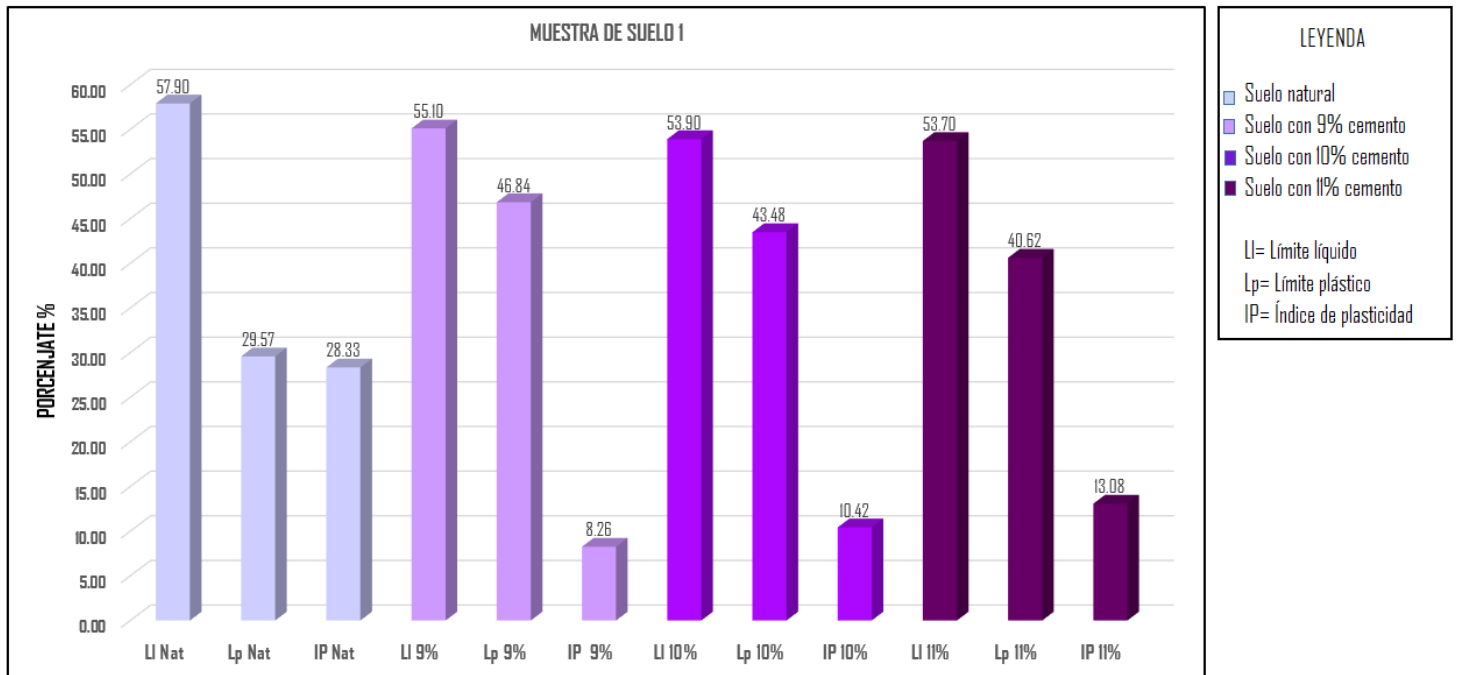
Según los valores presentados anteriormente, la muestra de suelo en estado natural según la clasificación AASHTO no cumple con el parámetro de no presentar contenido de arcillas en su granulometría, por el contrario, con la adición de los diferentes porcentajes de cemento sí se cumple con este requerimiento en los dos tipos de clasificaciones.

4.1.2. Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad

4.1.2.1. Muestra de suelo 1

Figura 78

Comparación entre los ensayos de límite líquido, plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo 1



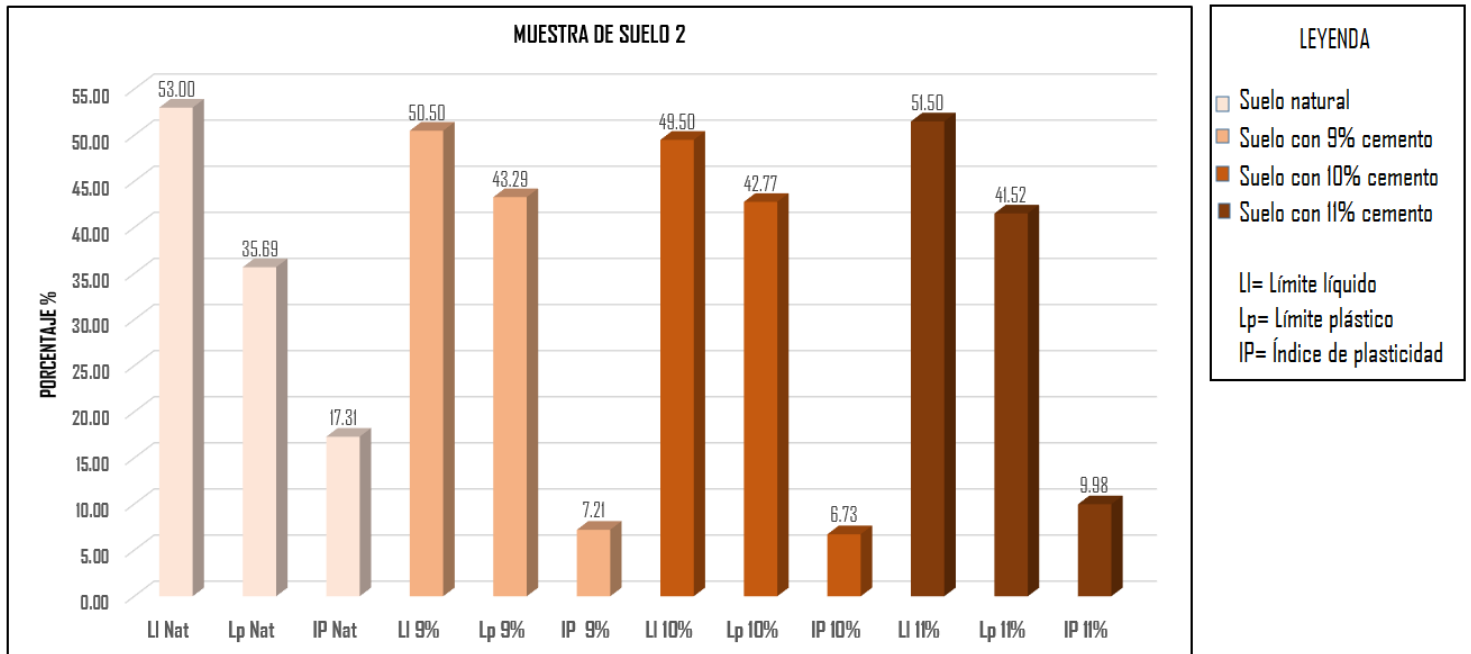
En la figura 78, se observa que al agregar mayor porcentaje de cemento los límites líquidos disminuyen, el suelo en estado natural tiene un Ll de 57.9% y con el 11% tiene un porcentaje de 53.7%, en cambio los límites plásticos aumentan, el límite plástico en estado natural es de 29.57% y al adicionar el 9% de cemento, incrementa a 46.84%, con el 10 y 11% disminuye mínimamente hasta un valor de 40.62%.

Por otra parte, los índices de plasticidad disminuyen considerablemente de 28.33% en estado natural y con un porcentaje de cemento del 9% a 8.26%, al añadir el 10 y 11% de cemento el índice de plasticidad aumenta hasta 13.08%.

4.1.2.2. Muestra de suelo 2

Figura 79

Comparación entre los ensayos de límite líquido, plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo 2



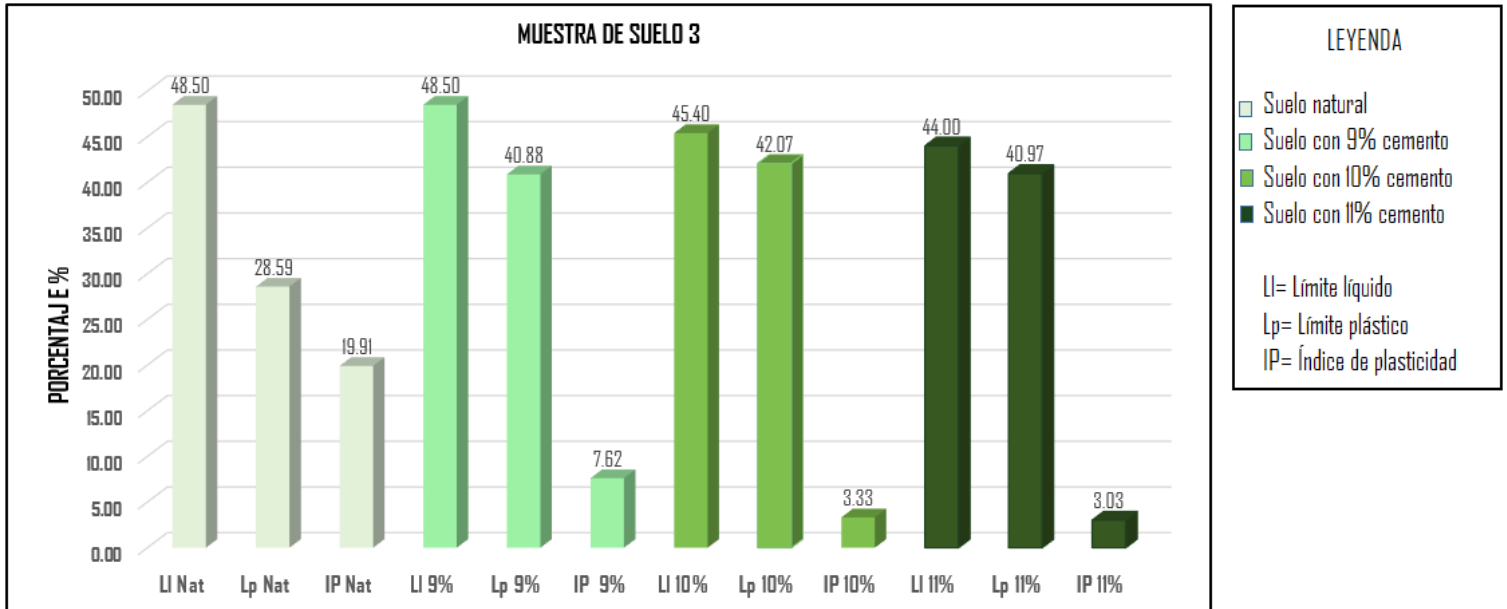
En la figura 79, se observa que al agregar el 9 y 10% de cemento el límite líquido disminuye desde un valor de 53% en estado natural, hasta 49.5%, en cambio con el 11% de cemento, este valor sube hasta 51.5%; con el límite plástico aumenta de un porcentaje de 35.69% en estado natural hasta 43.29% con el 9% de cemento, y con el 10 y 11% de cemento los valores disminuyen hasta 41.52%.

De igual manera los índices de plasticidad disminuyen considerablemente de 17.31% en estado natural y con un porcentaje de cemento del 9% a 7.21%, al añadir el 10 y 11% de cemento el índice de plasticidad aumenta hasta 9.98%.

4.1.2.3. Muestra de suelo 3

Figura 8o

Comparación entre los ensayos de límite líquido, plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo 3



En la figura 8o, se observa que al agregar el 9% de cemento el límite líquido se mantiene en 48.5%, pero al añadir el 10 y 11% de cemento disminuye hasta 44%; el límite plástico, al agregar el 9 y 10% de cemento aumenta de 28.59% en estado natural hasta 42.07%, en cambio con el 11% disminuye a 40.97%.

Asimismo, los índices de plasticidad disminuyen considerablemente de 19.91% en estado natural hasta llegar a 3.03% adicionando un 11% de cemento.

4.1.2.4. Análisis de Límite Líquido e Índice de plasticidad

Según las características que debe cumplir una base acorde al Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MOP), se requiere un valor del límite líquido menor al 25% y un índice de plasticidad menor al 6%, por lo que las muestras de suelo 1 con una caracterización (A-7-5) y la muestra de suelo 2 (A-7-6) no cumplirían con estas solicitudes en ninguno de los porcentajes de cemento, por otra parte, la muestra de suelo 3, perteneciente a una clasificación (A-7-5) , si bien no cumple con el parámetro del límite líquido, sí cumple con el índice de plasticidad con la adición del 10 y 11% de cemento.

Además, con los resultados obtenidos se puede deducir que el suelo está trabajando en un estado semisólido, ya que el límite plástico presenta un valor mayor al porcentaje de humedad natural que presenta el suelo, tanto en la muestra en estado natural como estabilizado.

4.1.3. Ensayo Proctor modificado

Tabla 92

Comparación de los resultados del ensayo Proctor modificado

MUESTRA DE SUELO	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	DENSIDAD SECA MÁXIMA (Kg/m³)
1	15.5	1732
2	24.5	1560
3	20.75	1680

En la tabla 92, la muestra de suelo 1 alcanza una mayor densidad seca con un menor porcentaje de humedad óptima, siendo esta 1732 Kg/m³ y 15.5% respectivamente, y la muestra de suelo 2 tiene una menor densidad seca con un valor de 1560 kg/m³, con un alto porcentaje de agua correspondiente al 24.5%, en cambio la muestra 2, posee un valor intermedio de 1680 Kg/m³, con una humedad del 20.75%.

4.1.4. Ensayo CBR

4.1.4.1. Muestra de suelo 1

Tabla 93

Comparación de los resultados del ensayo CBR de la muestra de suelo 1

MUESTRA DE SUELO 1		
SUELO	DENSIDAD 95% (Kg/m ³)	CBR %
Natural	1661.55	2.44
9% cemento	1862.00	29.00
10% cemento	1768.90	38.00
11% cemento	1673.90	43.50

De acuerdo a la tabla 93, la densidad del suelo natural inicialmente tiene un valor de 1661.55 Kg/m³ y un valor de CBR de 2.44% considerado bajo, por otro lado, al adicionar el 9% de cemento la densidad aumenta hasta los 1862 Kg/m³ y su CBR aumenta considerablemente hasta 29%, de igual manera con la adición del 10 y 11% aumenta su CBR hasta alcanzar los 43.5%, pero la densidad disminuye hasta un valor de 1673.9 Kg/m³, siendo un valor muy similar a la densidad del suelo en estado natural; esto ocurre ya que al adicionar mayor cantidad de cemento este absorbe una mayor cantidad de agua, provocando una densidad menor.

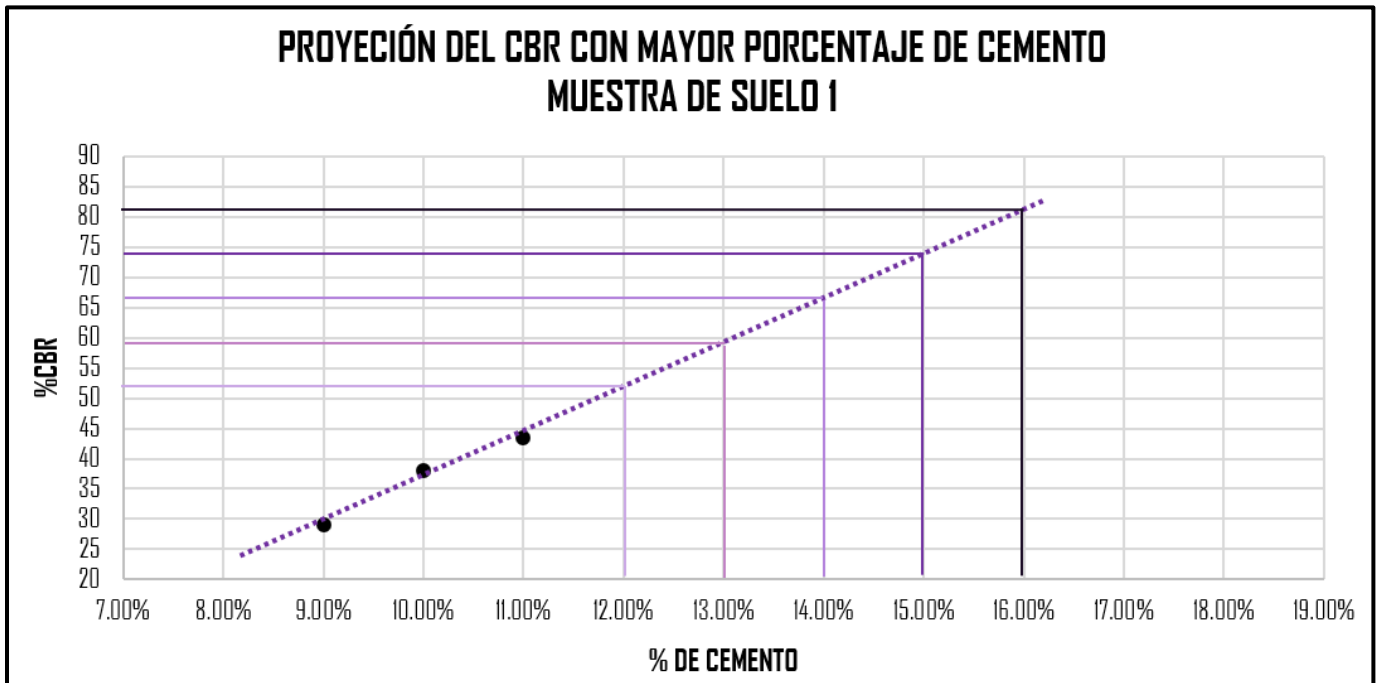
- **Proyección del valor CBR con mayor adición del porcentaje de cemento de la muestra de suelo 1**

Con la finalidad de conocer los cambios que se pueden presentar al añadir porcentajes mayores de cemento a la muestra de suelo, se realizó una proyección hasta alcanzar el 16% de cemento, ya que es el valor máximo a adicionar recomendado por el ingeniero Alfonso Montejo para suelos con estas características.

A continuación, se presentan los resultados proyectados.

Figura 81

Proyección del CBR con adicción de mayor porcentaje de cemento de la muestra de suelo 1



De la figura 81, se logran obtener los valores de CBR con los diferentes porcentajes de cemento mostrados en la tabla 94.

Tabla 94

Porcentajes de CBR proyectados de la muestra de suelo 1

PROYECCIÓN DEL CBR MUESTRA 1	
%CEMENTO	%CBR
12	53
13	59
14	67
15	74
16	82

- **Análisis de CBR de la muestra de suelo 1**

Según el MOP el porcentaje de CBR debe tener un valor mayor al 80%, comparando con los resultados obtenidos en esta investigación para la muestra de suelo 1, con la adición del mayor porcentaje de cemento correspondiente al 11%, se tiene un valor de CBR del 43.5%, si bien hubo un cambio, no cumple con las especificaciones.

Sin embargo, al proyectar los resultados del CBR, se deduce que, con la adición del 16% de cemento, se obtendría una resistencia del 82%, con lo cual cumpliría las especificaciones. Lo que significaría que para 1 m³ de este material se necesitarían 5,32 sacos de cemento, tomando en cuenta que para la realización de 1 m³ de hormigón se requieren 7 sacos de cemento, por tanto, se debería realizar un análisis de su factibilidad.

4.1.4.2. Muestra de suelo 2

Tabla 95

Comparación de los resultados del ensayo CBR de la muestra de suelo 2

MUESTRA DE SUELO 2		
SUELO	DENSIDAD 95% (Kg/m³)	CBR %
Natural	1481.05	2.78
9% cemento	2122.30	41.00
10% cemento	2150.80	44.60
11% cemento	2292.35	47.30

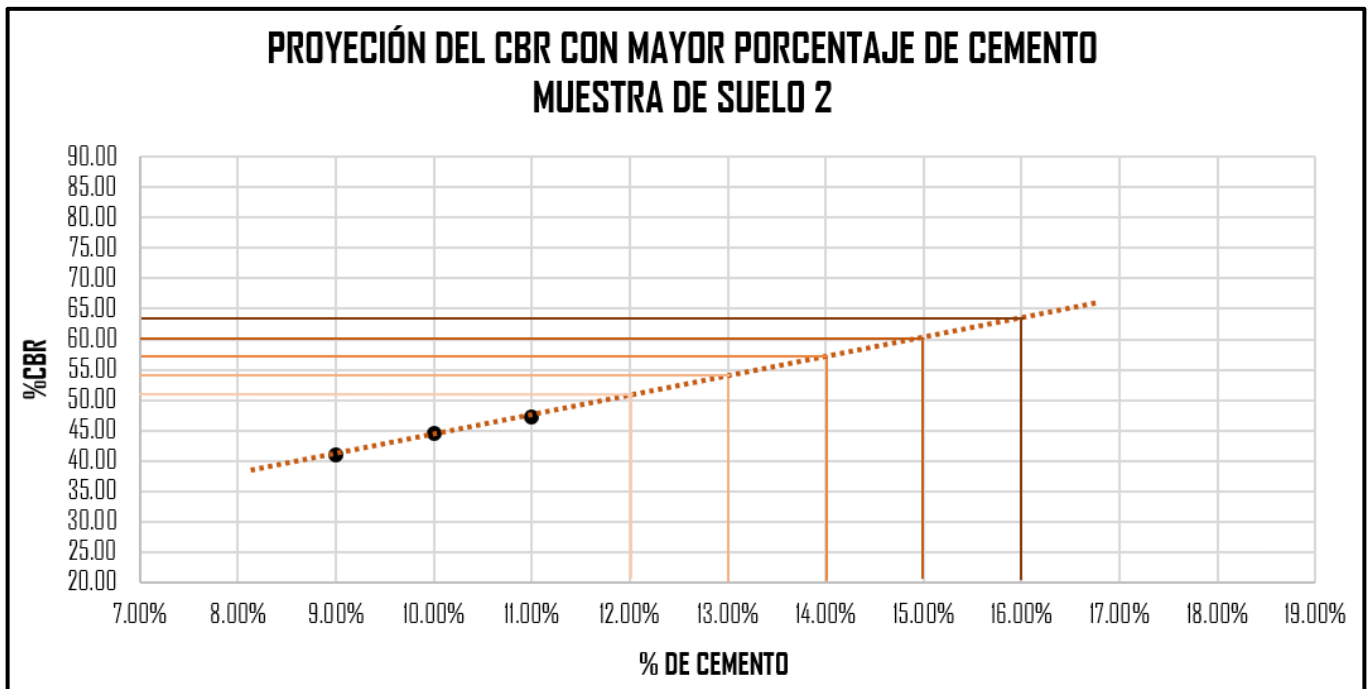
Concorde a la tabla 95, la densidad del suelo natural inicialmente tiene un valor de 1481.05 Kg/m³ y un valor de CBR de 2.78% considerado bajo, por otra parte, al adicionar el 9% de cemento la densidad aumenta hasta los 2122.3 Kg/m³ y su CBR aumenta considerablemente hasta 41%, de igual manera con la adición del 10 y 11% aumenta su CBR hasta alcanzar los 47.3%, pero la densidad aumenta en gran porcentaje hasta un valor de 2292.35 Kg/m³.

- **Proyección del valor CBR con mayor adición del porcentaje de cemento de la muestra de suelo 2**

A continuación, se presentan los resultados proyectados.

Figura 82

Proyección del CBR con adición de mayor porcentaje de cemento de la muestra de suelo 2



De la figura 82, se logran obtener los valores de CBR con los diferentes porcentajes de cemento mostrados en la tabla 96.

Tabla 96*Porcentajes de CBR proyectados de la muestra de suelo 2*

PROYECCIÓN DEL CBR MUESTRA 2	
%CEMENTO	%CBR
12	51
13	54
14	57
15	60
16	64

- **Análisis de CBR de la muestra de suelo 2**

Comparando con los resultados obtenidos en esta investigación para la muestra de suelo 2, con la adición del mayor porcentaje de cemento correspondiente al 11%, se tiene un valor de CBR del 47.3%, es decir que no cumple con las especificaciones.

De igual manera, con la mayor proyección, correspondiente al 16%, se obtiene un valor del 64%, a pesar de que el CBR aumentó, no logra satisfacer los requerimientos para ser utilizada como una base.

4.1.4.3. Muestra de suelo 3

Tabla 97*Comparación de los resultados del ensayo CBR de la muestra de suelo 3*

MUESTRA DE SUELO 3		
SUELO	DENSIDAD 100% (Kg/m³)	CBR %
Natural	1596.00	1.79
9% cemento	1565.60	46.83
10% cemento	1566.55	47.56
11% cemento	1567.50	48.90

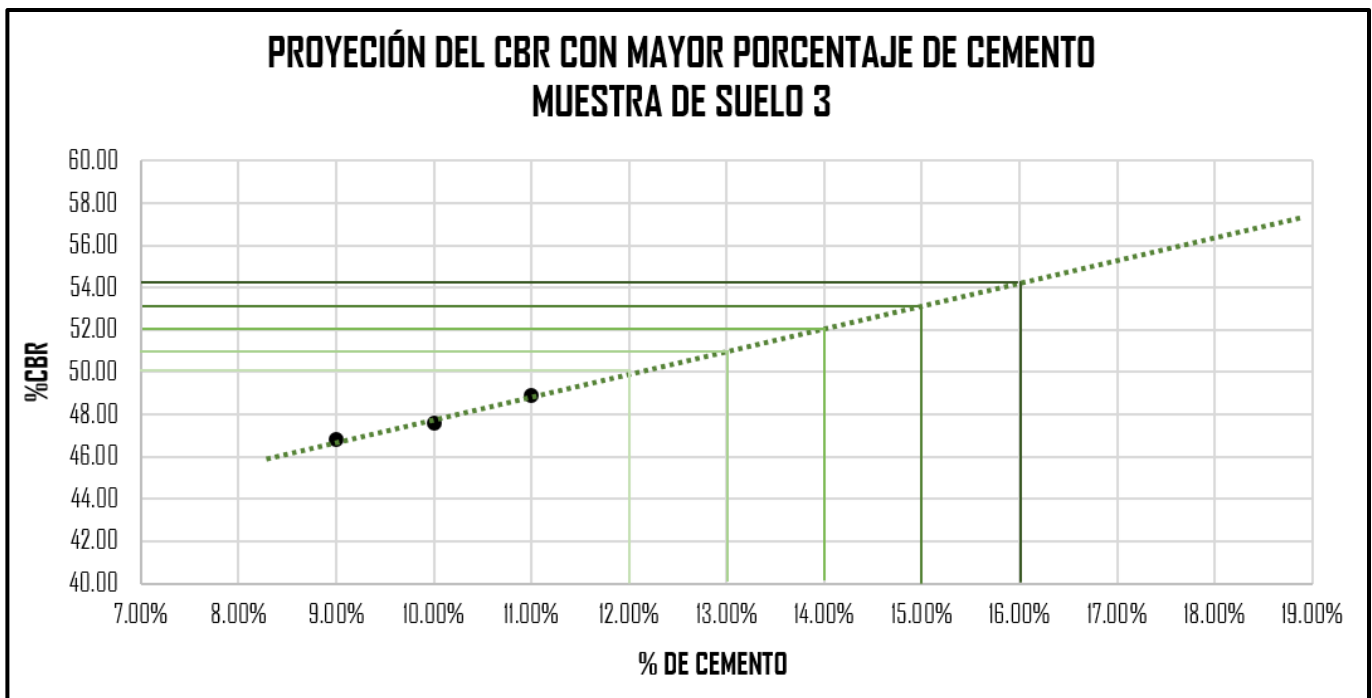
Conforme a la tabla 97, la densidad del suelo natural inicialmente tiene un valor de 1596 Kg/m³ y un valor de CBR de 1.79% considerado bajo, por el contrario, al adicionar el 9% de cemento la densidad disminuye desde un valor de 1596 Kg/m³ hasta llegar a 1567 Kg/m³ con la adición del 11% de cemento, se puede observar que las densidades de los suelos que contienen cemento son muy similares, en cambio el CBR aumentó en gran cantidad hasta alcanzar el valor de 48.9%.

- **Proyección del valor CBR con mayor adición del porcentaje de cemento de la muestra de suelo 3**

A continuación, se presentan los resultados proyectados.

Figura 83

Proyección del CBR con adición de mayor porcentaje de cemento de la muestra de suelo 3



De la figura 83, se logran obtener los valores de CBR con los diferentes porcentajes de cemento mostrados en la tabla 98.

Tabla 98

Porcentajes de CBR proyectados de la muestra de suelo 3

PROYECCIÓN DEL CBR MUESTRA 3	
%CEMENTO	%CBR
12	50
13	51
14	52
15	53
16	54.5

- **Análisis de CBR de la muestra de suelo 3**

Comparando con los resultados obtenidos en esta investigación para la muestra de suelo 3, con la adición del mayor porcentaje de cemento correspondiente al 11%, se tiene un valor de CBR del 48.9%, es decir que no cumple con las especificaciones.

De igual manera, con la mayor proyección, correspondiente al 16%, se obtiene un valor del 54.5%, a pesar de que el CBR aumentó, no logra satisfacer los requerimientos para ser utilizada como una base.

4.1.5. Ensayo de Compresión y Coeficiente Estructural

4.1.5.1. Muestra de suelo 1

Tabla 99

Comparación de los resultados de las presiones y coeficientes estructurales de la muestra de suelo 1

SUELO	SUELO 1-CURADO SUMERGIDO			SUELO 1-CURADO POR CAPILARIDAD			PROMEDIO	
	Lectura dial de la carga	Presión (kg/cm ²)	Coeficiente estructural de capas (cm)	Lectura dial de la carga	Presión (kg/cm ²)	Coeficiente estructural de capas	Presión (kg/cm ²)	Coeficiente estructural de capas (cm)
Natural	195	7.73	-	170	6.76	-	7.25	-
9% cemento	220	8.71	0.085	219	8.67	0.084	8.69	0.085
10% cemento	235	9.29	0.087	244	9.64	0.089	9.46	0.088
11% cemento	290	11.43	0.097	299	11.78	0.099	11.61	0.098

En la tabla 99, se muestran los valores resultantes de la presión y coeficiente estructural de cada tipo de espécimen mediante los dos tipos de curado, durante un período de 7 días, de la manera descrita en el apartado 2.1.13 de donde se puede ver que, para la muestra de suelo natural el curado sumergido proporciona una mayor resistencia que el curado por capilaridad, sin embargo, los especímenes con adición de cemento, en este caso 9,10 y 11% se mantienen en un rango de valores equivalentes. De igual manera, se destaca que la mayor presión y por ende el coeficiente estructural, se obtiene con la adición del 11%, alcanzando una presión de 11.78 Kg/cm² y un coeficiente de 0.098 cm.

- **Proyección de la resistencia a la compresión simple a los 28 días de la muestra de suelo 1**

Los límites normales para los valores de la resistencia a la compresión simple de muestras húmedas de suelo-cemento se obtienen a los 7 y 28 días, por ello con la resistencia obtenida en laboratorio a los 7 días se proyectó para los 28 días. Sabiendo que la resistencia a los 7 días alcanza un máximo del 65% y a los 28 días un 99%, por lo cual se realizó una relación entre estos dos valores, obteniendo así las proyecciones presentadas a continuación.

Tabla 100

Presión a los 7 días y presión proyectada a los 28 días de la muestra de suelo 1

SUELO 1		
Suelo	Presión promedio a los 7 días (kg/cm²)	Presión promedio a los 28 días (kg/cm²)
Natural	7.25	11.03
9% cemento	8.69	13.23
10% cemento	9.46	14.42
11% cemento	11.61	17.68

- **Análisis de Compresión y Coeficiente Estructural de la muestra de suelo 1**

Según (Rico & Castillo, 2015), establecen ciertos valores límites para la resistencia de suelo-cemento a la compresión, expuestos en la tabla 100 , en donde, para suelos con características semejantes a las presentadas en esta investigación, la resistencia a la compresión a los 28 días debe estar entre los valores de (17.5 – 42) Kg/cm² .

En esta muestra de suelo el valor que cumple con este requerimiento corresponde a la adición del 11% de cemento, resultando un valor de 17.68 Kg/cm².

Con respecto al coeficiente estructural, según la (AASHTO, 1993) sugiere los valores presentados en la tabla 7, para el diseño estructural de pavimentos flexibles, en la cual, el

coeficiente para ser considerado como una base suelo-cemento, debe estar entre (0.047-0.079) cm. En esta muestra de suelo, cumpliría con este requerimiento con los porcentajes del 9,10 y 11%.

4.1.5.2. Muestra de suelo 2

Tabla 101

Comparación de los resultados de las presiones y coeficientes estructurales de la muestra de suelo 2

SUELO	SUELO 2-CURADO SUMERGIDO			SUELO 2-CURADO POR CAPILARIDAD			PROMEDIO	
	Lectura dial de la carga	Presión (kg/cm ²)	Coeficiente estructural de capas (cm)	Lectura dial de la carga	Presión (kg/cm ²)	Coeficiente estructural de capas	Presión (kg/cm ²)	Coeficiente estructural de capas (cm)
Natural	-	-	-	132	5.28	-	5.28	-
9% cemento	130	5.20	0.065	146	5.82	0.069	5.12	0.067
10% cemento	229	9.06	0.086	218	8.63	0.084	8.84	0.085
11% cemento	308	12.13	0.100	278	10.96	0.095	11.55	0.098

En la tabla 101, se observa que, el espécimen de suelo natural con el curado sumergido carece de datos, ya que esta se fracturó al momento de retirar el papel film, hasta el punto de despedazarse completamente, pero con el curado por capilaridad se logró obtener una resistencia de 5.28 Kg/cm².

La mayor resistencia en esta muestra de suelo se obtiene mediante el curado sumergido llegando a un valor de 12.13 Kg/cm² con la adición del 11% de cemento, a comparación del suelo en estado natural, el cual posee una resistencia baja de 5.28 Kg/cm².

Con respecto a los coeficientes estructurales, estos poseen valores similares, con el curado sumergido presenta un valor de 0.100 cm y con el curado por capilaridad 0.095 cm.

- **Proyección de la resistencia a la compresión simple a los 28 días de la muestra de suelo 2**

A continuación, se presentan las presiones proyectadas para esta muestra de suelo.

Tabla 102

Presión a los 7 días y presión proyectada a los 28 días de la muestra de suelo 2

SUELO 2		
Suelo	Presión promedio a los 7 días (kg/cm²)	Presión promedio a los 28 días (kg/cm²)
Natural	5.28	8.04
9% cemento	5.12	7.80
10% cemento	8.84	13.47
11% cemento	11.55	17.59

- **Análisis de Compresión y Coeficiente Estructural de la muestra de suelo 2**

Sabiendo que la resistencia a la compresión a los 28 días debe estar entre los valores de (17.5 – 42) Kg/cm². En esta muestra de suelo el valor que cumple con este requerimiento corresponde a la adición del 11% de cemento, resultando un valor de 17.59 Kg/cm².

Con respecto al coeficiente estructural, debe estar entre (0.047-0.079) cm. En esta muestra de suelo, cumpliría con este requerimiento con los porcentajes del 9,10 y 11%.

4.1.5.3. Muestra de suelo 3

Tabla 103

Comparación de los resultados de las presiones y coeficientes estructurales de la muestra de suelo 3

SUELO	SUELO 3-CURADO SUMERGIDO			SUELO 3-CURADO POR CAPILARIDAD			PROMEDIO	
	Lectura dial de la carga	Presión (kg/cm ²)	Coefficiente estructural de capas (cm)	Lectura dial de la carga	Presión (kg/cm ²)	Coefficiente estructural de capas	Presión (kg/cm ²)	Coefficiente estructural de capas (cm)
Natural	95	3.84	-	102	4.11	-	3.97	-
9% cemento	205	8.12	0.082	245	9.68	0.089	8.90	0.085
10% cemento	265	10.46	0.093	285	11.24	0.096	10.85	0.095
11% cemento	335	13.18	0.105	349	13.73	0.107	13.46	0.106

Conforme a la tabla 103, se puede observar que la mayor resistencia se genera con el curado por capilaridad en todos los casos y el coeficiente estructural es bastante similar en ambos tipos de curado, siendo el mayor valor 0.107 cm correspondiente al 11% de cemento, además se puede evidenciar que, la resistencia del suelo en estado natural es de 4.11 Kg/cm² y con la adición de cemento incrementa hasta un valor de 13.73 Kg/cm².

- **Proyección de la resistencia a la compresión simple a los 28 días de la muestra de suelo 3**

A continuación, se presentan las presiones proyectadas para esta muestra de suelo.

Tabla 104

Presión a los 7 días y presión proyectada a los 28 días de la muestra de suelo 3

Suelo 3		
Suelo	Presión promedio a los 7 días (kg/cm ²)	Presión promedio a los 28 días (kg/cm ²)
Natural	3.97	6.05
9% cemento	8.90	13.56
10% cemento	10.85	16.52
11% cemento	13.46	20.49

- **Análisis de Compresión y Coeficiente Estructural de la muestra de suelo 3**

Sabiendo que la resistencia a la compresión a los 28 días debe estar entre los valores de (17.5 – 42) Kg/cm². En esta muestra de suelo el valor que cumple con este requerimiento corresponde a la adición del 11% de cemento, resultando un valor de 20.49 Kg/cm².

Con respecto al coeficiente estructural, debe estar entre (0.047-0.079) cm. En esta muestra de suelo, cumpliría con este requerimiento con los porcentajes del 9,10 y 11%.

4.1.6. Ensayo equivalente de arena

Para este ensayo los porcentajes de estabilización son el 9 y 11% de cemento, debido a que se necesita evidenciar con qué porcentaje se obtienen las peores condiciones y de igual manera las condiciones óptimas.

Tabla 105

Comparación de los porcentajes del ensayo equivalente de arena de cada muestra de suelo

MUESTRA DE SUELO	LECTURA			%EQUIVALENTE ARENA
	LECTURA de ARCILLA (pulg)	APARENTE DE ARENA (pulg)	LECTURA REAL DE ARENA (pulg)	
Suelo 1 - 9% cemento	5.2	11.4	1.4	27%
Suelo 1 - 11% cemento	10.3	11	1	10%
Suelo 2 - 9% cemento	4.6	12	2	43%
Suelo 2 - 11% cemento	4	11.9	1.9	48%
Suelo 3 - 9% cemento	6	10.8	0.8	13%
Suelo 3 - 11% cemento	7	10.5	0.5	7%

En la tabla 105, se presentan los resultados de la obtención del ensayo equivalente arena, mostrando que el porcentaje de arena para la muestra 1 con el valor del 9% de cemento es del 27%, a su vez para el 11% indica que el valor es del 10% de arena, es decir en esta muestra al agregar mayor cantidad de cemento este porcentaje disminuye.

Para la muestra de suelo 2, ocurre lo contrario a la muestra de suelo 1, ya que al agregar mayor cantidad de cemento el porcentaje aumenta de 43% a 48%.

El comportamiento de la muestra de suelo 3, es igual al de la muestra de suelo 1, los valores disminuyen del 13% al 7%.

- **Análisis de Equivalente de Arena**

Según la (ASTM D2419-02, 2003), recomienda que los porcentajes de equivalente de arena para que un suelo sea utilizado como capa de base debe tener un mínimo del 35%, valor que solo cumple la muestra de suelo 2, tanto con la adición del 9% como con el 11%.

4.2. Conclusiones y Recomendaciones

4.2.1. Conclusiones

De acuerdo con la información recopilada, realización de ensayos mecánicos y análisis obtenidos se presentan las siguientes conclusiones:

- Se determinaron las propiedades mecánicas de cada muestra de suelo, tanto en estado natural, como para un suelo estabilizado, en base a los estudios realizados en el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca, de donde se deduce que:

- Las muestras de suelo 1, 2 y 3, presentaron los siguientes resultados en sus propiedades mecánicas; con respecto a su límite líquido no se evidenció un mayor cambio, por el contrario, el límite plástico aumentó, logrando que el índice de plasticidad disminuya considerablemente, obteniendo mejores resultados con el 11% de cemento. Asimismo, se puede decir que, únicamente la muestra de suelo N°3, cumple con el requerimiento del índice de plasticidad planteado por el MOP en sus especificaciones técnicas, con un porcentaje resultante de 3.33% y 3.03% correspondientes al 10 y 11% de cemento respectivamente.

- Con respecto al análisis de la resistencia portante (CBR), se concluye que, los mejores resultados para las tres muestras de suelo se obtienen con la adición del 11% de cemento, obteniendo valores que oscilan en un rango del 43 al 49%. Sin embargo, no logran cumplir con los requerimientos establecidos en la norma, la cual establece un valor mínimo del 80%.

- En las tres muestras de suelo, con la adición del 11% de cemento se requiere un promedio de 3.43 sacos de cemento por cada m³ del terreno natural, lo que significaría un valor aproximado de \$27 para estabilizar un m³ de dicho

material, a comparación de una base granular el m³ presenta un valor aproximado de \$30, en cuanto a costos podría ser factible, sin embargo, como se mencionó anteriormente el CBR no cumple con los parámetros de una base.

- El valor del CBR para ser considerado como base fue solventado solamente en la muestra de suelo 1, mediante la proyección de la resistencia con un porcentaje del 16% de cemento, obteniendo un valor del 82%. Sin embargo, como se mencionó anteriormente se debería realizar un análisis económico y de esta manera verificar la factibilidad de su uso, ya que representa un valor de 5,32 sacos de cemento por cada m³ de este material.

- Con los resultados del ensayo de compresión simple, proyectados a los 28 días, con la adición del 11% de cemento, sí cumple este parámetro en todas las muestras de suelo, alcanzando valores mayores a la resistencia mínima correspondiente al 17.5 Kg/cm².

- Con respecto a los coeficientes estructurales, en todas las muestras de suelo y con la adición del 9,10 y 11% de cemento, se cumple de manera óptima para ser considerado una base suelo – cemento.

- Finalmente se puede concluir, que no es factible utilizar suelos como capa de base con la adición del 9,10 y 11% de cemento, con las características que presentan las tres muestras, ya que no cumplen con los requerimientos establecidos en la normativa. Sin embargo, podrían ser usadas en una vía con un orden jerárquico inferior, además como se mencionó anteriormente, la muestra de suelo 1 podría utilizarse con un porcentaje del 16%, siempre y cuando se garantice su viabilidad. Asimismo, se debe considerar la posibilidad del uso de suelos en zonas donde se evidencie su utilización como camino, ya que estos podrían tener la misma clasificación con mejores características.

4.2.2. Recomendaciones

- Se recomienda continuar con una mayor cantidad de ensayos de suelos existentes en la Provincia, con el fin de poder afinar los datos y hallazgos encontrados en la presente investigación.
- Se recomienda realizar ensayos con los diferentes tipos de cemento que existen en el mercado para verificar cuál de ellos mejora mayormente las propiedades del suelo, además de ello se propone realizar una mezcla entre cemento y cal, ya que podría disminuir los costos y los límites de Atterberg.
- Se recomienda cuantificar la cantidad de material adecuada para la realización de los ensayos, de manera que las muestras de suelo solo se extraigan una vez, con el objetivo de que no exista una variabilidad en sus propiedades físicas.
- Al momento de realizar el ensayo de Límites de Atterberg, se recomienda adicionar el agua paulatinamente, para que no se genere un desperdicio de material al repetir nuevamente el ensayo.
- Para los ensayos de compactación y CBR se recomienda seguir la normativa correctamente, de manera que, al momento de compactar los golpes se distribuyan de manera uniforme y no solo en la parte central, ya que generará resultados erróneos.
- Para el ensayo de compresión simple se recomienda realizar el curado por capilaridad, ya que al desenvolver las muestras no se fracturan antes de llevarlas al horno.
- Al momento de desmoldar las muestras con la adición del 10 y 11% de cemento, se debe utilizar una gata con capacidad adecuada que permita el desarrollo óptimo del ensayo.

4.3. Bibliografía

AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Paviment Structures*.

<https://habiboooug.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>

Alvarado, J. (Director). (2021). *PRODUCCIÓN DE BASE GRANULAR* [Mp4].

[https://www.youtube.com/watch?v=x-_Sbb-](https://www.youtube.com/watch?v=x-_Sbb-81xQ&ab_channel=Jos%C3%A9FranciscoAlvaradoRodr%C3%ADguez)

[81xQ&ab_channel=Jos%C3%A9FranciscoAlvaradoRodr%C3%ADguez](https://www.youtube.com/watch?v=x-_Sbb-81xQ&ab_channel=Jos%C3%A9FranciscoAlvaradoRodr%C3%ADguez)

Arévalo, N., & Cabrera, R. (2022). *CORRELACIÓN DE CBR APLICANDO EL CONO DINÁMICO EN CAMPO, EL CBR DE LABORATORIO Y CBR IN SITU, DE SUBRASANTES NATURALES EN LA CIUDAD DE CUENCA*.

Arízaga, J. (2014). *Análisis geotécnico de las causas por las cuales ocurrió el colapso de la losa de piso de la cancha del pabellón de comunidad terapéutica del Centro de Rehabilitación Social (CRS) Cuenca y solución técnica de la problemática* [B.S. thesis]. Universidad del Azuay.

ASTM C1157. (1992). *ASTM C1157 Cementos Hidráulicos. Requisitos de Desempeño*.

ASTM D1883-07. (2009). *Astm D 1883-07 CBR*.

ASTM D2419-02. (2003). *Método de Ensayo Estándar para Valor Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino ASTM D 2419-02*.

Badillo, J., & Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de suelos* (2005.^a ed., Vol. 1). LIMUSA.

https://suelos.milaulas.com/pluginfile.php/128/mod_resource/content/1/Mecanica%20de%20suelos%20-%20Juarez%20Badillo.pdf

Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil* (1981.^a ed.). MCGRAW-HILL.

- Calle Rentería, E. J. A., & Olivera Velásquez, J. C. (2019). *Uso de la técnica base suelo cemento en el pavimento flexible de la Av. Los Algarrobos entre Av. R y Av. Las amapolas-26 de octubre–Piura.*
- Camacho, J. (2015). *DISEÑO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO POR EL METODO AASHTO-93 EMPLEANDO EL SOFTWARE DISAASHTO-93.*
<https://core.ac.uk/download/pdf/143451539.pdf>
- Cevallos Chávez, C. A., Cruz Erique, J. E. de la, & others. (2021). *Diseño del suelo cemento y su aplicación como material de sitio para la construcción del camino vecinal del Recinto Zapán [B.S. thesis].* Guayaquil: ULVR, 2021.
- Coronel, D., & Ortiz, W. (2020). *DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL SUBSUELO LADO N/O, CAMPUS MIRACIELOS RICAURTE, NECESARIOS PARA EL PROYECTO INVESTIGATIVO "MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y MAPA DE RIESGOS".* Universidad Católica de Cuenca.
- D18 Committee. (s. f.). *Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).* ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D2487-10>
- De la Fuente, E. (2013). *Suelo—Cemento Sus usos, propiedades y aplicaciones.* M. en A. Soledad Moliné Venanzi.
- Díaz, I., & Maldonado, L. (2012). (p. 16).
- García-Toro, J. R. & others. (2019). *Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín.*
- Geoxnet, E. (2019, agosto 4). Clasificación de suelos. *Geología - publicaciones.*
<https://post.geoxnet.com/clasificacion-de-suelos/>

Gómez, J. (2015). *Proyecto de Carreteras*.

https://node1.123dok.com/dto2pdf/123dok_es/002/919/2919871.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=7PKKQ3DUV8RG19BL%2F20221208%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20221208T173447Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=a600f60cofb053881e615ec3dec23d70ce5772db2aa365258853e7ee51f1c7fe

Guardia Benancio, J. O., & Gutierrez Colonia, S. M. (2021). *Estabilización de suelos, empleando la técnica suelo cemento, en la trocha carrozable, tramo Honkopampa–Pashpa, San Miguel de Aco–Carhuaz, 2021*.

Higuera, C. (2011). *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras VI* (2010.^a ed., Vol. 1). Uptc.

IDE. (2017). *Cartografía de Libre Acceso Escala 50k – Geoportal Ecuador*.

<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>

La Hora. (2007). *Explotación de áridos / El Tiempo*. <https://www.lahora.com.ec/pais/tiempo-88/>

LANAVIAL. (2003). *Método de ensayo para determinar el valor soporte CBR* (p. 16).

López, G. (s. f.). *Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado*.

Loyola, I. (2017, julio 31). *Diccionario de Geotecnia en español*.

<https://www.diccionario.geotecnia.online/sobre/>

MAGAP. (2015). *CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA DE LA PARROQUIA LLACAO*.

<https://app.sni.gob.ec/sni->

link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0160025500001_Diagnostico%20Llacao_PDOT2015_30-10-2015_19-08-42.pdf

Mamani Miramira, W. (2018). *Análisis de estabilización de suelos con cemento, en componentes estructurales para diseño equivalente de pavimentos rígidos, segmentados y flexibles en vías de bajo volumen de tránsito.*

Mescoopal. (2010). *Proyecto Adoquines: Aspectos Técnicos.*

<https://www.slideshare.net/mescoopal/proyecto-adoquines-aspectos-tnicos/4>

Montejo, A. (1997). *Ingeniería de Pavimentos* (1997.^a ed.). Ediciones y Publicaciones.

Montejo, A., Montejo, A., & Montejo, A. (2018). *Estabilización de suelos* (2018.^a ed.). Ediciones de la U.

MOP. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES.* https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf

Murillo, V. (2010). *Estudio del comportamiento de las bases de pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca y su influencia en el diseño.* Cuenca: Universidad de Cuenca Facultad de Ingeniería.

Naciones Unidas. (s. f.). *Objetivos de desarrollo sostenible. Naciones Unidas.*

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>

NEVI-12-MTOP. (2013). *VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES.*

Paricanaza Jala, N. E., & Roque Cáceres, V. D. (2021). *Diseño de base granular suelo cemento usando agregados de la Cantera Cáceres Para la carretera Juliaca-Caminaca 2021.*

Reyes, F. (2003). *DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS* (2003.^a ed.). Centro Editorial Javeriano.

Rico, A., & Castillo, H. (2015). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres* (2015.^a ed., Vol. 2). LIMUSA.

Sanchez, C. (2020). *Normas APA Séptima Edición*. [https://normas-apa.org/formato/#:~:text=Estructura-Actualizaciones%20Formato%20APA%207ma%20\(s%C3%A9ptima\)%20edici%C3%B3n,fuente%20que%20sea%20altamente%20legible](https://normas-apa.org/formato/#:~:text=Estructura-Actualizaciones%20Formato%20APA%207ma%20(s%C3%A9ptima)%20edici%C3%B3n,fuente%20que%20sea%20altamente%20legible)

Simeon, J. (s. f.). *ANALISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No. 200 (75 μ m) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO*.

UNE-EN 933-8. (2000). *Ensayos para determinar la dpropiedades deométricas de los áridos* (p. 17).

4.4. Anexos

4.4.1. Anexos Fotográficos

Anexo 1

Zona de extracción de la muestra



Anexo 2

Secado del material



Anexo 3

Lavado del material



Anexo 4

Material resultante después del lavado



Anexo 5

Tamizado mecánico del material



Anexo 6

Homogeneización del material



Anexo 7

Tamizado manual del material



Anexo 8

Pesaje del material



Anexo 9

Pesaje del material para realización del ensayo



Anexo 10

Pesaje del cemento



Anexo 11

Probeta de agua con la cantidad de agua a adicionar en el ensayo



Anexo 12

Enrasado del material



Anexo 13

Enrasado del material



Anexo 14

Muestras preparadas para ser sumergidas para ensayo CBR



Anexo 15

Encerado de la deformación de las muestras



Anexo 16

Sumergido de las muestras



Anexo 17

Ecurrimiento de las muestras después del remojo



Anexo 18

Pesaje de la muestra después del remojo



Anexo 19

Realización del ensayo CBR



Anexo 20

Pesaje del material con la adición de cemento



Anexo 21

Muestra preparada para ensayo Proctor



Anexo 22

Colocación de las muestras para ser escurridas



Anexo 23

Proceso de escurrimiento



Anexo 24

Envoltura de las muestras para ensayo de Compresión



Anexo 25

Muestras envueltas para el proceso de curado



Anexo 26

Curado sumergido



Anexo 27

Curado por capilaridad



Anexo 28

Realización del ensayo de Compresión Simple



Anexo 29

Ensayo de Compresión Simple



Anexo 30

Residuos de las muestras del ensayo de compresión



Anexo 31

Desmolde de las muestras de suelo



Anexo 32

Muestras de suelo desmoldadas



Anexo 33

Colocación de muestras en el horno



Anexo 34

Secado de muestras en la hornilla para ensayo Equivalente de arena



Anexo 35

Pesaje de las muestras de suelo para ensayo Equivalente de arena



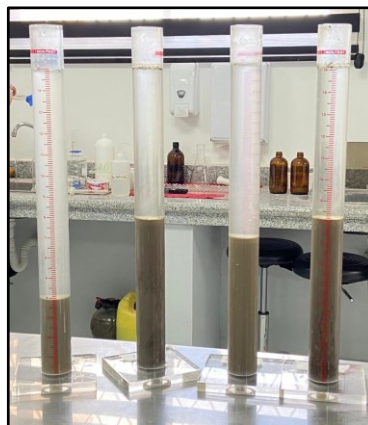
Anexo 36

Muestra de suelo con adición de cemento



Anexo 37

Ensayo Equivalente de arena




4.4.2. Anexos de Laboratorio

Anexo 38

Ensayo: Granulometría y Clasificación de suelos de la muestra de suelo 1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Universidad Católica de Cuenca

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRO DE SUELO I
FECHA: ENERO-2023

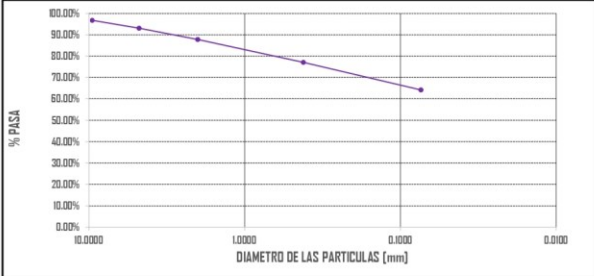
GRANULOMETRIA - CLASIFICACIÓN DE SUELOS- SUELO NATURAL

Tamiz No.	Abertura [mm]	Retenido (gr)	Ret. Acu (gr)	% Retenido	%Pasa
3/8	9.51	14	14	3.32%	96.68%
N4	4.76	15	29	6.88%	93.12%
N10	2.00	22.5	51.5	12.22%	87.78%
N40	0.42	45	96.5	22.91%	77.09%
N200	0.07	54.5	151	35.84%	64.16%
FONDO	-	0	0	0.00%	
SUMA		151.00		81.18%	

Peso de la muestra inicial	500.00
----------------------------	--------

Humedad	18.68
---------	-------

Ws	4212931844
----	------------



LL		
LL	57.90	%
LP	29.57	%
IP	28.33	%

AASHTO		
Porcentaje que pasa N200	64.16%	+ 35%
IG	17.45/73668	16 a 20
IP	28.33	MIN II
LL	57.90	41 min
A - 7-5 Suelo arcilloso, regular a deficiente		

CALCULO DE LA HUMEDAD		
Tarro	T1	O2
PMH+T	95.84	92.05
PMS+T	87.3	84.6
T	43.07	43.34
%W	19.31	18.06
Prom		18.68

SUCS		
Porcentaje que pasa N200	64.16%	+ 50%
% LL	57.90	mayor que 50%
IP > 7 o < 4	28.33	mayor a 7
CH Arcilla de alta plasticidad		

CLASIFICACIÓN DE SUELOS - 9% DE CEMENTO

AASHTO		
Porcentaje que pasa N200	64.16%	+ 35%
IG	7.177	12 max
IP	8.26	10 max
LL	55.10	41 min
A-5 Suelo limoso, regular a deficiente		

SUCS		
Porcentaje que pasa N200	64.16%	+ 50%
% LL	55.10	mayor que 50%
IP > 7 o < 4	8.26	mayor a 7
MH Limo de alta plasticidad		

CLASIFICACIÓN DE SUELOS - 10% DE CEMENTO

AASHTO		
Porcentaje que pasa N200	64.16%	+ 35%
IG	8.065	12 max
IP	10.42	10 max
LL	53.90	41 min
A-5 Suelo limoso, regular a deficiente		

SUCS		
Porcentaje que pasa N200	64.16%	+ 50%
% LL	53.90	mayor que 50%
IP > 7 o < 4	10.42	mayor a 7
MH Limo de alta plasticidad		

CLASIFICACIÓN DE SUELOS - 11% DE CEMENTO


AASHTO		
Porcentaje que pasa N200	64.16%	+ 35%
IG	9.343	12 max
IP	13.08	11 min
LL	53.70	41 min
A-7 Suelo arcilloso, regular a deficiente		

SUCS		
Porcentaje que pasa N200	64.16%	+ 50%
% LL	53.70	mayor que 50%
IP > 7 o < 4	13.08	mayor a 7
MH Limo de alta plasticidad		

Anexo 39

Ensayo: Granulometría y Clasificación de suelos de la muestra de suelo 2

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Universidad Católica de Cuenca

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - MUESTRO DE SUELO 2
FECHA: ENERO-2023

GRANULOMETRÍA-CLASIFICACIÓN DE SUELOS- SUELO NATURAL

Tamiz No.	Abertura (mm)	Retenido (gr)	Ret. Acu (gr)	% Retenido	%Pasa
3/8	9.51	0	0	0.00%	100.00%
N4	4.76	0	0	0.00%	100.00%
N10	2.00	0	0	0.00%	100.00%
N40	0.42	0	0	0.00%	100.00%
N200	0.07	5.5	5.5	1.36%	98.64%
FONDO	-	0	0	0.00%	
SUMA		5.50		1.36%	

Peso de la muestra inicial	500.00
----------------------------	--------

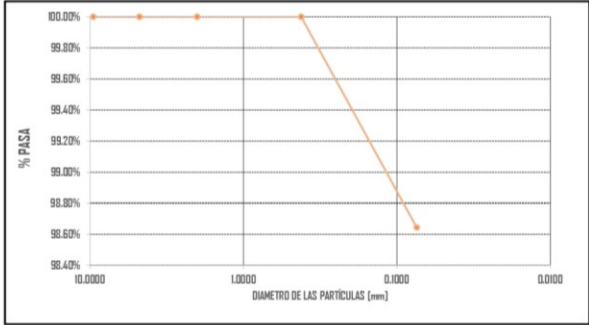
Humedad	23.37
---------	-------

Ws	405.2851856
----	-------------

LL	53.00	%
LP	35.69	%
IP	17.31	%

CALCULO DE LA HUMEDAD

Tarro	8	PEI
PMH+T	87.25	80.36
PMS+T	80.7	73.5
T	52.64	44.18
%W	23.34	23.40
Prom		23.37



AASHTO		
Porcentaje que pasa N200	98.64%	+ 35%
IG	22.9783	mayor a 20
IP	17.31	MIN II
LL	53.00	41 min
A - 7 - 6 Suelo arcilloso, regular a deficiente		

SUCS		
Porcentaje que pasa N200	98.64%	+ 50%
% LL	53.00	mayor que 50%
IP > 7 o < 4	17.31	mayor a 7
MH Limo de alta plasticidad		

CLASIFICACIÓN DE SUELOS - 8% DE CEMENTO

AASHTO		
Porcentaje que pasa N200	98.64%	+ 35%
IG	13.73580002	12 a 16
IP	7.21	10 max
LL	50.50	41 min
A - 5 Suelo limoso, regular a malo		

SUCS		
Porcentaje que pasa N200	98.64%	+ 50%
% LL	50.50	mayor que 50%
IP > 7 o < 4	7.21	mayor a 7
MH Limo de alta plasticidad		

CLASIFICACIÓN DE SUELOS - 10% DE CEMENTO

AASHTO		
Porcentaje que pasa N200	98.64%	+ 35%
IG	13.01383893	12 a 16
IP	6.73	10 max
LL	49.50	41 min
A - 5 Suelo limoso, regular a malo		

SUCS		
Porcentaje que pasa N200	98.64%	+ 50%
% LL	49.50	menor que 50%
IP > 7 o < 4	6.73	entre 4 y 7
ML Limo de baja plasticidad		


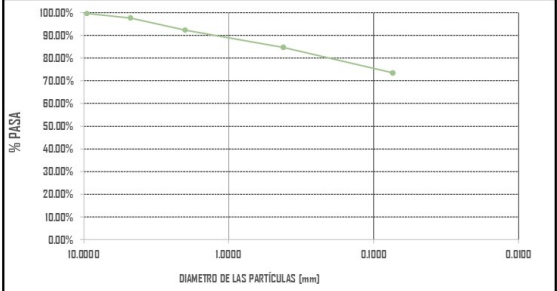
CLASIFICACIÓN DE SUELOS - 11% DE CEMENTO

AASHTO		
Porcentaje que pasa N200	98.64%	+ 35%
IG	16.37009141	16 a 20
IP	9.98	10 max
LL	51.50	41 min
A - 5 Suelo limoso, regular a malo		

SUCS		
Porcentaje que pasa N200	98.64%	+ 50%
% LL	51.50	mayor que 50%
IP > 7 o < 4	9.98	mayor a 7
MH Limo de alta plasticidad		

Anexo 40


Ensayo: Granulometría y Clasificación de suelos de la muestra de suelo 3

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN					 Universidad Católica de Cuenca																																																	
ENSAYO:		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRO DE SUELO 3																																																				
FECHA:		ENERO-2023																																																				
GRANULOMETRÍA-CLASIFICACIÓN DE SUELOS- SUELO NATURAL																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tamiz No.</th> <th>Abertura [mm]</th> <th>Retenido (gr)</th> <th>Ret. Acu (gr)</th> <th>% Retenido</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/8</td> <td>9.51</td> <td>1.5</td> <td>1.5</td> <td>0.36%</td> <td>99.64%</td> </tr> <tr> <td>N4</td> <td>4.76</td> <td>8</td> <td>9.5</td> <td>2.27%</td> <td>97.73%</td> </tr> <tr> <td>N10</td> <td>2.00</td> <td>22.5</td> <td>32</td> <td>7.64%</td> <td>92.36%</td> </tr> <tr> <td>N40</td> <td>0.42</td> <td>32</td> <td>64</td> <td>15.27%</td> <td>84.73%</td> </tr> <tr> <td>N200</td> <td>0.07</td> <td>47</td> <td>111</td> <td>26.49%</td> <td>73.51%</td> </tr> <tr> <td>FONDO</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.00%</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">SUMA</td> <td>111.00</td> <td></td> <td>52.02%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Tamiz No.	Abertura [mm]	Retenido (gr)	Ret. Acu (gr)	% Retenido	% Pasa	3/8	9.51	1.5	1.5	0.36%	99.64%	N4	4.76	8	9.5	2.27%	97.73%	N10	2.00	22.5	32	7.64%	92.36%	N40	0.42	32	64	15.27%	84.73%	N200	0.07	47	111	26.49%	73.51%	FONDO	-	0	0	0.00%		SUMA		111.00		52.02%			
Tamiz No.	Abertura [mm]	Retenido (gr)	Ret. Acu (gr)	% Retenido	% Pasa																																																	
3/8	9.51	1.5	1.5	0.36%	99.64%																																																	
N4	4.76	8	9.5	2.27%	97.73%																																																	
N10	2.00	22.5	32	7.64%	92.36%																																																	
N40	0.42	32	64	15.27%	84.73%																																																	
N200	0.07	47	111	26.49%	73.51%																																																	
FONDO	-	0	0	0.00%																																																		
SUMA		111.00		52.02%																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Peso de la muestra inicial</td> <td>500.00</td> <td>Humedad</td> <td>19.30</td> </tr> <tr> <td>Ws</td> <td>419.1034425</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Peso de la muestra inicial	500.00	Humedad	19.30	Ws	419.1034425																																															
Peso de la muestra inicial	500.00	Humedad	19.30																																																			
Ws	419.1034425																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>LL</td> <td>48.50</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>LP</td> <td>28.59</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>IP</td> <td>19.91</td> <td>%</td> </tr> </table>		LL	48.50	%	LP	28.59	%	IP	19.91	%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">AASHTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje que pasa N200</td> <td>73.51%</td> <td>+ 35%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IG</td> <td>15.13954669</td> <td>12 a 16</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IP</td> <td>19.91</td> <td>MIN II</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LL</td> <td>48.50</td> <td>41 min</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A - 7-5</td> <td colspan="3">Suelo arcilloso, regular a deficiente</td> </tr> </tbody> </table>		AASHTO				Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 35%		IG	15.13954669	12 a 16		IP	19.91	MIN II		LL	48.50	41 min		A - 7-5	Suelo arcilloso, regular a deficiente																				
LL	48.50	%																																																				
LP	28.59	%																																																				
IP	19.91	%																																																				
AASHTO																																																						
Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 35%																																																				
IG	15.13954669	12 a 16																																																				
IP	19.91	MIN II																																																				
LL	48.50	41 min																																																				
A - 7-5	Suelo arcilloso, regular a deficiente																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">CALCULO DE LA HUMEDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tarro</td> <td>P1</td> <td>S6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PMH+T</td> <td>119.88</td> <td>110.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PMS+T</td> <td>111.8</td> <td>103.6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>69.66</td> <td>66.03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>%W</td> <td>19.17</td> <td>19.43</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Prom</td> <td colspan="2">19.30</td> </tr> </tbody> </table>		CALCULO DE LA HUMEDAD				Tarro	P1	S6		PMH+T	119.88	110.9		PMS+T	111.8	103.6		T	69.66	66.03		%W	19.17	19.43		Prom		19.30		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">SUCS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje que pasa N200</td> <td>73.51%</td> <td>+ 50%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% LL</td> <td>48.50</td> <td>menor que 50%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IP > 7 o < 4</td> <td>19.91</td> <td>mayor a 7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ML</td> <td colspan="3">Limo de baja plasticidad</td> </tr> </tbody> </table>		SUCS				Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 50%		% LL	48.50	menor que 50%		IP > 7 o < 4	19.91	mayor a 7		ML	Limo de baja plasticidad					
CALCULO DE LA HUMEDAD																																																						
Tarro	P1	S6																																																				
PMH+T	119.88	110.9																																																				
PMS+T	111.8	103.6																																																				
T	69.66	66.03																																																				
%W	19.17	19.43																																																				
Prom		19.30																																																				
SUCS																																																						
Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 50%																																																				
% LL	48.50	menor que 50%																																																				
IP > 7 o < 4	19.91	mayor a 7																																																				
ML	Limo de baja plasticidad																																																					
CLASIFICACION DE SUELOS - 9% DE CEMENTO																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">AASHTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje que pasa N200</td> <td>73.51%</td> <td>+ 35%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IG</td> <td>7.945058426</td> <td>12 max</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IP</td> <td>7.62</td> <td>10 max</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LL</td> <td>48.50</td> <td>41 min</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A-5</td> <td colspan="3">Suelo limoso, regular a deficiente</td> </tr> </tbody> </table>		AASHTO				Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 35%		IG	7.945058426	12 max		IP	7.62	10 max		LL	48.50	41 min		A-5	Suelo limoso, regular a deficiente			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">SUCS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje que pasa N200</td> <td>73.51%</td> <td>+ 50%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% LL</td> <td>48.50</td> <td>menor que 50%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IP > 7 o < 4</td> <td>7.62</td> <td>mayor a 7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ML</td> <td colspan="3">Limo de baja plasticidad</td> </tr> </tbody> </table>		SUCS				Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 50%		% LL	48.50	menor que 50%		IP > 7 o < 4	7.62	mayor a 7		ML	Limo de baja plasticidad									
AASHTO																																																						
Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 35%																																																				
IG	7.945058426	12 max																																																				
IP	7.62	10 max																																																				
LL	48.50	41 min																																																				
A-5	Suelo limoso, regular a deficiente																																																					
SUCS																																																						
Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 50%																																																				
% LL	48.50	menor que 50%																																																				
IP > 7 o < 4	7.62	mayor a 7																																																				
ML	Limo de baja plasticidad																																																					
CLASIFICACION DE SUELOS - 10% DE CEMENTO																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">AASHTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje que pasa N200</td> <td>73.51%</td> <td>+ 35%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IG</td> <td>4.838180383</td> <td>12 max</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IP</td> <td>3.33</td> <td>10 max</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LL</td> <td>45.40</td> <td>41 min</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A-5</td> <td colspan="3">Suelo limoso, regular a deficiente</td> </tr> </tbody> </table>		AASHTO				Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 35%		IG	4.838180383	12 max		IP	3.33	10 max		LL	45.40	41 min		A-5	Suelo limoso, regular a deficiente			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">SUCS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje que pasa N200</td> <td>73.51%</td> <td>+ 50%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% LL</td> <td>45.40</td> <td>menor que 50%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IP > 7 o < 4</td> <td>3.33</td> <td>menor que 4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ML</td> <td colspan="3">Limo de baja plasticidad</td> </tr> </tbody> </table>		SUCS				Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 50%		% LL	45.40	menor que 50%		IP > 7 o < 4	3.33	menor que 4		ML	Limo de baja plasticidad									
AASHTO																																																						
Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 35%																																																				
IG	4.838180383	12 max																																																				
IP	3.33	10 max																																																				
LL	45.40	41 min																																																				
A-5	Suelo limoso, regular a deficiente																																																					
SUCS																																																						
Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 50%																																																				
% LL	45.40	menor que 50%																																																				
IP > 7 o < 4	3.33	menor que 4																																																				
ML	Limo de baja plasticidad																																																					
CLASIFICACION DE SUELOS - 10% DE CEMENTO																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">AASHTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje que pasa N200</td> <td>73.51%</td> <td>+ 35%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IG</td> <td>4.392627109</td> <td>12 max</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IP</td> <td>3.03</td> <td>10 max</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LL</td> <td>44.00</td> <td>41 min</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A-5</td> <td colspan="3">Suelo limoso, regular a deficiente</td> </tr> </tbody> </table>		AASHTO				Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 35%		IG	4.392627109	12 max		IP	3.03	10 max		LL	44.00	41 min		A-5	Suelo limoso, regular a deficiente			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">SUCS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje que pasa N200</td> <td>73.51%</td> <td>+ 50%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% LL</td> <td>44.00</td> <td>menor que 50%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IP > 7 o < 4</td> <td>3.03</td> <td>menor que 4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ML</td> <td colspan="3">Limo de baja plasticidad</td> </tr> </tbody> </table>		SUCS				Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 50%		% LL	44.00	menor que 50%		IP > 7 o < 4	3.03	menor que 4		ML	Limo de baja plasticidad									
AASHTO																																																						
Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 35%																																																				
IG	4.392627109	12 max																																																				
IP	3.03	10 max																																																				
LL	44.00	41 min																																																				
A-5	Suelo limoso, regular a deficiente																																																					
SUCS																																																						
Porcentaje que pasa N200	73.51%	+ 50%																																																				
% LL	44.00	menor que 50%																																																				
IP > 7 o < 4	3.03	menor que 4																																																				
ML	Limo de baja plasticidad																																																					

Anexo 41

Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 1 – Anexo 1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



ENSAYO: LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRO DE SUELO I
FECHA: ENERO-2023

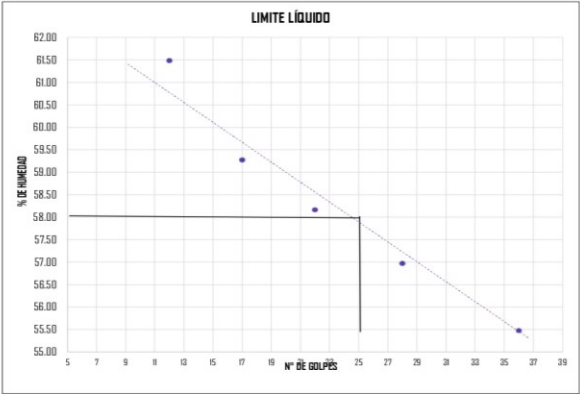
SUELO NATURAL

LIMITE LIQUIDO					
Tarro N	V2	7 Emi	02K	45K	PIK0
N. DE GOLPES	36	28	22	17	12
M.HUEDAD+TARRO	31.37	30.56	54.37	24.3	86.17
M.SECA+TARRO	24.28	23.9	50.31	19.06	79.88
PESO DEL AGUA	7.09	6.66	4.06	5.24	6.29
PESO DEL TARRO	11.5	12.21	43.33	10.22	69.65
PESO MUESTRA SECA	12.78	11.69	6.98	8.84	10.23
% DE HUMEDAD	55.48	56.97	58.17	59.28	61.49

LIMITE PLASTICO				
Tarro N	KB4	72	H101	186
N. DE GOLPES	-	-	-	-
M.HUEDAD+TARRO	7.94	8.01	4.98	7.1
M.SECA+TARRO	7.62	7.7	4.81	6.97
PESO DEL AGUA	0.32	0.31	0.17	0.13
PESO DEL TARRO	6.53	6.66	4.11	6.53
PESO MUESTRA SECA	1.09	1.04	0.7	0.44
% DE HUMEDAD	29.36	29.81	24.29	29.55
				PROM.
				29.57

Limite Liquido TOTAL	
N. DE GOLPES	25
% DE HUMEDAD	57.90
INDICE PLASTICO	28.33

GRAFICO N°GOLPES VS HUMEDAD					
N. DE GOLPES	12	17	22	28	36
% DE HUMEDAD	61.49	59.28	58.17	56.97	55.48



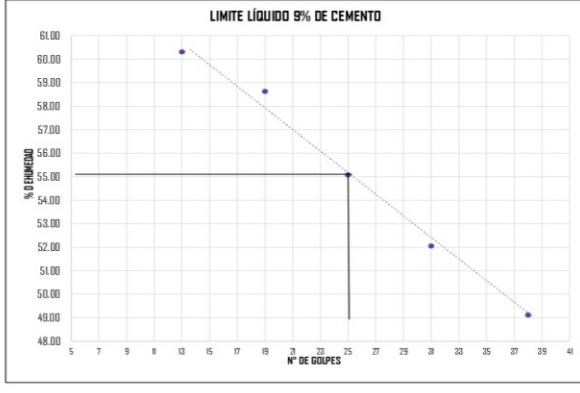
9% CEMENTO

LIMITE LIQUIDO					
Tarro N	EG1	V6	72	0	VE
N. DE GOLPES	38	31	25	19	13
M.HUEDAD+TARRO	19.71	20.69	19.59	23.59	18.51
M.SECA+TARRO	17.23	17.77	17.04	20.36	16.17
PESO DEL AGUA	2.48	2.92	2.55	3.23	2.34
PESO DEL TARRO	12.18	12.16	12.41	14.85	12.29
PESO MUESTRA SECA	5.05	5.61	4.63	5.51	3.88
% DE HUMEDAD	49.11	52.05	55.08	58.62	60.31

LIMITE PLASTICO				
Tarro N	78	86	69	1
N. DE GOLPES	-	-	-	-
M.HUEDAD+TARRO	6.95	8.89	10.17	6.74
M.SECA+TARRO	6.06	8.14	8.99	5.96
PESO DEL AGUA	0.89	0.75	1.18	0.78
PESO DEL TARRO	4.09	6.53	6.57	4.08
PESO MUESTRA SECA	1.97	1.61	2.42	1.88
% DE HUMEDAD	45.18	46.58	48.76	41.49
				PROM.
				46.84

Limite Liquido TOTAL	
N. DE GOLPES	25
% DE HUMEDAD	55.10
INDICE PLASTICO	8.26

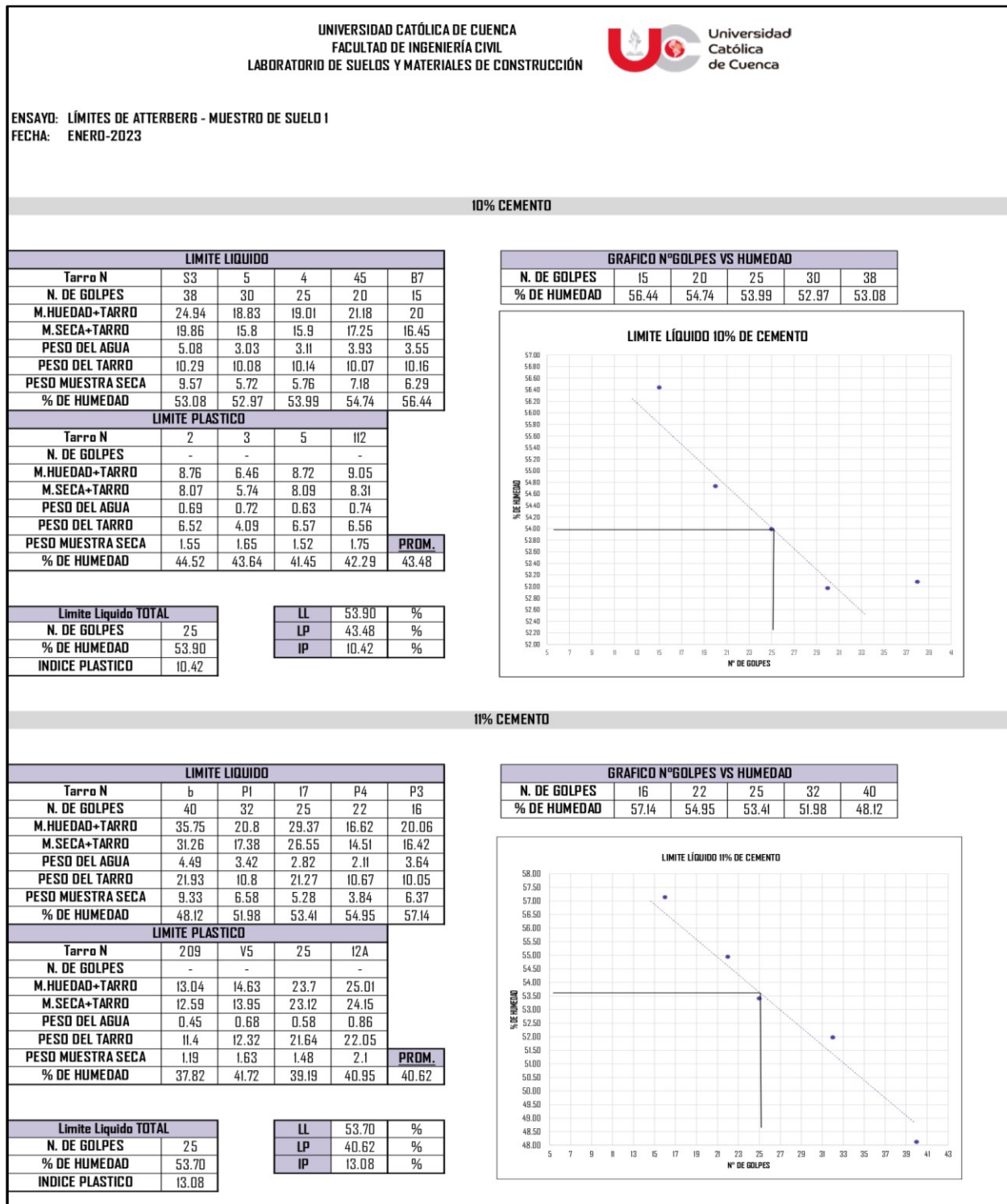
GRAFICO N°GOLPES VS HUMEDAD					
N. DE GOLPES	13	19	25	31	38
% DE HUMEDAD	60.31	58.62	55.08	52.05	49.11



LL	55.10	%
LP	46.84	%
IP	8.26	%

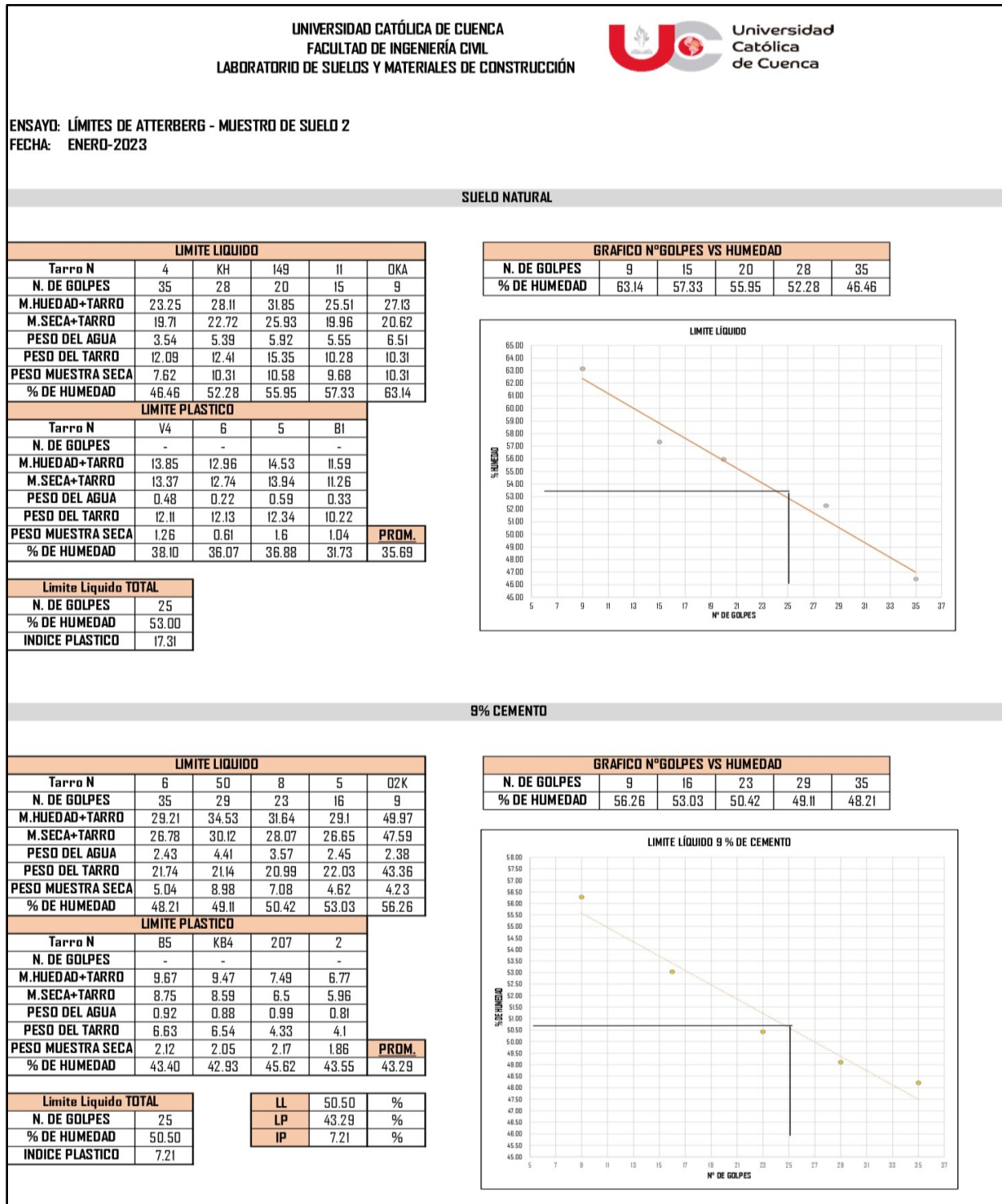
Anexo 42

Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 1 – Anexo 2



Anexo 43


Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 2 – Anexo 1



Anexo 44

Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 2 – Anexo 2

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



ENSAYO: LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRO DE SUELO 2
FECHA: ENERO-2023

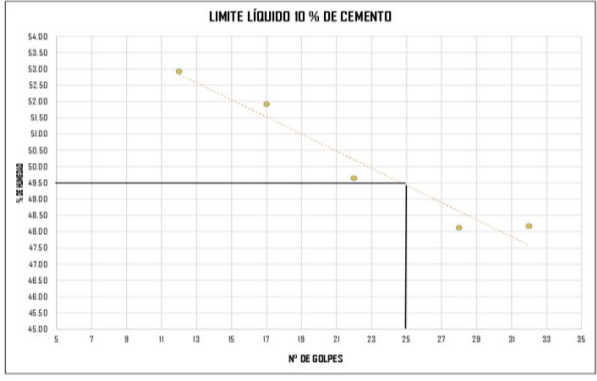
10% CEMENTO

LIMITE LIQUIDO					
Tarro N	VE	25	209	P3	19
N. DE GOLPES	32	28	22	17	12
M.HUEDAD+TARRO	21.89	31.08	19.85	23.89	22.75
M.SECA+TARRO	18.73	28.01	17.05	19.16	19.13
PESO DEL AGUA	3.16	3.07	2.8	4.73	3.62
PESO DEL TARRO	12.17	21.63	11.41	10.05	12.29
PESO MUESTRA SECA	6.56	6.38	5.64	9.11	6.84
% DE HUMEDAD	48.17	48.12	49.65	51.92	52.92

LIMITE PLASTICO					
Tarro N	1	69	78	3	
N. DE GOLPES	-	-	-	-	
M.HUEDAD+TARRO	6.81	9.19	7.11	6.58	
M.SECA+TARRO	5.99	8.4	6.21	5.86	
PESO DEL AGUA	0.82	0.79	0.9	0.72	
PESO DEL TARRO	4.08	6.56	4.09	4.09	
PESO MUESTRA SECA	1.91	1.84	2.12	1.77	PROM.
% DE HUMEDAD	42.93	42.93	42.45	40.68	42.77

Limite Liquido TOTAL		LL	49.50	%
N. DE GOLPES	25	LP	42.77	%
% DE HUMEDAD	49.50	IP	6.73	%
INDICE PLASTICO	6.73			

GRAFICO N°GOLPES VS HUMEDAD					
N. DE GOLPES	12	17	22	28	32
% DE HUMEDAD	52.92	51.92	49.65	48.12	48.17



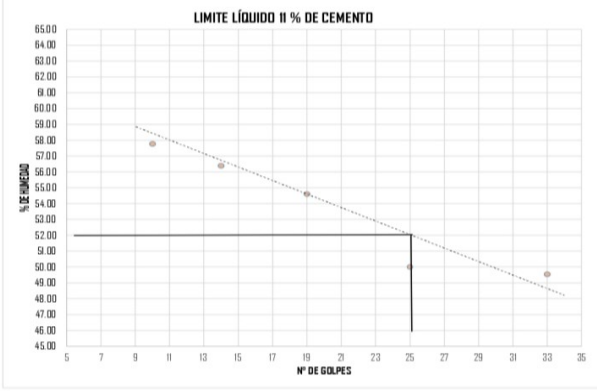
11% CEMENTO

LIMITE LIQUIDO					
Tarro N	2	81	FL8	11	13
N. DE GOLPES	25	33	19	14	10
M.HUEDAD+TARRO	19.13	20.09	19.19	19.22	19.06
M.SECA+TARRO	16.15	16.82	15.99	16	15.79
PESO DEL AGUA	2.98	3.27	3.2	3.22	3.27
PESO DEL TARRO	10.19	10.22	10.13	10.29	10.13
PESO MUESTRA SECA	5.96	6.6	5.86	5.71	5.66
% DE HUMEDAD	50.00	49.55	54.61	56.39	57.77

LIMITE PLASTICO					
Tarro N	P5	P11	P14	P7	
N. DE GOLPES	-	-	-	-	
M.HUEDAD+TARRO	12.91	12.25	13.03	13.17	
M.SECA+TARRO	12.13	11.6	12.25	12.55	
PESO DEL AGUA	0.78	0.65	0.78	0.62	
PESO DEL TARRO	10.24	10.05	10.36	11.06	
PESO MUESTRA SECA	1.89	1.55	1.89	1.49	PROM.
% DE HUMEDAD	41.27	41.94	41.27	41.61	41.52

Limite Liquido TOTAL		LL	51.50	%
N. DE GOLPES	25	LP	41.52	%
% DE HUMEDAD	51.50	IP	9.98	%
INDICE PLASTICO	9.98			


GRAFICO N°GOLPES VS HUMEDAD					
N. DE GOLPES	10	14	19	33	25
% DE HUMEDAD	57.77	56.39	54.61	49.55	50.00



Anexo 45

Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 3 – Anexo 1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



ENSAYO: LÍMITES DE ATTERBERG - MUESTRO DE SUELO 3
 FECHA: ENERO-2023

SUELO NATURAL


LÍMITE LÍQUIDO				
Tarro N	1	12	E61	200
N. DE GOLPES	32	25	19	15
M.HUEDAD+TARRO	28.37	28.02	24.92	29.23
M.SECA+TARRO	23.01	22.91	20.68	23.57
PESO DEL AGUA	5.36	5.11	4.24	5.66
PESO DEL TARRO	11.68	12.27	12.16	12.38
PESO MUESTRA SECA	11.33	10.64	8.52	11.19
% DE HUMEDAD	47.31	48.03	49.77	50.58

LÍMITE PLÁSTICO				
Tarro N	19	21	32	7
N. DE GOLPES	-	-	-	-
M.HUEDAD+TARRO	14.28	15.33	13.73	12.38
M.SECA+TARRO	13.82	14.66	13.43	12.17
PESO DEL AGUA	0.46	0.67	0.3	0.21
PESO DEL TARRO	12.3	12.42	12.3	11.41
PESO MUESTRA SECA	1.52	2.24	1.13	0.76
% DE HUMEDAD	30.26	29.91	26.55	27.63
				PROM.
				28.59

Limite Liquido TOTAL	
N. DE GOLPES	25
% DE HUMEDAD	48.50
INDICE PLÁSTICO	19.91

Limite Liquido TOTAL		LL		LP		IP	
N. DE GOLPES	25	48.50	%	40.88	%	7.62	%
% DE HUMEDAD	48.50						
INDICE PLÁSTICO	7.62						

GRAFICO N° GOLPES VS HUMEDAD				
N. DE GOLPES	15	19	25	32
% DE HUMEDAD	50.58	49.77	48.03	47.31



9% CEMENTO


LÍMITE LÍQUIDO					
Tarro N	E61	V5	149	72	0
N. DE GOLPES	39	33	28	24	19
M.HUEDAD+TARRO	22.1	22.69	22.99	19.34	21.19
M.SECA+TARRO	19.13	19.53	20.56	17.06	19.03
PESO DEL AGUA	2.97	3.16	2.43	2.28	2.16
PESO DEL TARRO	12.17	12.31	15.43	12.41	14.85
PESO MUESTRA SECA	6.96	7.22	5.13	4.65	4.18
% DE HUMEDAD	42.67	43.77	47.37	49.03	51.67

LÍMITE PLÁSTICO				
Tarro N	5	4	87	S3
N. DE GOLPES	-	-	-	-
M.HUEDAD+TARRO	13.19	13.78	12.9	13.14
M.SECA+TARRO	12.34	12.73	12.13	12.3
PESO DEL AGUA	0.85	1.05	0.77	0.84
PESO DEL TARRO	10.09	10.14	10.23	10.28
PESO MUESTRA SECA	2.25	2.59	1.9	2.02
% DE HUMEDAD	37.78	40.54	40.53	41.58
				PROM.
				40.88

Limite Liquido TOTAL	
N. DE GOLPES	25
% DE HUMEDAD	48.50
INDICE PLÁSTICO	7.62

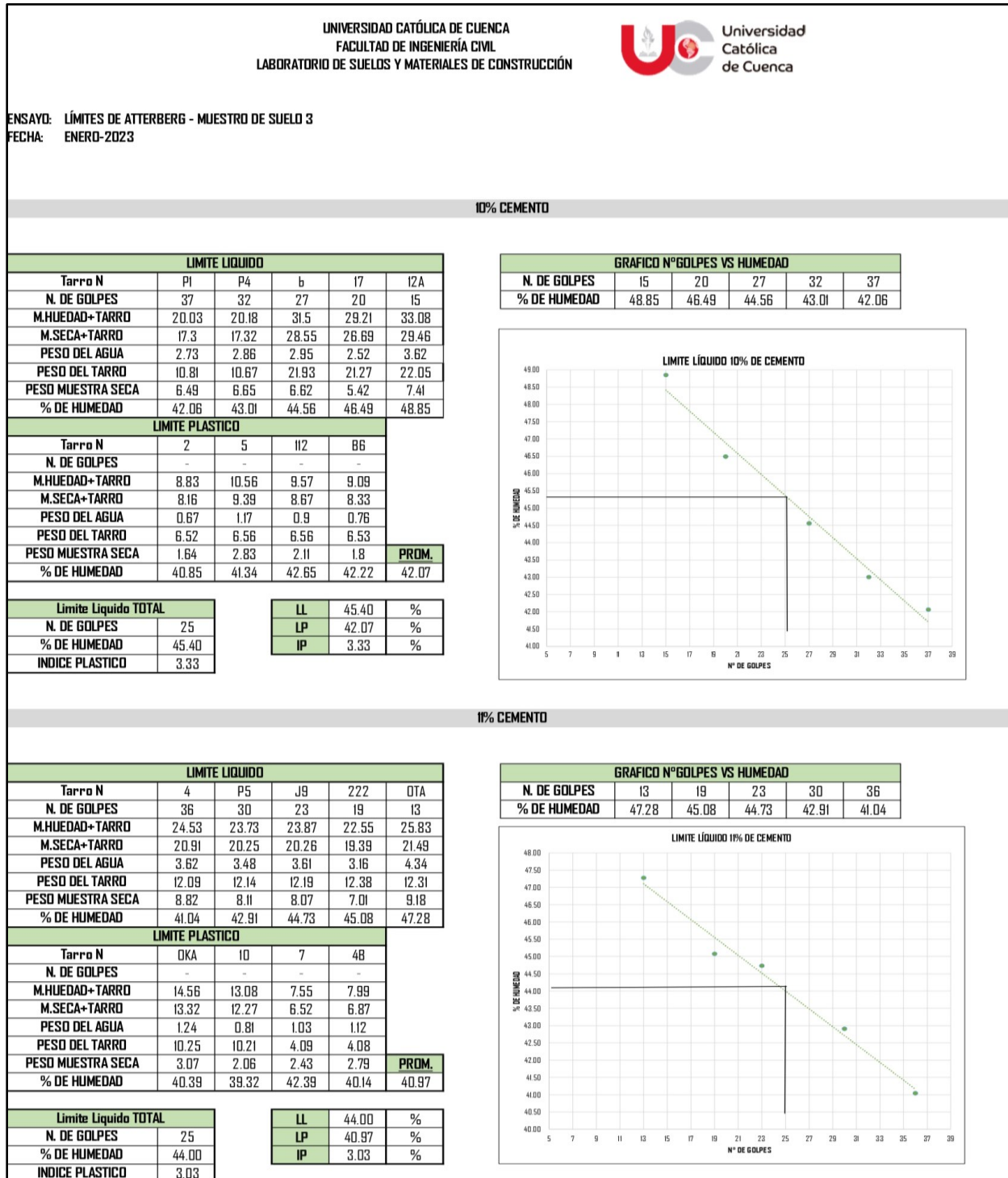
Limite Liquido TOTAL		LL		LP		IP	
N. DE GOLPES	25	48.50	%	40.88	%	7.62	%
% DE HUMEDAD	48.50						
INDICE PLÁSTICO	7.62						

GRAFICO N° GOLPES VS HUMEDAD					
N. DE GOLPES	19	24	28	33	39
% DE HUMEDAD	51.67	49.03	47.37	43.77	42.67



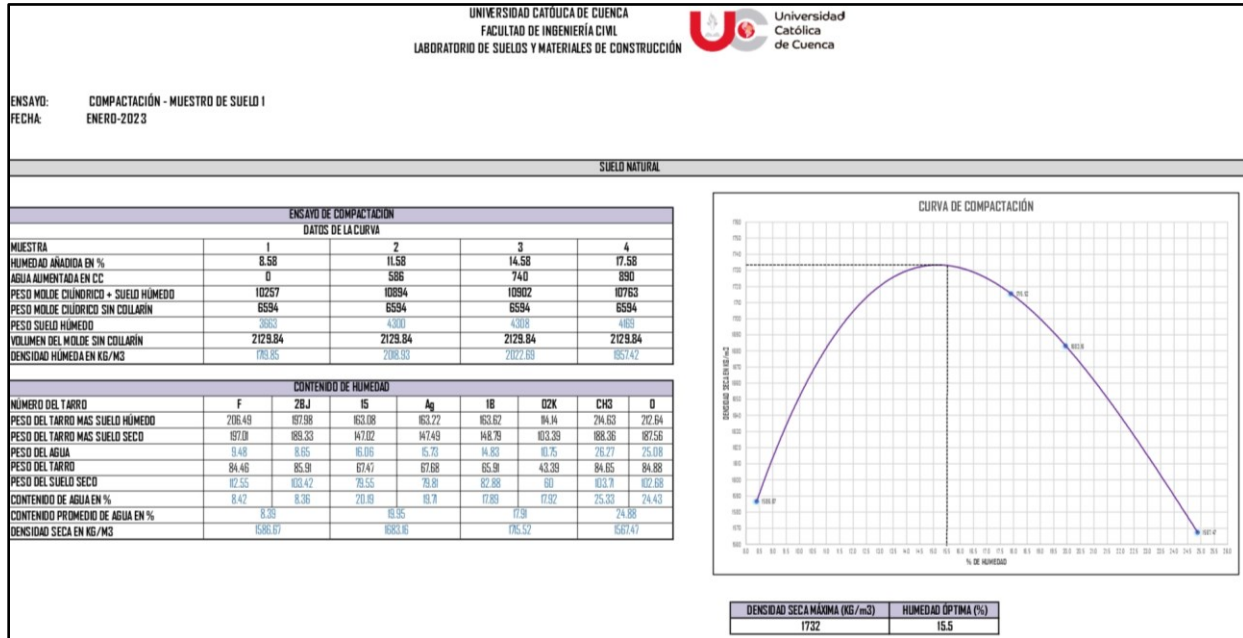
Anexo 46

Ensayo: Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad de la muestra de suelo 3 – Anexo 2



Anexo 47


Ensayo: Compactación de la muestra de suelo 1



Anexo 48

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Universidad Católica de Cuenca

ENSAYO: CBR - MUESTRO DE SUELO 1
FECHA: ENERO-2023

ENSAYO CBR - SUELO NATURAL						
MOLDE Nº	56 "6"		125		25PCP	
NÚMERO DE CAPAS	5		5		5	
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56		25		12	
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	10882	1056	10256.5	10625.5	1510	12056
PESO DEL MOLDE	6223.5	6223.5	5968.5	5968.5	7456	7456
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	4658.5	4332.5	4288	4657	4154	4300
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2304.52	2425.74	2304.52	2467.21902	2304.52	2478.280808
DENSIDAD HUMEDA	2021.46	1892.18	1864.60	1891.20	1759.15	1856.13
DENSIDAD SECA	1749.00	1638.37	1638.00	1529.27	1547.00	1459.94

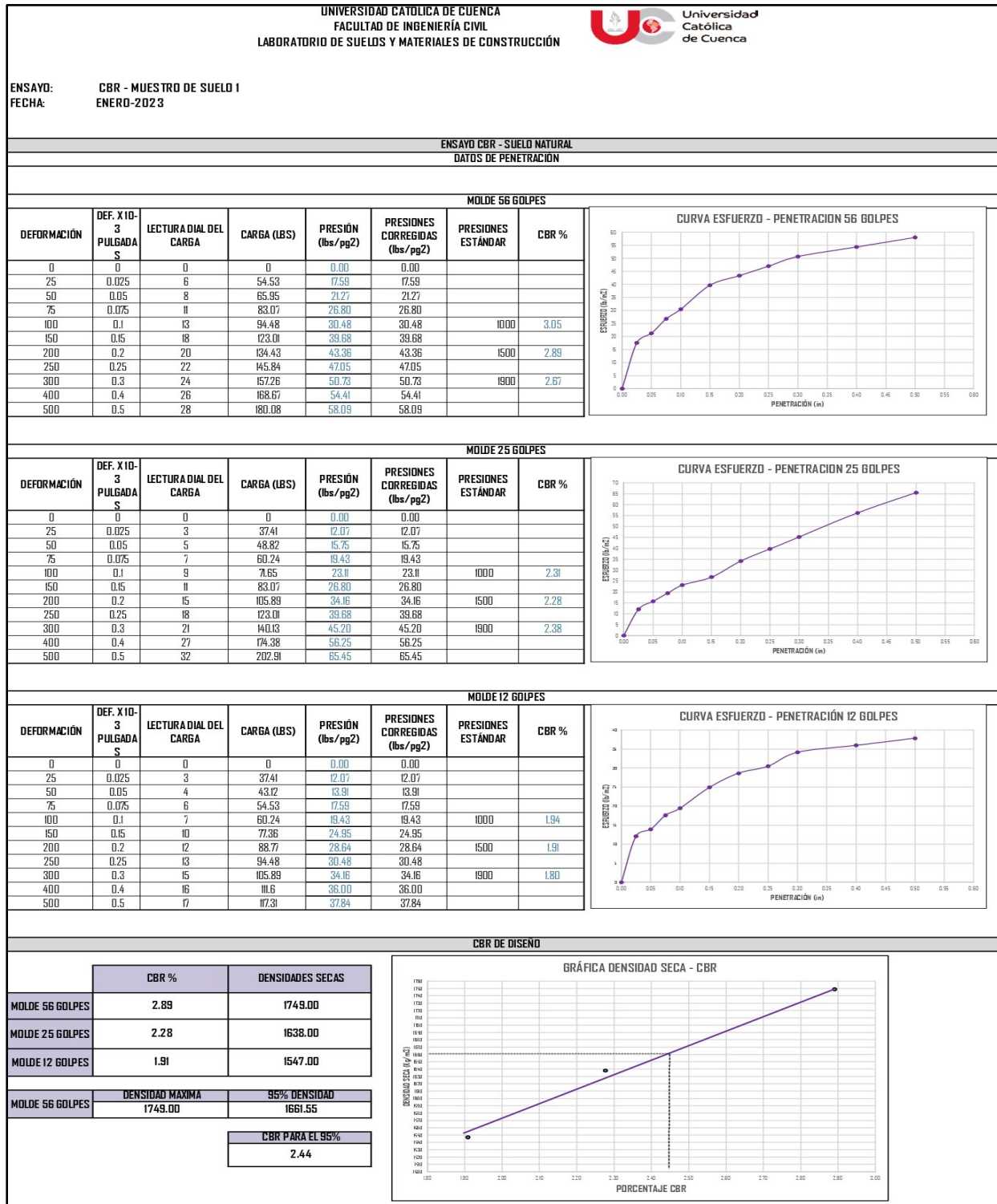
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO						
TARRO Nº	A6	PI	A9	512	D7	02K
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	120.3	152.7	171.7	165.64	113.28	111.92
PESO MUESTRA SECA + TARRO	109.81	141.65	166.05	144.59	104.99	103.56
PESO DEL AGUA	10.49	11.05	5.65	11.05	8.29	8.36
PESO DEL TARRO	43.68	69.68	67.69	64.73	44.07	43.37
PESO MUESTRA SECA	66.13	71.97	98.36	71.86	60.92	60.19
CONTENIDO DE HUMEDAD	15.86	15.35	13.89	13.84	13.61	13.89
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	15.61		13.86		13.75	

CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO						
TARRO Nº	CB	CI	C7	C5	C6	C4
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	256.49	247	244.87	251	253.22	285.22
PESO MUESTRA SECA + TARRO	229.47	221.53	213.65	219.89	217.06	242.87
PESO DEL AGUA	27.02	25.47	31.02	31.11	36.16	42.35
PESO DEL TARRO	83.26	84.83	84.97	85.95	84.47	86.03
PESO MUESTRA SECA	146.21	136.7	128.68	133.94	132.59	156.84
CONTENIDO DE HUMEDAD	18.48	18.63	24.11	23.23	27.27	27.00
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	18.56		23.67		27.14	
% DE ABSORCIÓN	2.95		9.80		13.39	

DATOS DE ESPONJAMIENTO														
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DIAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES			
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO PULGADAS	%	LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO PULGADAS	%	LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO PULGADAS	%
5/1/2023	13:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	0	0	
6/1/2023	14:15	1	120	5.12	0.12	2.40	120	5.12	0.12	2.4	130	5.13	0.13	2.6
7/1/2023	14:30	2	180	5.18	0.18	3.60	180	5.18	0.18	3.6	160	5.16	0.16	3.2
8/1/2023	16:45	3	220	5.22	0.22	4.40	240	5.24	0.24	4.8	270	5.27	0.27	5.4
9/1/2023	15:30	4	263	5.263	0.263	5.26	353	5.353	0.353	7.06	377	5.377	0.377	7.54


Anexo 49

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 2



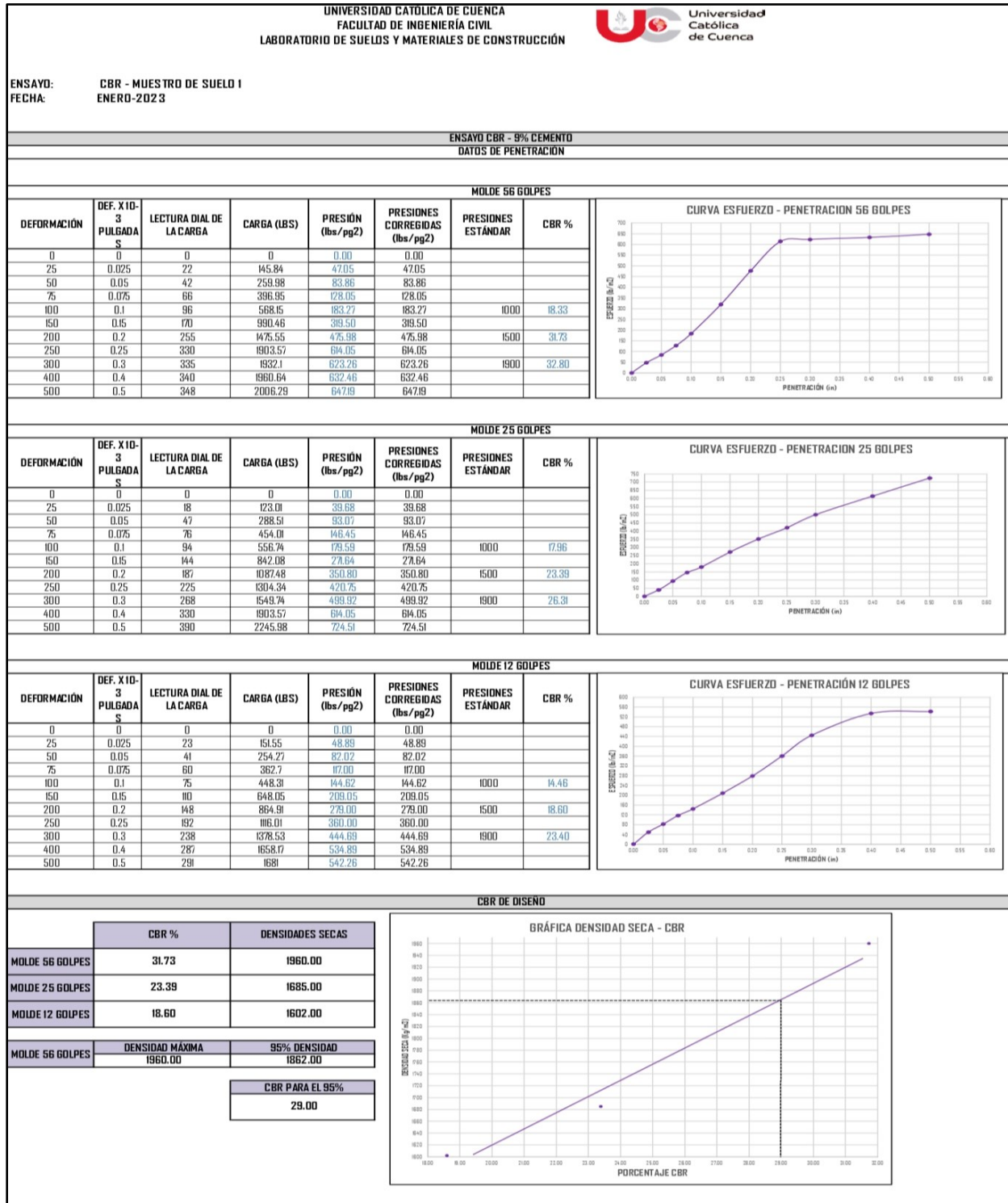
Anexo 50

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 3

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN														
						Universidad Católica de Cuenca								
ENSAYO:		CBR - MUESTRO DE SUELO I												
FECHA:		ENERO-2023												
ENSAYO CBR - 9% CEMENTO														
MOLDE Nº		25120				6				12-56 C63				
NÚMERO DE CAPAS		5				5				5				
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA		56				25				12				
MUESTRA COMPACTADA		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE		11781.5		12222		13358.5		13865.5		11161		11785.5		
PESO DEL MOLDE		6753		6753		9076		9076		6958		6958		
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA		5028.5		5469		4282.5		4789.5		4203		4827.5		
VOLUMEN DE LA MUESTRA		2304.52		2433.11		2304.52		2437.260352		2365.55		2423.433232		
DENSIDAD HÚMEDA		2182.02		2247.74		1858.30		1965.12		176.75		1992.01		
DENSIDAD SECA		1960.00		1874.14		1685.00		1612.14		1602.00		1593.99		
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO														
TARRO Nº		19		S10		18		25		C81		20		
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO		113.87		106.15		96.07		108.95		95.76		113.38		
PESO MUESTRA SECA + TARRO		105.35		98.18		89.83		101.49		89.27		104.96		
PESO DEL AGUA		8.52		7.97		6.24		7.46		6.49		8.42		
PESO DEL TARRO		29.19		28.77		29.38		29.15		29.19		28.87		
PESO MUESTRA SECA		76.16		69.41		60.45		72.34		60.08		76.09		
CONTENIDO DE HUMEDAD		11.19		11.48		10.32		10.31		10.80		11.07		
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO		11.33				10.32				10.93				
CONTENIDO DE AGUA DESPUÉS DEL REMOJO														
TARRO Nº		C6		C5		C7		C8		C1		C4		
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO		238.08		250.81		160.79		186.83		212.97		209.66		
PESO MUESTRA SECA + TARRO		211.8		224.22		146.81		168.72		187.73		184.61		
PESO DEL AGUA		26.28		26.59		13.98		18.11		25.24		25.05		
PESO DEL TARRO		84.47		85.94		84.96		83.24		84.83		86.03		
PESO MUESTRA SECA		127.33		138.28		61.85		85.48		102.9		98.58		
CONTENIDO DE HUMEDAD		20.64		19.23		22.60		21.19		24.53		25.41		
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO		19.93				21.89				24.97				
% DE ABSORCIÓN		8.60				11.58				14.04				
DATOS DE ESPONJAMIENTO														
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES			
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO	
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%
9/1/2023	13:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	5	0	0
10/1/2023	14:15	1	120	5.12	0.12	2.40	110	5.11	0.11	2.2	140	5.14	0.14	2.8
11/1/2023	14:30	2	189	5.189	0.189	3.78	190	5.19	0.19	3.8	198	5.198	0.198	3.96
12/1/2023	16:45	3	220	5.22	0.22	4.40	240	5.24	0.24	4.8	205	5.205	0.205	4.1
13/1/2023	15:30	4	279	5.279	0.279	5.58	288	5.288	0.288	5.76	258	5.258	0.258	5.16


Anexo 51

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 4



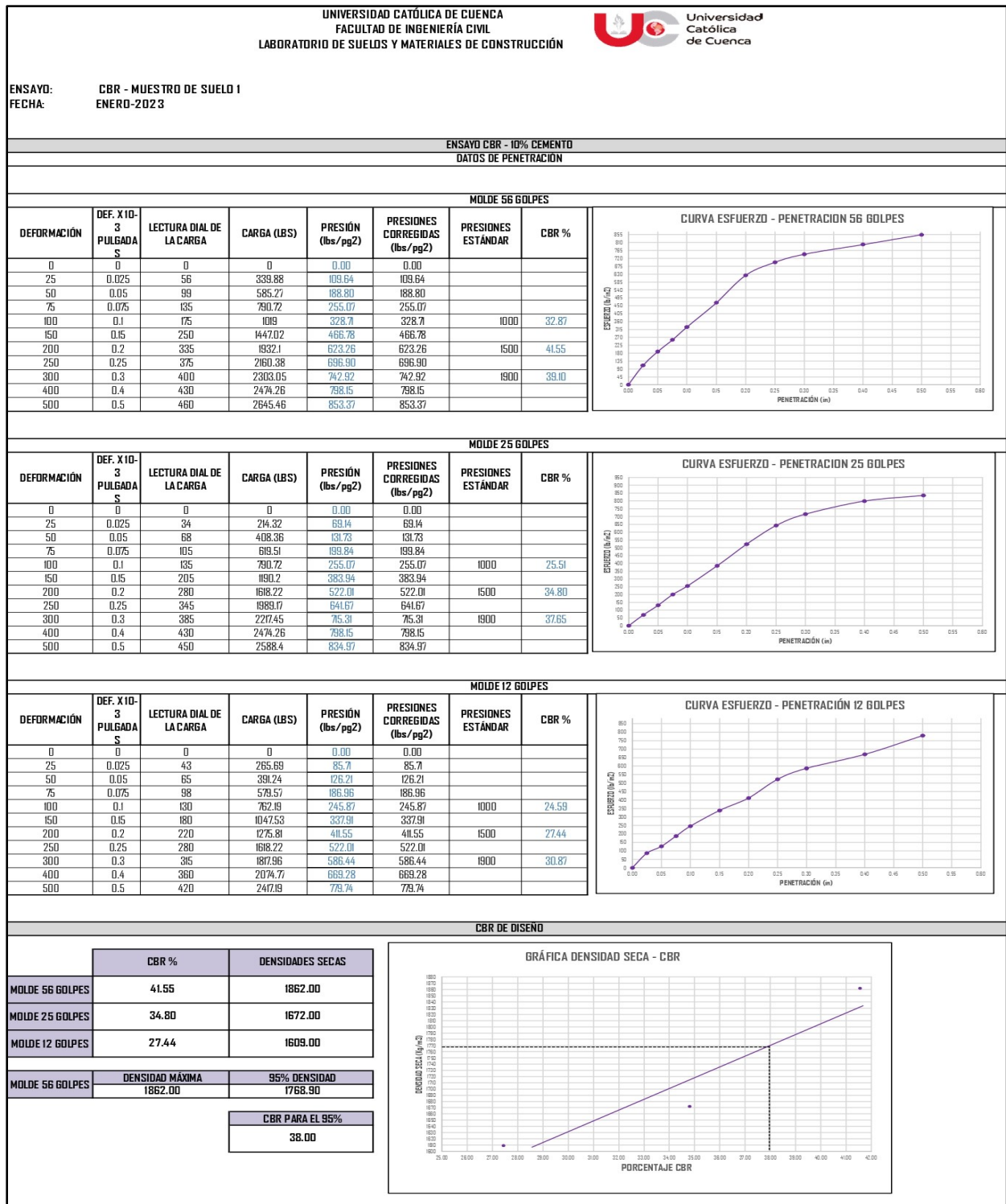
Anexo 52

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 5

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA																
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN																
																
ENSAYO:		CBR - MUESTRO DE SUELO 1														
FECHA:		ENERO-2023														
ENSAYO CBR - 10% CEMENTO																
MOLDE Nº	25120					6					12-56 C63					
NÚMERO DE CAPAS	5					5					5					
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56					25					12					
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO			ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO			ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO			
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	11560		11970			13358.5		13950.78			11182.5		11661.5			
PESO DEL MOLDE	6753		6753			9076		9076			6958		6958			
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	4807		5217			4282.5		4874.78			4224.5		4703.5			
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2304.52		2419.75			2304.52		2424.35504			2365.55		2428.042272			
DENSIDAD HÚMEDA	2085.90		2156.01			1858.30		2010.75			1785.84		1937.16			
DENSIDAD SECA	1862.00		1785.37			1672.00		1646.16			1609.00		1562.49			
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO																
TARRO Nº	18			25			19			S10			C81		20	
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	114.67			110.45			103.78			122.65			102.65		114.67	
PESO MUESTRA SECA + TARRO	105.35			101.88			96.5			113			95.47		106.07	
PESO DEL AGUA	9.32			8.57			7.28			9.65			7.18		8.6	
PESO DEL TARRO	29.38			29.16			29.19			28.77			29.19		28.87	
PESO MUESTRA SECA	75.97			72.73			67.31			84.23			66.28		77.2	
CONTENIDO DE HUMEDAD	12.27			11.78			10.82			11.46			10.83		11.14	
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	12.03						11.14						10.99			
CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO																
TARRO Nº	C1			C4			C7			C8			C6		C5	
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	218.47			215.89			173.78			194.34			218.45		240.43	
PESO MUESTRA SECA + TARRO	195.46			193.6			157.26			174.72			192.45		210.65	
PESO DEL AGUA	23.01			22.29			16.52			19.62			26		29.78	
PESO DEL TARRO	84.83			86.03			84.96			83.24			84.47		85.94	
PESO MUESTRA SECA	110.63			107.57			72.3			91.48			107.98		124.7	
CONTENIDO DE HUMEDAD	20.80			20.72			22.85			21.45			24.08		23.88	
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	20.76						22.15						23.98			
% DE ABSORCIÓN	8.73						11.01						12.99			
DATOS DE ESPONJAMIENTO																
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES					
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO			
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%		
12/1/2023	13:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	0	5	0	0	
13/1/2023	14:15	1	80	5.08	0.08	1.60	90	5.09	0.09	1.8	105	5.105	0.105	2.1		
14/1/2023	14:30	2	170	5.17	0.17	3.40	185	5.185	0.185	3.7	190	5.19	0.19	3.8		
15/1/2023	16:45	3	205	5.205	0.205	4.10	215	5.215	0.215	4.3	225	5.225	0.225	4.5		
16/1/2023	15:30	4	250	5.25	0.25	5.00	260	5.26	0.26	5.2	268	5.268	0.268	5.36		


Anexo 53

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 6



Anexo 54

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 7

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA															
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL															
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN															
															
ENSAYO:		CBR - MUESTRO DE SUELO I													
FECHA:		ENERO-2023													
ENSAVO CBR - 11% CEMENTO															
MOLDE Nº	25120					c3					25083				
NÚMERO DE CAPAS	5					5					5				
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56					25					12				
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO				
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	1193.5		12282		11358		11877.5		13214		1376.5				
PESO DEL MOLDE	7336		7336		6959		6959		9072		9072				
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	4577.5		4946		4399		4918.5		4142		4844.5				
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2304.52		2412.83		2365.56		2415.537864		2304.52		2428.042772				
DENSIDAD HÚMEDA	1986.31		2049.87		1859.60		2036.14		1797.34		1912.86				
DENSIDAD SECA	1762.00		1695.89		1659.00		1657.97		1616.00		1541.21				
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO															
TARRO Nº	c6		CX		C4		C5		C1		C8				
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	240.94		240.23		252.99		239.25		231.17		235.7				
PESO MUESTRA SECA + TARRO	223.26		222.72		234.84		222.78		216.42		220.39				
PESO DEL AGUA	17.68		17.51		18.15		16.47		14.75		15.32				
PESO DEL TARRO	84.46		84.95		86.03		85.93		84.85		83.25				
PESO MUESTRA SECA	138.8		137.77		148.81		136.85		131.57		137.14				
CONTENIDO DE HUMEDAD	12.74		12.71		12.20		12.04		11.21		11.77				
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	12.72				12.12				11.19						
CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO															
TARRO Nº	10		12		20		7		11		18				
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	131.27		123.64		104.9		114.19		128.89		108.3				
PESO MUESTRA SECA + TARRO	114.19		106.92		90.74		98.51		109.7		92.83				
PESO DEL AGUA	17.08		16.72		14.16		15.68		19.19		15.47				
PESO DEL TARRO	29.48		29.45		28.89		29.51		29.2		29.4				
PESO MUESTRA SECA	84.71		77.47		61.85		69		80.5		63.43				
CONTENIDO DE HUMEDAD	20.16		21.58		22.89		22.72		23.84		24.39				
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	20.87				22.81				24.11						
% DE ABSORCIÓN	8.15				10.69				12.92						
DATOS DE ESPONJAMIENTO															
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES				
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%	
16/1/2023	13:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	0	5	0	0
17/1/2023	14:15	1	60	5.06	0.06	1.20	80	5.08	0.08	1.6	50	5.05	0.05	1	1
18/1/2023	14:30	2	110	5.11	0.11	2.20	120	5.12	0.12	2.4	89	5.089	0.089	1.78	1.78
19/1/2023	16:45	3	180	5.18	0.18	3.60	167	5.167	0.167	3.34	160	5.16	0.16	3.2	3.2
20/1/2023	15:30	4	235	5.235	0.235	4.70	241	5.241	0.241	4.82	268	5.268	0.268	5.36	5.36

Anexo 55

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 1 – Anexo 8

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO: CBR - MUESTRO DE SUELO I
 FECHA: ENERO-2023

ENSAYO CBR - 11% CEMENTO
DATOS DE PENETRACIÓN

MOLDE 56 GOLPES

DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PULGADAS	LECTURA DIAL DE LA CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pg2)	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pg2)	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00	0.00		
25	0.025	90	533.91	172.23	172.23		
50	0.05	154	899.15	290.05	290.05		
75	0.075	205	1190.2	383.94	383.94		
100	0.1	250	1447.02	466.78	466.78	1000	46.68
150	0.15	330	1903.57	614.05	614.05		
200	0.2	408	2348.71	757.65	757.65	1500	50.51
250	0.25	470	2702.53	878.78	878.78		
300	0.3	481	2765.31	892.04	892.04	1900	46.95
400	0.4	502	2885.15	930.69	930.69		
500	0.5	540	3102.02	1000.65	1000.65		

MOLDE 25 GOLPES

DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PULGADAS	LECTURA DIAL DE LA CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pg2)	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pg2)	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00	0.00		
25	0.025	50	305.64	98.59	98.59		
50	0.05	89	528.2	170.39	170.39		
75	0.075	136	796.43	256.91	256.91		
100	0.1	181	1053.24	339.75	339.75	1000	33.98
150	0.15	270	1561.15	503.60	503.60		
200	0.2	362	2086.19	672.96	672.96	1500	44.86
250	0.25	468	2691.12	868.10	868.10		
300	0.3	500	2873.74	927.01	927.01	1900	48.79
400	0.4	530	3044.95	982.24	982.24		
500	0.5	560	3216.15	1037.47	1037.47		

MOLDE 12 GOLPES

DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PULGADAS	LECTURA DIAL DE LA CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pg2)	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pg2)	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00	0.00		
25	0.025	63	379.82	122.52	122.52		
50	0.05	105	619.51	199.84	199.84		
75	0.075	142	830.67	267.96	267.96		
100	0.1	180	1047.53	337.91	337.91	1000	33.79
150	0.15	278	1606.81	518.33	518.33		
200	0.2	290	1675.29	540.42	540.42	1500	36.03
250	0.25	340	1960.64	632.46	632.46		
300	0.3	389	2240.27	722.67	722.67	1900	38.04
400	0.4	470	2702.53	878.78	878.78		
500	0.5	511	2936.52	947.26	947.26		

CBR DE DISEÑO

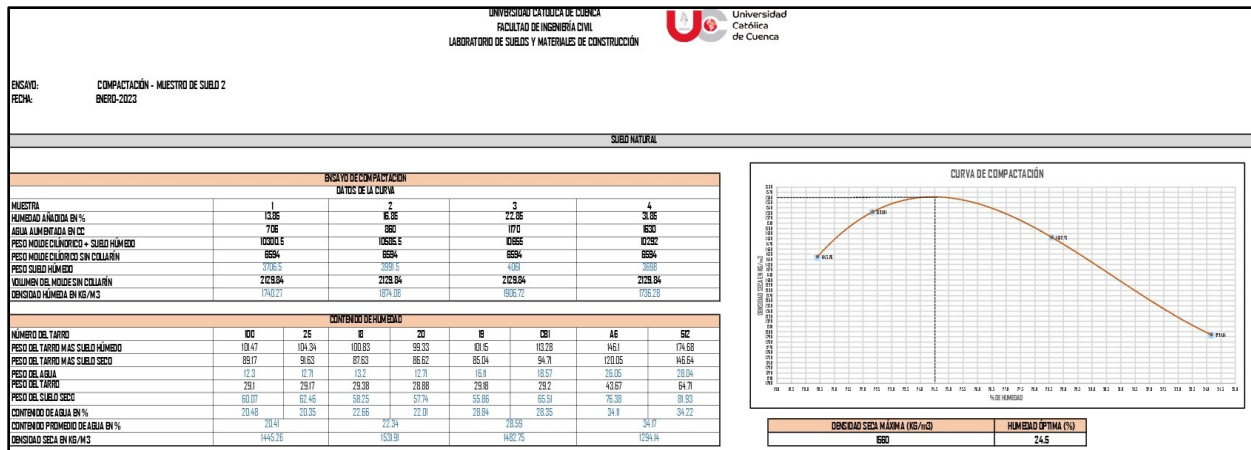
	CBR %	DENSIDADES SECAS
MOLDE 56 GOLPES	50.51	1762.00
MOLDE 25 GOLPES	44.86	1659.00
MOLDE 12 GOLPES	36.03	1616.00

MOLDE 56 GOLPES	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	1762.00	1673.50

CBR PARA EL 95%
43.50

Anexo 56

Ensayo: Compactación de la muestra de suelo 2



Anexo 57

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Universidad Católica de Cuenca

ENSAYO: CBR - MUESTRO DE SUELO 2
FECHA: ENERO-2023

ENSAYO CBR- SUELO NATURAL

MOLDE Nº	9	5	526	262,71											
NÚMERO DE CAPAS	5	5	5	5											
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56	25	12	12											
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO											
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + MOLDE	1412	1621,5	10706	10981											
PESO DEL MOLDE	598,5	6916,5	6304	6341,5											
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	4433,5	4785	4396	4640											
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2304,52	2424,36	2304,52	2424,36											
DENSIDAD HUMEDA	1880,70	1940,72	1880,70	1880,70											
DENSIDAD SECA	1559,00	1429,23	1427,00	1427,00											
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO															
TARRO Nº	15	8	11	712											
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO	182,1	177,5	146,4	124,8											
PESO MUESTRA SECA + TARRO	159,86	155,31	130,29	113,4											
PESO DEL AGUA	22,24	22,19	16,11	11,4											
PESO DEL TARRO	67,47	65,9	65,38	62,69											
PESO MUESTRA SECA	32,15	32,41	34,91	32,71											
CONTENIDO DE HUMEDAD	25,43	24,82	24,82	24,35											
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO		25,12	24,89	24,30											
CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO															
TARRO Nº	20	100	12	10K											
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO	143,29	125,42	153,67	145,94											
PESO MUESTRA SECA + TARRO	122,95	100,25	122,25	105,82											
PESO DEL AGUA	20,34	25,17	31,42	25,28											
PESO DEL TARRO	29,39	28,88	28,77	29,38											
PESO MUESTRA SECA	83,56	71,37	83,48	87,85											
CONTENIDO DE HUMEDAD	26,51	35,27	33,61	33,07											
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO		35,79	33,25	32,85											
% DE ABSORCIÓN		10,67	8,37	7,84											
DATOS DE ESPONJAMIENTO															
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES				
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO PULGADAS	%	LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO PULGADAS	%	LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO PULGADAS	%	
5/1/2023	13:30	0	0	5	0	0,00	0	5	0	0	0	0	0	0	0
6/1/2023	14:45	1	120	5,12	0,12	2,40	150	5,15	0,15	3	80	5,08	0,08	44,36,5	
7/1/2023	14:30	2	180	5,18	0,18	3,60	220	5,22	0,22	4,4	189	5,189	0,189		
8/1/2023	16:45	3	260	5,26	0,26	5,20	280	5,28	0,28	5,6	235	5,235	0,235		
9/1/2023	15:30	4	260	5,26	0,26	5,20	379	5,379	0,379	7,58	328	5,328	0,328		

Anexo 58

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 2

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN




ENSAYO: CBR - MUESTRO DE SUELO 2
FECHA: ENERO-2023

ENSAYO CBR- SUELO NATURAL
DATOS DE PENETRACION

MOLDE 56 GOLPES

DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PUNJADAS	LECTURA DIAL DE LA CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pp2)	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pp2)	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00			
25	0.025	4	43.02	14.37			
50	0.05	6	54.53	18.18			
75	0.075	9	71.65	23.88			
100	0.1	12	88.77	29.59	29.59	1000	2.95
150	0.15	16	111.5	37.20			
200	0.2	22	145.84	48.61	48.61	1500	3.24
250	0.25	27	174.38	58.13			
300	0.3	32	202.91	67.64	67.64	1900	3.55
400	0.4	41	254.27	84.76			
500	0.5	50	305.64	101.88			



MOLDE 25 GOLPES

DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PUNJADAS	LECTURA DIAL DE LA CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pp2)	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pp2)	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00			
25	0.025	5	48.82	16.27			
50	0.05	7	60.24	20.08			
75	0.075	10	77.36	25.79			
100	0.1	12	88.77	29.59	29.59	1000	2.95
150	0.15	17	117.31	39.10			
200	0.2	20	134.43	44.81	44.81	1500	2.99
250	0.25	24	157.26	52.42			
300	0.3	28	180.08	60.03	60.03	1900	3.16
400	0.4	34	214.32	71.44			
500	0.5	39	242.86	80.95			



MOLDE 12 GOLPES

DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PUNJADAS	LECTURA DIAL DE LA CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pp2)	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pp2)	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00			
25	0.025	5	48.82	16.27			
50	0.05	7	60.24	20.08			
75	0.075	8	65.95	21.98			
100	0.1	10	77.36	25.79	25.79	1000	2.58
150	0.15	13	94.48	31.49			
200	0.2	17	117.31	39.10	39.10	1500	2.61
250	0.25	20	134.43	44.81			
300	0.3	24	157.26	52.42	52.42	1900	2.76
400	0.4	30	191.5	63.83			
500	0.5	36	225.74	75.25			

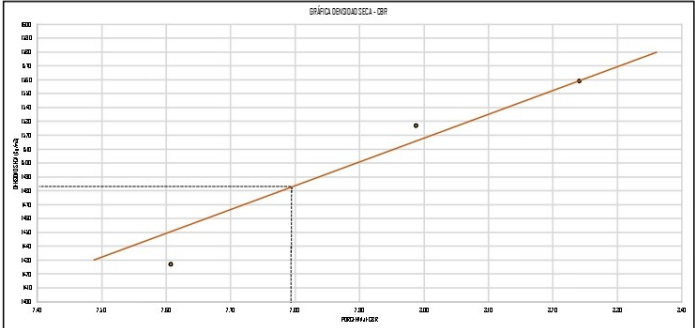


CBR DE DISEÑO

	CBR %	DENSIDADES SECAS
MOLDE 56 GOLPES	3.24	1559.00
MOLDE 25 GOLPES	2.99	1527.00
MOLDE 12 GOLPES	2.61	1427.00

MOLDE 56 GOLPES	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	1559.00	1491.05

CBR PARA EL 95%
2.78



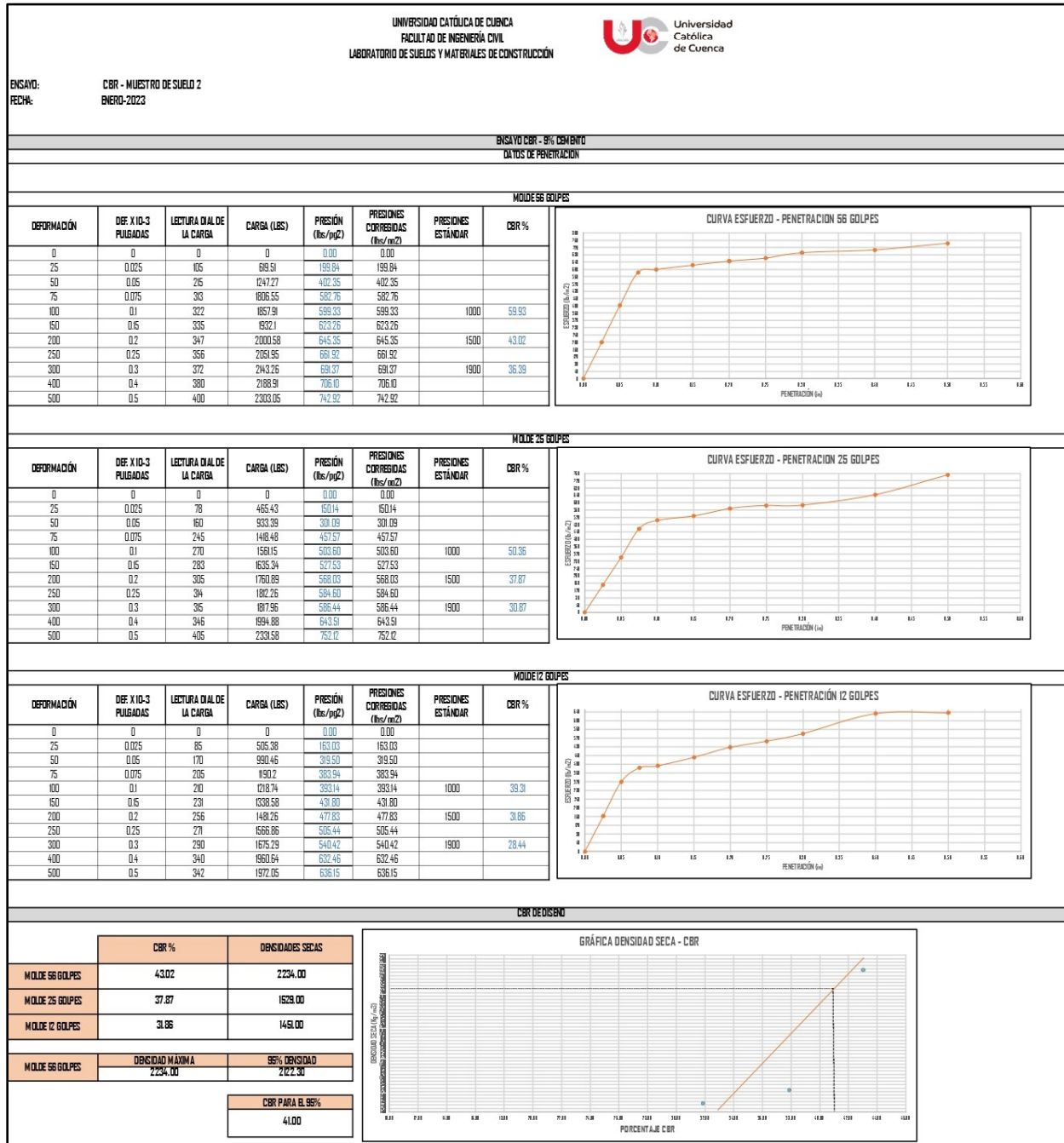
Anexo 59

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 3

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN														
ENSAJO:		CBR - MUESTRO DE SUELO 2												
FECHA:		ENERO-2023												
ENSAJO CBR - 8% CEMENTO														
MOLETE Nº	26				2506				2504					
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	5				5				5					
MUESTRO COMPACTADA	56				25				12					
		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + MOLDE	10300.5		10300.5		12222.5		13002.5		12970		13202.5			
PESO DEL MOLDE	4194		4194		8487.5		8487.5		8947.5		8947.5			
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	6106.5		6106.5		4235		4515		4022.5		4255			
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2304.52		2304.52		2304.52		2359.82848		2304.52		2354.768526			
DENSIDAD HUMEDA	2675.83		2675.83		1837.69		1917.51		1745.48		1882.19			
DENSIDAD SECA	2224.00		2224.98		1529.00		1485.26		1451.00		1629.71			
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO														
TARRO Nº	1H		1B		1S		1R		712		710			
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO	131.72		154.22		182		131.47		137.03		167.47			
PESO MUESTRA SECA + TARRO	118.71		147.97		162.65		118.29		121.33		150.26			
PESO DEL AGUA	13.01		16.25		19.35		13.18		15.7		17.21			
PESO DEL TARRO	52.68		65.9		67.48		52.65		43.8		65.38			
PESO MUESTRA SECA	66.03		82.07		95.17		65.64		77.53		84.88			
CONTENIDO DE HUMEDAD	19.70		19.80		20.33		20.08		20.25		20.28			
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO			19.75				20.21				20.25			
CONTENIDO DE AGUA DESPUÉS DEL REMOJO														
TARRO Nº	02K		1B		12		7		25		11			
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO	186.7		144.44		141.7		116		151.71		122.97			
PESO MUESTRA SECA + TARRO	157.28		120.24		112.4		96.6		123.19		101.23			
PESO DEL AGUA	29.42		24.2		29.3		19.4		28.52		21.74			
PESO DEL TARRO	43.35		29.41		28.55		29.47		29.14		29.18			
PESO MUESTRA SECA	113.93		90.83		83.85		67.13		94.05		72.05			
CONTENIDO DE HUMEDAD	25.82		26.64		35.03		28.90		30.32		30.07			
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO			26.23				28.24				30.25			
% DE ABSORCIÓN			6.48				8.03				9.95			
DATOS DE ESPONJAMIENTO														
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES			
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO	
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%
9/1/2023	13:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	0	0	0
10/1/2023	14:15	1	30	5.03	0.03	0.60	15	5.05	0.05	0.3	36	5.036	0.036	0.72
11/1/2023	14:30	2	50	5.05	0.05	1.00	49	5.049	0.049	0.98	56	5.056	0.056	1.12
12/1/2023	16:45	3	79	5.079	0.079	1.58	79	5.079	0.079	1.58	85	5.085	0.085	1.7
13/1/2023	15:30	4	139	5.139	0.139	2.78	120	5.12	0.12	2.4	109	5.109	0.109	2.18

Anexo 60

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 4



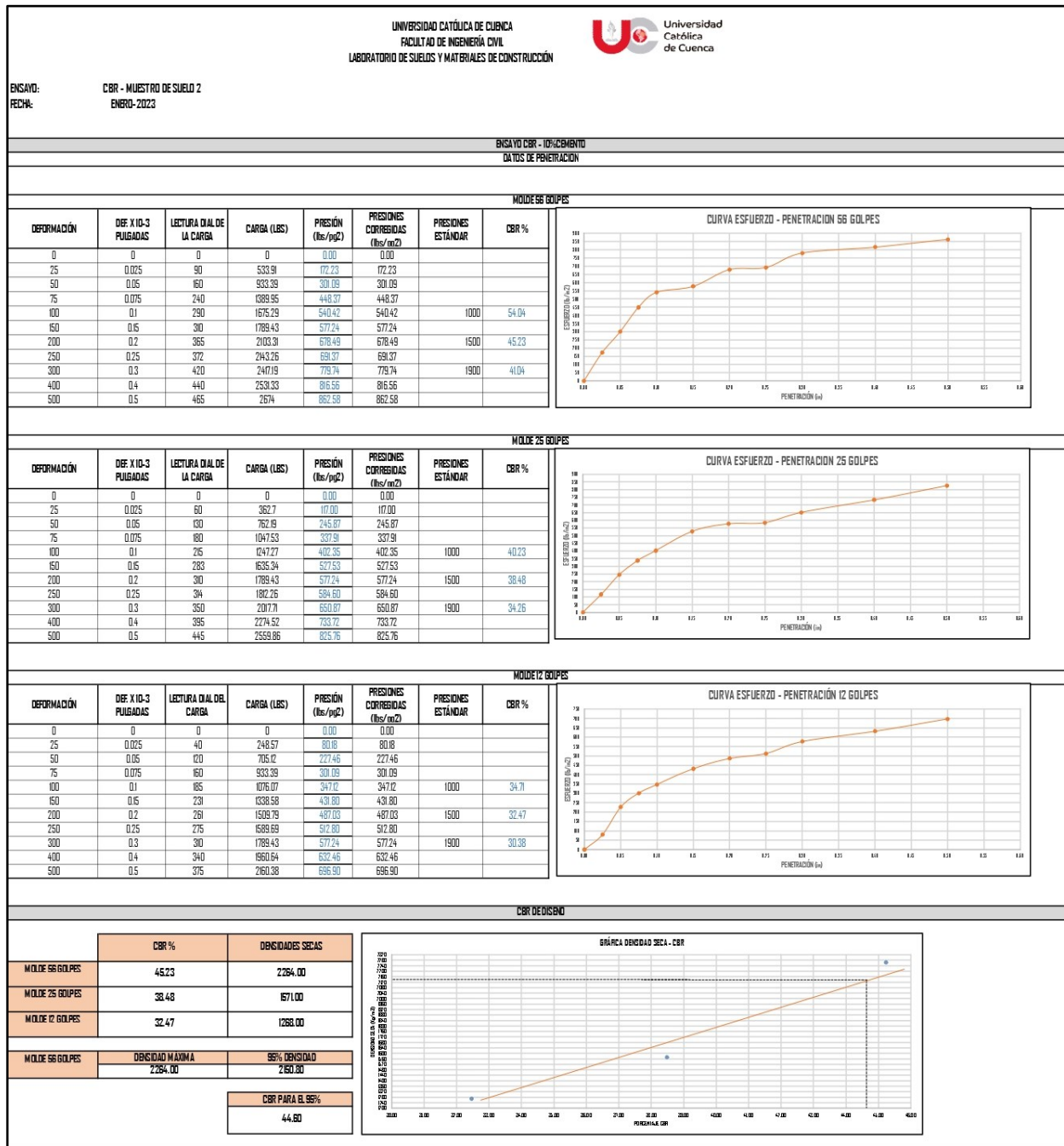
Anexo 61

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 5

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN																		
ENSAJO: CBR - MUESTRO DE SUELO 2																		
FECHA: ENERO-2023																		
ENSAJO CBR - IDICAMENTO																		
MOULDE Nº	26				2506				2504									
NÚMERO DE CAPAS	5				5				5									
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56				25				12									
MUESTRA CON PULGADA	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO							
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + MOLDE	1037.5		1070.5		1282.5		1286		1247.0		1249.9							
PESO DEL MOLDE	41.90		41.90		84.87.5		84.87.5		84.87.5		84.87.5							
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	61.45		65.75		43.88.5		44.08.5		35.22.5		35.51.5							
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2304.52		2343.24		2304.52		2362.133		2304.52		2371.88584							
DENSIDAD HUMEDA	2708.85		2804.46		1882.60		1886.32		1528.52		1497.38							
DENSIDAD SECA	2264.00		2221.65		1574.00		1455.34		1268.00		1149.63							
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO																		
TARRIO Nº	7C2			JD			16			8			1H			1B		
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRIO	132.52		157.73		183.2		183.2		132.69		138.07		159.45		150.46		150.46	
PESO MUESTRA SECA + TARRIO	117.87		150.97		164.25		119.29		124.674		133.96		149.96		149.96		149.96	
PESO DEL AGUA	14.65		16.76		18.95		13.4		13.396		14.104		9.49		9.49		9.49	
PESO DEL TARRIO	43.8		65.38		67.48		52.65		52.68		71.994		64.56		64.56		64.56	
PESO MUESTRA SECA	74.07		85.35		96.77		66.64		71.994		18.61		22.46		22.46		22.46	
CONTENIDO DE HUMEDAD	19.78		19.58		19.58		20.11		18.61		20.53		22.46		22.46		22.46	
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO			19.68				19.85				20.53							
CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO																		
TARRIO Nº	02k			18			12			7			25			11		
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRIO	186.7		144.44		141.7		116		151.71		122.97		101.23		101.23		101.23	
PESO MUESTRA SECA + TARRIO	157.28		120.24		117.24		96.6		123.19		101.23		101.23		101.23		101.23	
PESO DEL AGUA	29.42		24.2		24.46		19.4		28.52		21.74		21.74		21.74		21.74	
PESO DEL TARRIO	43.35		29.41		28.55		29.47		29.14		29.18		29.18		29.18		29.18	
PESO MUESTRA SECA	113.93		90.83		88.69		67.13		94.05		72.05		72.05		72.05		72.05	
CONTENIDO DE HUMEDAD	25.82		26.64		27.58		28.30		30.32		30.17		30.17		30.17		30.17	
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO			26.23				28.24				30.25		30.17		30.17		30.17	
% DE ABSORCIÓN			6.55				8.38				9.72		9.72		9.72		9.72	
DATOS DE ESPONJAMIENTO																		
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES							
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO					
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%
12/1/2023	13:30	0	0	0	0	0.00		0	5	0	0		0	5	0	0	0	0
13/1/2023	14:45	1	40	5.04	0.04	0.80		20	5.02	0.02	0.4		50	5.05	0.05	1		
14/1/2023	14:30	2	65	5.065	0.065	1.30		54	5.054	0.054	1.08		72	5.072	0.072	1.44		
15/1/2023	16:45	3	72	5.072	0.072	1.44		89	5.089	0.089	1.78		120	5.12	0.12	2.4		
16/1/2023	15:30	4	84	5.084	0.084	1.68		125	5.125	0.125	2.5		146	5.146	0.146	2.92		

Anexo 62

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 6



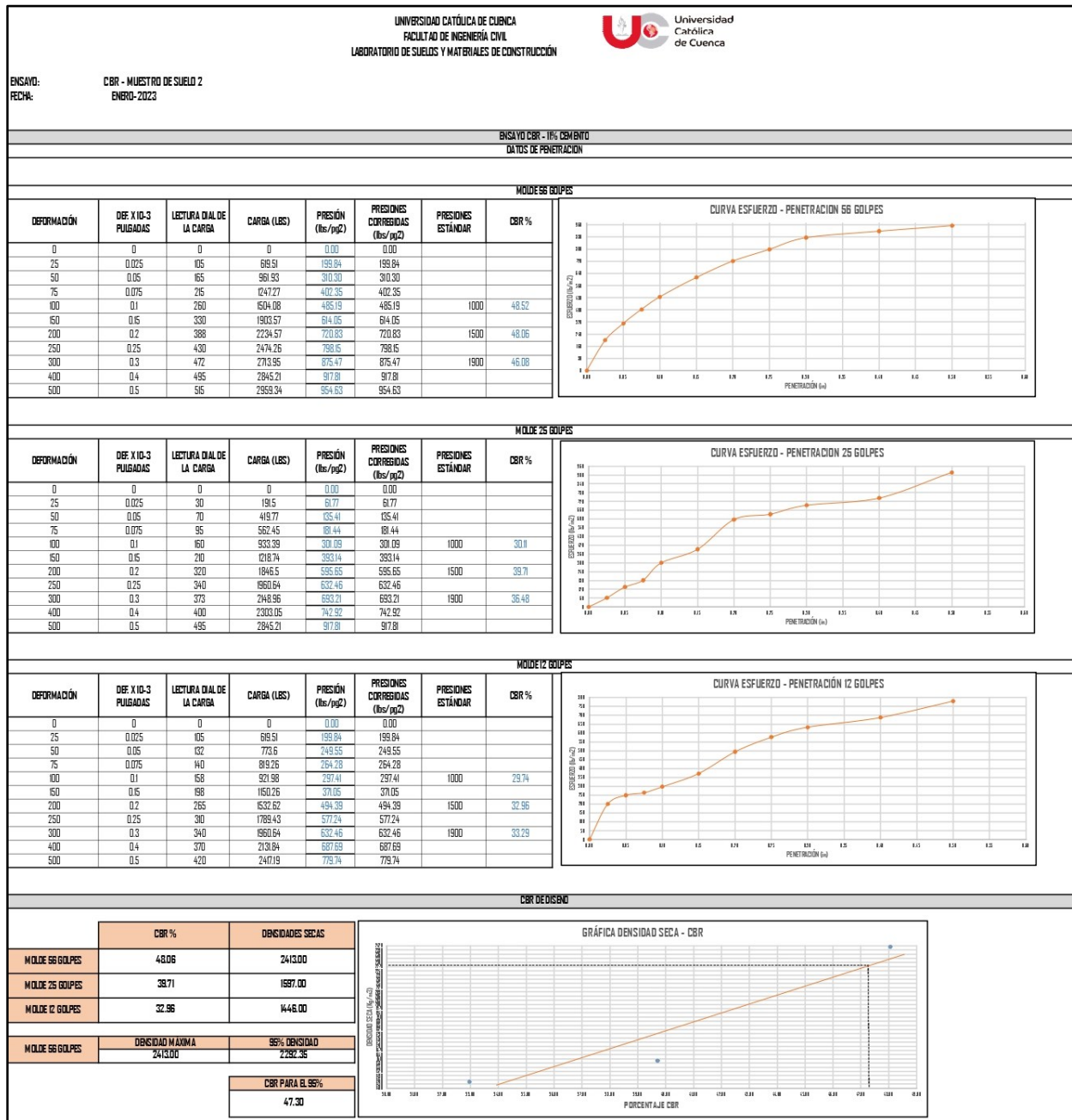
Anexo 63

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 7

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN															
ENSAYO: CBR - MUESTRO DE SUELO 2															
FECHA: ENERO-2023															
ENSAYO CBR - 1% CEMENTO															
MOLDE Nº	26			2506			2504								
NÚMERO DE CAPAS	5			5			5								
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56			25			12								
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO				
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + MOLDE	10850		10916		12650		13021		12945		13367				
PESO DE LA MUESTRA SECA + MOLDE	4235		4235		8749.5		8749.5		8607.5		8607.5				
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	6615		6681		3900.5		4271.5		4337.5		4759.5				
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2304.52		2308.78		2304.52		2364.898424		2304.52		2375.028302				
DENSIDAD HUMEDA	2870.45		2859.06		1692.66		1804.76		1708.60		1977.65				
DENSIDAD SECA	2433.00		2253.88		1697.00		1565.05		1446.00		1439.78				
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO															
TARRO Nº	25		7		18		1		1		026				
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO	12315		11606		10674		11064		10583		11246				
PESO MUESTRA SECA + TARRO	10815		10207		9429		9773		9402		10188				
PESO DEL AGUA	1500		1399		1245		1291		1181		1058				
PESO DEL TARRO	2912		2846		2854		2908		2917		4336				
PESO MUESTRA SECA	7903		7331		6575		6835		6485		5852				
CONTENIDO DE HUMEDAD	18.98		18.94		18.94		18.89		18.21		18.06				
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO			18.94				18.91				18.15				
CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO															
TARRO Nº	12		27		14		14		14		01A				
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO	15282		15782		14468		13889		13676		12767				
PESO MUESTRA SECA + TARRO	13176		12898		12228		11617		11587		10427				
PESO DEL AGUA	2106		2884		2240		2272		2089		2340				
PESO DEL TARRO	5278		5345		4554		4467		4867		4382				
PESO MUESTRA SECA	76		10533		7674		87		1472		1105				
CONTENIDO DE HUMEDAD	26.38		27.33		29.19		30.18		30.50		30.94				
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO			26.85				29.68				30.42				
% DE ABSORCIÓN			7.91				10.77				12.27				
DATOS DE ESPONJAMIENTO															
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES				
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%	
16/1/2023	13:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	0	5	0	0
07/1/2023	14:45	1	30	5.03	0.03	0.60	36	5.036	0.036	0.72	36	5.036	0.036	0.036	0.72
18/1/2023	14:30	2	50	5.06	0.05	1.00	70	5.07	0.07	1.4	56	5.056	0.056	0.112	1.12
19/1/2023	16:45	3	60	5.06	0.06	1.20	110	5.11	0.11	2.2	120	5.12	0.12	0.12	2.4
20/1/2023	15:30	4	70	5.07	0.07	1.40	131	5.09	0.09	2.62	153	5.153	0.153	0.153	3.06

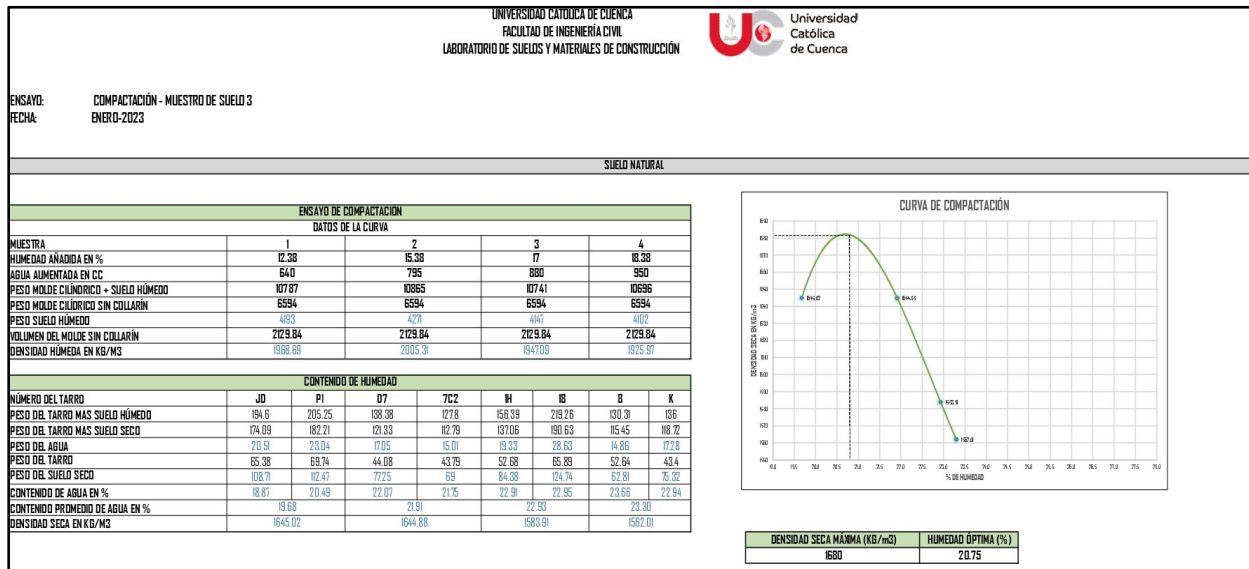
Anexo 64

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 2 – Anexo 8



Anexo 65


Ensayo: Compactación de la muestra de suelo 3



Anexo 66

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN


 Universidad Católica de Cuenca

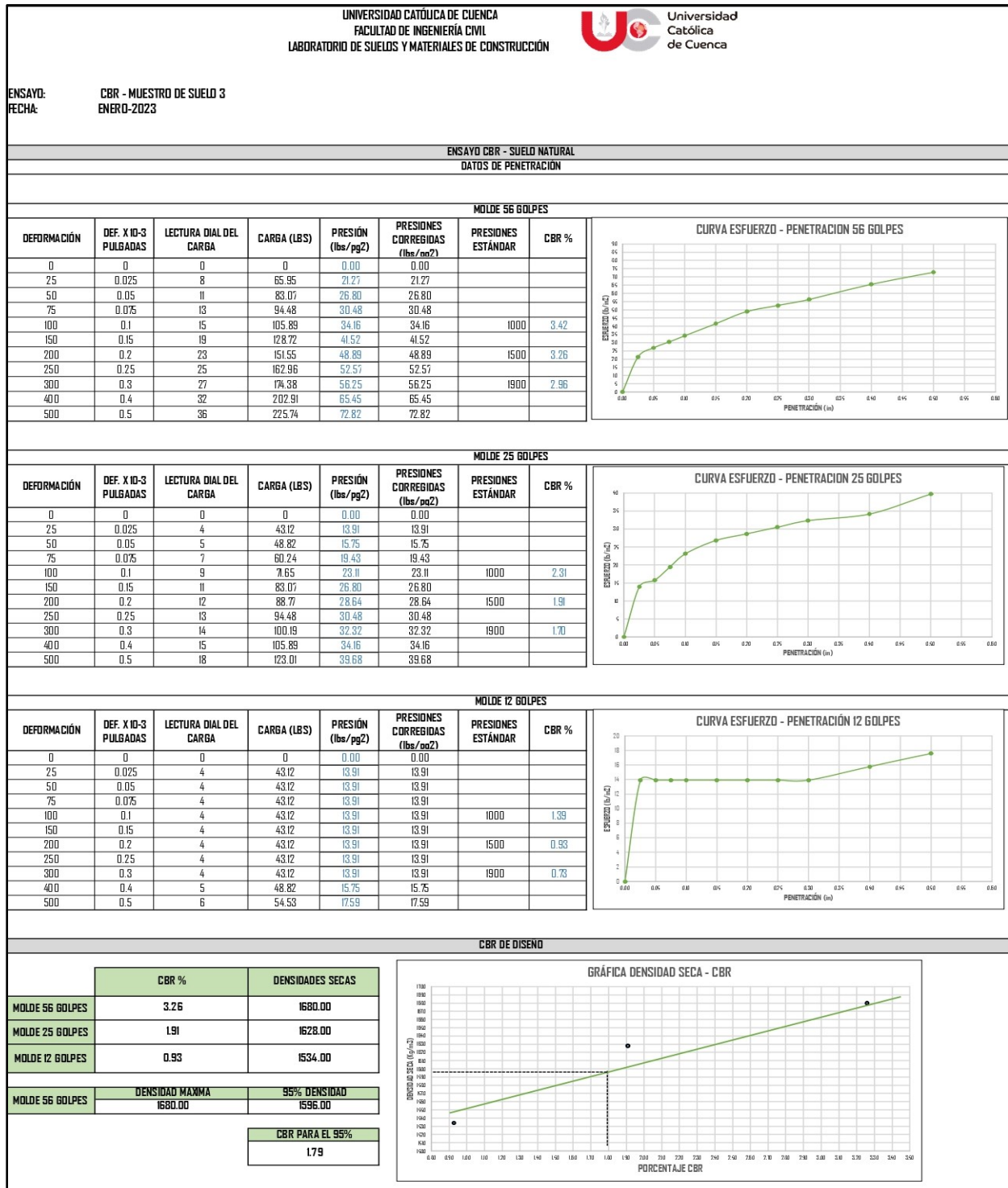
ENSAYO: CBR - MUESTRO DE SUELO 3
FECHA: ENERO-2023

ENSAYO CBR - SUELO NATURAL

MOLDE Nº	C1		25		2										
NÚMERO DE CAPAS	5		5		5										
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56		25		12										
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO								
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + MOLDE	10973.5	11131.5	10188	10450.5	11544.5	11876.5									
PESO DEL MOLDE	6296	6296	5722.5	5722.5	729	729									
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	4677.5	4835.5	4465.5	4728	4215.5	4597.5									
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2304.52	2304.52	2304.52	2304.52	2304.52	2304.52									
DENSIDAD HUMEDA	2029.71	2093.01	1937.71	1957.65	1850.93	1899.99									
DENSIDAD SECA	1680.00	172.08	1628.00	1572.00	1534.00	1484.35									
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO															
TARRO Nº	8		H		D7		7C2		JO		PI				
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO	159		174.03		13736		13918		16147		189.4				
PESO MUESTRA SECA + TARRO	141.71		152.01		122.97		123.44		144.73		177.52				
PESO DEL AGUA	17.29		22.02		14.39		15.74		16.74		21.88				
PESO DEL TARRO	52.64		52.69		44.08		43.8		65.38		69.74				
PESO MUESTRA SECA	89.07		99.32		78.89		79.64		79.35		107.78				
CONTENIDO DE HUMEDAD	19.41		22.17		18.24		19.76		21.10		20.30				
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	20.79		19.00		20.70										
CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO															
TARRO Nº	T05		S1		21		9C8		14		T08				
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO	107		100.59		169.73		142.37		134.41		119.29				
PESO MUESTRA SECA + TARRO	94.16		92.06		147.7		119.66		113.94		102.59				
PESO DEL AGUA	12.84		8.53		22.02		22.71		20.47		16.7				
PESO DEL TARRO	25.07		43.97		70.02		43.24		43.83		40.29				
PESO MUESTRA SECA	133.09		138.09		77.69		76.42		70.11		52.3				
CONTENIDO DE HUMEDAD	18.58		17.74		28.34		29.72		29.20		26.81				
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	18.16		29.03		29.03		28.00		28.00		26.81				
% DE ABSORCIÓN	-2.63		10.03		10.03		7.30		7.30		7.30				
DATOS DE ESPONJAMIENTO															
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DIAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES				
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		
			PULGADAS	%	PULGADAS	%	PULGADAS	%	PULGADAS	%	PULGADAS	%	PULGADAS	%	
5/1/2023	13:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	0	5	0	0
6/1/2023	14:15	1	38	5.038	0.038	0.76	78	5.078	0.078	1.56	30	5.03	0.03	0.6	
7/1/2023	14:30	2	98	5.098	0.098	1.96	140	5.14	0.14	2.8	130	5.13	0.13	2.6	
8/1/2023	16:45	3	139	5.139	0.139	2.78	186	5.186	0.186	3.72	178	5.178	0.178	3.56	
9/1/2023	15:30	4	186	5.186	0.186	3.72	240	5.24	0.24	4.8	250	5.25	0.25	5	


Anexo 67

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 2



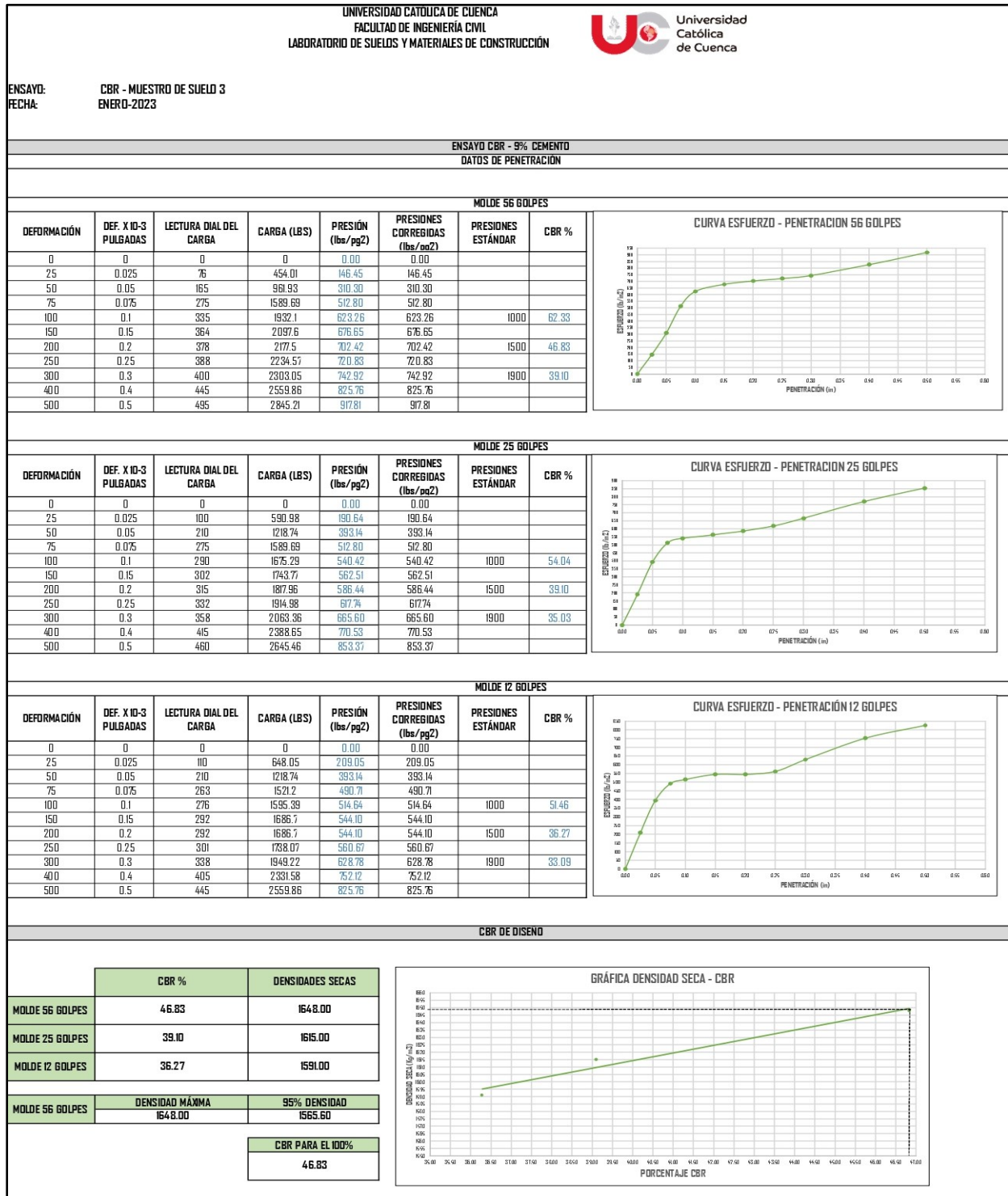
Anexo 68

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 3

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN															
						Universidad Católica de Cuenca									
ENSAYO: CBR - MUESTRO DE SUELO 3															
FECHA: ENERO-2023															
ENSAYO CBR - 9% CEMENTO															
MOLDE Nº	FHT			122			C1								
NÚMERO DE CAPAS	5			5			5								
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56			25			12								
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO							
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + MOLDE	10845	10934		11310	11452		10844	11025.5							
PESO DEL MOLDE	6247.5	6247.5		6686.5	6686.5		6414	6414							
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	4597.5	4686.5		4623.5	4765.5		4430	4611.5							
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2304.52	2341.39		2365.55	2322.034352		2304.52	2332.17424							
DENSIDAD HUMEDA	1994.99	2001.59		1954.51	2052.30		1922.31	1977.34							
DENSIDAD SECA	1648.00	1623.89		1615.00	1665.84		1591.00	1588.95							
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO															
TARRO Nº	A9	P1		O2K	A6		D7	S12							
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO	182.2	186.93		133.47	140.84		106.04	149.3							
PESO MUESTRA SECA + TARRO	162.08	166.69		117.49	124.33		95.56	134.42							
PESO DEL AGUA	20.12	20.24		15.98	16.51		10.48	14.88							
PESO DEL TARRO	67.69	69.68		43.38	43.68		44.08	64.73							
PESO MUESTRA SECA	94.39	97.01		74.11	80.65		51.48	69.69							
CONTENIDO DE HUMEDAD	21.32	20.86		21.56	20.47		20.36	21.35							
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	21.09			21.02			20.85								
CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO															
TARRO Nº	I2	I00		S10	JX		I0	20							
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO	83.47	124.51		115.04	139.39		119.11	130.41							
PESO MUESTRA SECA + TARRO	73.11	106.76		98.77	118.7		101.58	110.35							
PESO DEL AGUA	10.36	17.75		16.27	20.69		17.53	20.06							
PESO DEL TARRO	29.37	29.02		28.76	29.37		29.35	28.86							
PESO MUESTRA SECA	43.74	77.74		70.02	89.33		72.23	81.49							
CONTENIDO DE HUMEDAD	23.69	22.83		23.24	23.16		24.27	24.62							
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	23.26			23.20			24.44								
% DE ABSORCIÓN	2.17			2.18			3.59								
DATOS DE ESPONJAMIENTO															
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES				
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%	
9/1/2023	13:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	0	5	0	0
10/1/2023	14:15	1	26	5.026	0.026	0.52	7	5.007	0.007	0.14	9	5.009	0.009	0.18	
11/1/2023	14:30	2	57	5.057	0.057	1.14	18	5.018	0.018	0.36	18	5.018	0.018	0.36	
12/1/2023	16:45	3	67	5.067	0.067	1.34	25	5.025	0.025	0.5	38	5.038	0.038	0.76	
13/1/2023	15:30	4	80	5.08	0.08	1.60	38	5.038	0.038	0.76	60	5.06	0.06	1.2	


Anexo 69

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 4



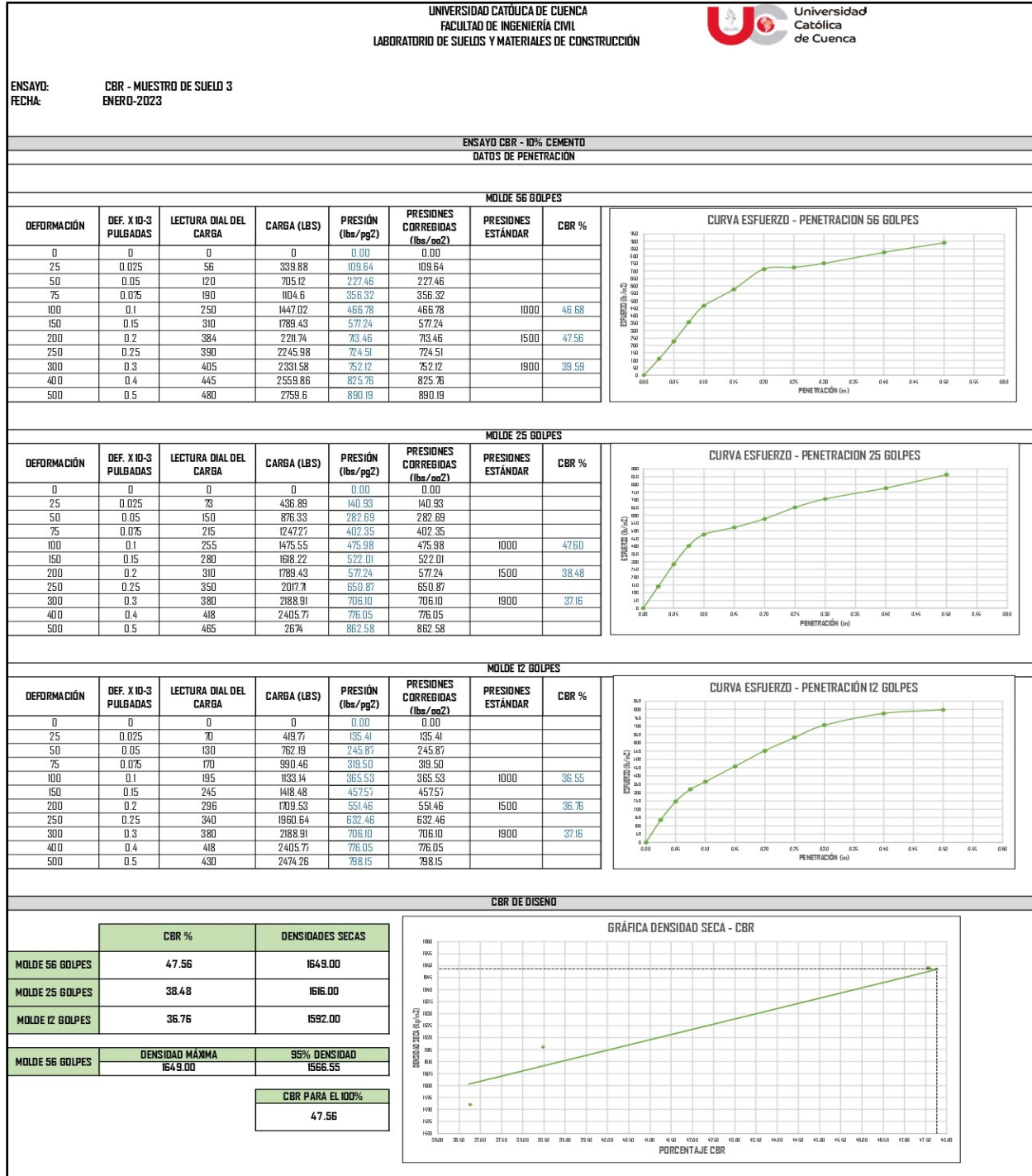
Anexo 70

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 5

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN												 Universidad Católica de Cuenca		
ENSAYO:		CBR - MUESTRO DE SUELO 3												
FECHA:		ENERO-2023												
ENSAYO CBR - 10% CEMENTO														
MOLDE Nº		FHT				I22				C1				
NUMERO DE CAPAS		5				5				5				
NUMERO DE GOLPES POR CAPA		56				25				12				
MUESTRA COMPACTADA		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + MOLDE		10832		10964		11315		11475		10860		11018		
PESO DEL MOLDE		6247.5		6247.5		6686.5		6686.5		6414		6414		
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA		4584.5		476.5		4628.5		4788.5		4446		4604		
VOLUMEN DE LA MUESTRA		2304.52		2338.17		2385.55		2328.487008		2304.52		2336.322376		
DENSIDAD HUMEDA		1989.35		2077.18		1956.63		2056.49		1979.25		1970.62		
DENSIDAD SECA		1649.00		1653.09		1616.00		1669.36		1592.00		1584.30		
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO														
TARRO Nº		07		512		A9		P1		02K		A6		
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO		116.89		157.8		146.86		146.78		185.89		194.34		
PESO MUESTRA SECA + TARRO		104.37		141.97		132.87		133.55		161.08		167.9		
PESO DEL AGUA		12.52		15.83		13.99		13.23		24.81		26.44		
PESO DEL TARRO		44.08		64.73		67.69		69.68		43.38		43.68		
PESO MUESTRA SECA		60.29		77.24		65.18		63.87		117.7		124.22		
CONTENIDO DE HUMEDAD		20.77		20.49		21.46		20.71		21.08		21.28		
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO		20.63				21.09				21.18				
CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO														
TARRO Nº		12		100		S10		JX		10		20		
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO		87.56		134.76		121.65		135.68		134.87		140.67		
PESO MUESTRA SECA + TARRO		77.12		115.56		104.16		115.67		114.26		118.67		
PESO DEL AGUA		10.44		19.2		17.49		20.01		20.61		22		
PESO DEL TARRO		29.37		29.02		28.76		29.37		29.35		28.86		
PESO MUESTRA SECA		47.75		86.54		75.41		86.3		84.91		89.81		
CONTENIDO DE HUMEDAD		21.86		22.19		23.19		23.19		24.27		24.50		
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO		22.03				23.19				24.38				
% DE ABSORCIÓN		1.99				2.10				3.20				
DATOS DE ESPONJAMIENTO														
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES			
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO	
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%
12/1/2023	13:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	5	0	0
13/1/2023	14:15	1	26	5.026	0.026	0.52	15	5.015	0.015	0.3	17	5.017	0.017	0.34
14/1/2023	14:30	2	57	5.057	0.057	1.14	25	5.025	0.025	0.5	28	5.028	0.028	0.56
15/1/2023	16:45	3	67	5.067	0.067	1.34	35	5.035	0.035	0.7	45	5.045	0.045	0.9
16/1/2023	15:30	4	73	5.073	0.073	1.46	52	5.052	0.052	1.04	69	5.069	0.069	1.38


Anexo 71

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 6



Anexo 72

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 7

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN												 Universidad Católica de Cuenca			
ENSAYO:		CBR - MUESTRO DE SUELO 3													
FECHA:		ENERO-2023													
ENSAYO CBR - 10% CEMENTO															
MOLDE Nº		FHT				I22				C1					
NÚMERO DE CAPAS		5				5				5					
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA		56				25				12					
MUESTRA COMPACTADA		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO			
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + MOLDE		10856.5		10993		11320		11496		10864		11010			
PESO DEL MOLDE		6247.5		6247.5		6689		6689		6413		6413			
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA		4609		4745.5		4631		4807		4451		4597			
VOLUMEN DE LA MUESTRA		2304.52		2334.48		2365.55		2334.4876		2304.52		2340.470512			
DENSIDAD HUMEDA		1999.98		2032.79		1957.68		2059.13		1931.42		1964.13			
DENSIDAD SECA		1650.00		1668.45		1677.00		1678.19		1596.00		1573.84			
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO															
TARRO Nº		S10		I2		I00		I0		JX		Z0			
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO		122.17		143.17		121.51		123.71		117.53		162.03			
PESO MUESTRA SECA + TARRO		105.72		123.37		105.42		107.31		102.48		138.47			
PESO DEL AGUA		16.45		19.8		16.09		16.4		15.05		23.56			
PESO DEL TARRO		28.76		29.4		29.06		29.36		29.39		28.87			
PESO MUESTRA SECA		76.96		93.97		76.36		77.95		73.09		109.6			
CONTENIDO DE HUMEDAD		21.37		21.07		21.07		21.04		20.59		21.50			
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO		21.22				21.06				21.04					
CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO															
TARRO Nº		I00		JX		S10		Z5		I2		B			
PESO MUESTRA HUMEDA + TARRO		106.28		119.09		130.44		165.57		132.16		158.46			
PESO MUESTRA SECA + TARRO		91.76		103.82		111.62		139.68		111.7		135.56			
PESO DEL AGUA		14.52		15.27		18.82		25.89		20.46		22.9			
PESO DEL TARRO		29.06		29.39		28.76		29.13		28.56		43.92			
PESO MUESTRA SECA		62.7		74.43		82.86		110.55		83.14		91.64			
CONTENIDO DE HUMEDAD		23.16		20.52		22.71		23.42		24.61		24.99			
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO		21.84				23.07				24.80					
% DE ABSORCIÓN		0.61				2.01				3.76					
DATOS DE ESPONJAMIENTO															
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES				
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%	
16/1/2023	13:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	0	5	0	0
17/1/2023	14:15	1	15	5.015	0.015	0.30	18	5.018	0.018	0.36	12	5.012	0.012	0.24	0.24
18/1/2023	14:30	2	30	5.03	0.03	0.60	27	5.027	0.027	0.54	25	5.025	0.025	0.25	0.5
19/1/2023	16:45	3	40	5.04	0.04	0.80	48	5.048	0.048	0.96	61	5.061	0.061	1.22	1.22
20/1/2023	15:30	4	65	5.065	0.065	1.30	65	5.065	0.065	1.3	78	5.078	0.078	1.56	1.56

Anexo 73

Ensayo: CBR de la muestra de suelo 3 – Anexo 8

